

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№4 2014

Направления:

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

Казань

2014

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2014г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – 220 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>Л.Д. Блистанова, А.В. Зубов, А.Ф. Зубова, М.В. Стрекопытова</i> АППАРАТ МАТРИЧНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА	9
<i>П.И. Дергунов</i> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ДЕФОРМАЦИИ СОРБЕНТОВ	15
<i>В.В. Дружинин, А.А. Лазарев</i> ДОКАЗАТЕЛЬСТВО БЕСКОНЕЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ГРУПП-КВАРТЕТОВ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ	19
<i>Т.А. Зайцева, Ю.Г. Коноплев, В.И. Митряйкин, О.А. Саченков</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ АЦЕТАБУЛЯРНОГО КОМПОНЕНТА С НЕДОПОКРЫТИЕМ	22
<i>А.И. Зубов, В.И. Зубов, И.С. Стрекопытов, С.А. Стрекопытов</i> ВЫДЕЛЕНИЕ КРАТНЫХ И КОСОСИММЕТРИЧНЫХ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ЕВКЛИДА	26
<i>А.И. Филиппов, О.В. Ахметова, К.В. Олефиренко</i> ПОЛЕ ПЛОТНОСТИ СТАЦИОНАРНОГО ЛАМИНАРНОГО ПОТОКА ГАЗА В СКВАЖИНЕ	31

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Р.В. Андронов</i> К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖЕК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ	34
<i>Р.В. Андронов</i> РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ И УЛУЧШЕНИЮ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ	38
<i>Д.В. Астрецов, Р.И. Соколов</i> ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМ БИНАРНОГО СООБЩЕНИЯ, ОСНОВАННЫЙ НА МЕТОДЕ СОВМЕСТНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НЕПРЕРЫВНЫХ И ДИСКРЕТНОГО МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ	41
<i>И.Н. Баринов, В.С. Волков, Д.И. Нефедьев, С.П. Евдокимов</i> КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЙ НА СТРУКТУРЕ "ПОЛИКРЕМНИЙ-НА-ДИЭЛЕТКРИКЕ"	45
<i>А.В. Безруков, Д.В. Орешкин</i> ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА	51
<i>В.Ф. Беккер, Ю.А. Садырева, И.Ф. Киссельман</i> АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ОСАЖДЕНИЯ ПЫЛЕВОЙ ФРАКЦИИ ХЛОРИДА КАЛИЯ В СЛОЕ ОРОШАЕМОЙ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ	54
<i>Л.А. Бекмурзаев, М.В. Бырдина, Е.В. Назаренко</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОЙ ОБОЛОЧКИ	58
<i>Л.В. Беляев, А.В. Жданов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА	65
<i>А.П. Буйносов, Д.С. Денисов</i> О РАЗРАБОТКЕ ПРИБОРА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ	69
<i>А.П. Буйносов, А.М. Кислицын</i> ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ГРЕБНЯ БАНДАЖА КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА	73
<i>А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков</i> ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛА	77
<i>А.П. Буйносов, И.О. Шепелева</i> ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОВЗОВ	81

<i>М.А. Гордеев - Бургвиц</i> РАЗРАБОТКА ЦИФРО-АНАЛОГОВОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ШАГАЮЩЕГО ДРАГЛАЙНА	84
<i>М.А. Гордеев – Бургвиц</i> СПОСОБ ВЗАИМОСВЯЗАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДЪЕМА И ТЯГИ ДРАГЛАЙНА В ФУНКЦИИ НАГРУЗОК ПРИВОДОВ	87
<i>А.Ю. Дуженко</i> ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКИХ СУДОВ, ПЕРЕВОЗЯЩИХ ОПАСНЫЕ ГРУЗЫ	90
<i>И.А. Егерёва</i> ПОДХОД К СИСТЕМАТИЗАЦИИ НАУЧНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕРВИСОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЫ	93
<i>Д.В. Жабин, В.Н. Соков</i> ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ СОЗДАНИЯ ПЕНОБЕТОНА	96
<i>И.О. Жуков, А.Б. Иванченко, А.В. Жданов</i> ОСОБЕННОСТИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ РОЛИКОВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ (РВМ)	100
<i>Е.С. Заикин</i> ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ТОПЛИВНОГО ЗАРЯДА И КОРПУСА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ	104
<i>Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова</i> ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СНАБЖЕНИЕМ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ	108
<i>Д.Ю. Землянушинов, В.Н. Соков, Д.В. Орешкин</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ОБРАБОТКИ МРАМОРА В ТЕХНОЛОГИИ ОБЛИЦОВОЧНОЙ КЕРАМИКИ	111
<i>Т.Н. Иванова, В.И. Чепкасов</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАСТИНАХ	115
<i>В.В. Киселев, Н.А. Суворов</i> СИНТЕЗ ВСТРОЕННОГО ТЕСТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЦИФРОВЫХ СХЕМ С ПРОГРАММИРУЕМЫМИ ПЛИС	119
<i>Г.Е. Кокеева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМА	123
<i>Ю.А. Кузнецова, А.Е. Трухан</i> ОБОСНОВАНИЕ МАСШТАБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ	126
<i>Н.В. Куклева, Д.Н. Куклев</i> О МЕТОДИКАХ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ОБОСНОВАНИЕ ВВЕДЕНИЯ СКОРОСТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ДВИЖЕНИЯ	136
<i>М.А. Куликов, С.Г. Козлов</i> ПРОБЛЕМА ОТЛОЖЕНИЯ НЕРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАКУУМ-КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ОАО «УРАЛКАЛИЙ»	140
<i>М.В. Курчанов</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТДЕЛИВШЕГОСЯ СТАРТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА МАРШЕВУЮ СТУПЕНЬ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА БИКАЛИБЕРНОЙ СХЕМЫ	143
<i>Е.Г. Малявина, О.Ю. Крючкова</i> ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ ЦЕНТРАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА	149
<i>В.С. Наговицын, А.П. Буйносов</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОИСКА КРИТИЧЕСКИХ УЗЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	153
<i>М.А. Неверова, И.И. Павлинова, Е.А. Королева</i> СИНЕРГИЗМ БАКТЕРИЙ АКТИВНОГО ИЛА В КОМБИНИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ	157
<i>М.А. Никулина</i> ВЛИЯНИЕ АНТИМИКРОБНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ НА СРОК ХРАНЕНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОХЛАЖДЕННОЙ ГОВЯЖЬЕЙ ПЕЧЕНИ	160
<i>Е.А. Новикова, Д.В. Штых</i> АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ОПТОМЕХАНИКИ	166
<i>А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова</i> ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ	170

<i>А.П. Пустовгар, П.А. Лавданский, А.В. Есенов, А.О. Адамцевич, А.Д. Веденин</i> АНАЛИЗ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА В СЕРПЕНТИНИТОВОМ БЕТОНЕ	179
<i>С.И. Рощина, М.В. Лукин, А.В. Лукина, М.С. Лисятников</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ БИОПОВРЕЖДЕНИЕМ, ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ	182
<i>А.Г. Русаков, И.М. Пышный</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ ПРИ ПОМОЩИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПАСПОРТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЧАСТКА ПУТИ	185
<i>А.Г. Рымаров, М.И. Ботнаръ</i> ОСОБЕННОСТИ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ЗДАНИЕМ В ПЕРИОД РЕЗКОГО ПОХОЛОДАНИЯ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА	188
<i>Э.С. Соколова, О.П. Тимофеева, Е.С. Кадиленко</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В ПРЕДЕЛАХ ОГРАНИЧЕННОЙ СЕТИ АВТОДОРОГИ	191
<i>С.Г. Фомичев, А.В. Антонов, Т.В. Бурнышева</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ АККУМУЛИРОВАНИЕМ МАССЫ	194
<i>А.В. Широков, Т.И. Демидова, Л.О. Широкова</i> ОБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ СВОЙСТВАМИ	197
<i>Ю.Е. Якубовский, И.А. Лобач</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОНДЕНСАТОПРОВОДА В УСЛОВИЯХ ПОДАЧИ ПАРАФИНИСТОГО ДЕЭТАНИЗИРОВАННОГО КОНДЕНСАТА АЧИМОВСКИХ ЗАЛЕЖЕЙ УРЕНГОЙСКОГО НГКМ	200
АННОТАЦИИ	203

THE RELEASE MAINTENANCE**PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

<i>L.D. Blistanova, A.V. Zubov, A.F. Zubova, M.V. Strecopitova</i> THE APPARATES MATRIX FUNCTION LAPUNOV'S	9
<i>P.I. Dergunov</i> THERMODYNAMIC APPROACH TO THE DESCRIPTION OF THE SORBENTS DEFORMATION	15
<i>V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev</i> PROOF OF AN INFINITE NUMBER OF GROUP-QUARTET PRIME NUMBERS	19
<i>T.A. Zaiceva, Y.G. Konoplev, V.I. Mitryaikin, O.A. Sachenkov</i> MATHEMATICAL SIMULATION OF ACETABULAR COMPONENT'S SETUP WITH INCOMPLETE COVERAGE	22
<i>A.I. Zubov, V.I. Zubov, I.S. Strecopitov, S.A. Strecopitov</i> FORMATION MULTIPLE AND SYMMETRICAL ROOTS OF MULTITUDE WITH THE HELP ALGORITHM EVCLID	26
<i>A.I. Filippov, O.V. Akhmetova, K.V. Olefirenko</i> FIELD DENSITY OF STATIONARY LAMINAR GAS FLOW IN THE WELLBORE	31

ENGINEERING SCIENCE

<i>R.V. Andronov</i> ON THE METHODS OF EVALUATION OF TRAFFIC DELAYS ON A SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION	34
<i>R.V. Andronov</i> THE CALCULATION OF CITY ROAD USERS' ECONOMIC LOSSES IN SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTIONS TO JUSTIFY ACTIONS ON RECONSTRUCTION AND IMPROVEMENT OF TRAFFIC ORGANIZATION	38
<i>D.V. Astretsov, R.I. Sokolov</i> BINARY SIGNAL OPTIMAL RECEIVE OF JOINT NONLINEARING FILTERING METHOD OF CONTINUOUS AND DISCRETE MARKOVIAN PROCESS	41
<i>I.N. Barinov, V.S. Volkov, D.I. Nefed'ev, S.P. Evdokimov</i> CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGY SOLUTIONS FOR IMPROVEMENT CHARACTERISTICS OF PRESSURE SENSORS SENSING ELEMENTS BASED ON "POLYSILICONE - ON - INSULATOR" STRUCTURE	45
<i>A.V. Bezrukov, D.V. Oreshkin</i> PROTECTION OF UNDERGROUND STRUCTURES AND ENVIRONMENT	51
<i>V.F. Becker, Yu.A. Sadyreva, I.F. Kisselman</i> THE ANALYSIS OF THE MECHANISM OF DEPOSITION OF DUST FRACTION OF POTASSIUM CHLORIDE IN THE LAYER OF IRRIGATED MOVABLE NOZZLE	54
<i>L.A. Bekmurzaev, M.V. Byrdina, E.V. Nazarenko</i> STUDY AND SIMULATION FORMING THIN SHELL	58
<i>L.V. Belyaev, A.V. Zhdanov</i> RESEARCH OF THERMAL CHARACTERISTICS OF THE ARTIFICIAL HEART MECHATRONIC UNITE	65
<i>A.P. Buinosov, D.S. Denisov</i> ABOUT DEVELOPMENT OF THE DEVICE OF THE NONDESTRUCTIVE CONTROL METHOD OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF LOCOMOTIVES	69
<i>A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn</i> CREATION OF THE CROSS-SECTION OF THE RIDGE OF THE BANDAGE OF THE WHEELPAIR AT LOCOMOTIVE MOVEMENT	73
<i>A.P. Buinosov, D.Y. Kozakov</i> INCREASE OF THE RESOURCE OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF ELECTRIC TRAINS DUE TO NANOMATERIAL APPLICATION	77
<i>A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva</i> ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFICIENCY OF APPLICATION OF RECUPERATIVE BRAKING OF ELECTRIC LOCOMOTIVES	81

<i>M.A. Gordeev – Burgwitz</i> DEVELOPMENT OF DIGITAL–ANALOG SAU ELECTRIC DRIVES OF WALKING DRAGLINE	84
<i>M.A. Gordeev – Burgwitz</i> HOW INTERCONNECTED ELECTRIC DRIVES CONTROL LIFT AND THRUST OF DRAGLINE IN FUNCTION LOADS DRIVES	87
<i>A.Y. Duzhenko</i> SPECIFICATIONS SHIPS CARRYING DANGEROUS GOODS	90
<i>I.A. Egereva</i> AN APPROACH TO THE SYSTEMATIZATION OF DISTRIBUTED SCIENTIFIC COMPUTING ENVIRONMENT SERVICES	93
<i>D.V. Zhabin, V.N. Sokov</i> INNOVATIVE METHOD FOR CREATING FOAM CONCRETE	96
<i>I.O. Zhukov, A.B. Ivanchenko, A.V. Zhdanov</i> FEATURES 3D-MODELING OF ROLLER SCREW MECHANISMS (RSM)	100
<i>E.S. Zaikin</i> TEMPERATURE DEFORMATIONS OF SOLID PROPELLANT ROCKET MOTOR GRAIN AND CASE	104
<i>N.S. Zakharov, O.A. Novoselov, R.A. Ziganshin, A.N. Makarova</i> CRITERION FUNCTION AT MANAGEMENT OF SPARE PARTS SUPPLY FOR TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINES IN OIL AND GAS PRODUCTION	108
<i>D.Yu. Zemlyanushnov, V.N. Sokov, D.V. Oreshkin</i> THE USE OF FINE-DISPERSED WASTE PROCESSING MARBLE IN THE TECHNOLOGY OF FACING CERAMICS	111
<i>T.N. Ivanova, V.I. Chepkasov</i> TECHNOLOGICAL FORECASTING STRESSES IN PLATES	115
<i>V.V. Kiselev, N.A. Suvorov</i> SYNTHESIS OF EMBEDDED TEST FOR THE DIAGNOSIS OF DIGITAL CIRCUITS WITH PROGRAMMABLE PLD	119
<i>G.E. Kokieva</i> STUDY OF THE CULTIVATION OF THE MICROORGANISM	123
<i>J.A. Kuznetsova, A.E. Truhan</i> MARINE PROPELLER MODELING SCALE VALIDATION	126
<i>N.V. Kukleva, D.N. Kuklev</i> ABOUT THE METHODS DIRECTED ON SUBSTANTIATION INTRODUCTIONS OF HIGH-SPEED PASSENGER MOVEMENT	136
<i>M.A. Kulikov, S.G. Kozlov</i> DEPOSITION OF INSOLUBLE SALTS PROBLEM IN THE OPERATION OF THE VACUUM CRYSTALLIZATION SETTING OJSC «URALKALI»	140
<i>M.V. Kurchanov</i> DETERMINATION OF THE EFFECTS OF SEGREGATED STARTING ENGINE ON SUSTAINER STAGE OF FLYING APPARATUS OF DUAL GAUGE SCHEME	143
<i>E.G. Malyavina, O.Y. Kryuchkova</i> POWER CONSUMPTION ESTIMATION BY DIFFERENT CENTRAL AIR CONDITIONING SYSTEMS	149
<i>V.S. Nagovitsyn, A.P. Buinosov</i> DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF SEARCH OF CRITICAL KNOTS OF THE ROLLING STOCK	153
<i>M.A. Neverova, I.I. Pavlina, E.A. Koroliva</i> SYNERGY BACTERIA ACTIVATED SLUDGE BIOLOGICAL TREATMENT COMBINED	157
<i>M.A. Nikulina</i> INFLUENCE OF AN ANTIMICROBIC ALGINATE COVERING ON A PERIOD OF STORAGE AND QUALITY INDICATORS OF THE COOLED BEEF LIVER	160
<i>E.A. Novikova, D.V. Shtykh</i> ANALYSIS OF THE MECHANISM OF TRANSLATIONAL MOTION IN THE DEVICES OF OPTOMECHANICS	166
<i>A.G. Pozdeev, J.A. Kuznetsova</i> INFORMATION-ENGINEERING SUPPORT OF WOOD DESICCATION PROCESS CALCULATION	170
<i>A.P. Pustovgar, P.A. Lavdansky, A.V. Esenov, A.O. Adamtsevich, A.D. Vedenin</i> ANALYSIS OF THE HYDRATION HEAT RELEASE OF CEMENT IN SERPENTINE CONCRETE	179
<i>S.I. Roshchina, M.V. Lukin, A.V. Lukina, M.S. Lisyatnikov</i> INCREASED PERFORMANCE PROPERTIES WOOD WEAKENED BIODETERIORATION BY MODIFYING THE ADHESIVE COMPOSITION BASED ON AN EPOXY RESIN	182
<i>A.G. Rusakov, I.M. Pyshny</i> DEFINITION OF THE EXPENSE OF FUEL AND ENERGY RESOURCES ON PULL-ROD OF TRAINS BY MEANS OF THE POWER PASSPORT OF THE RAILWAY SITE OF THE WAY	185

<i>A.G. Rymarov, M.I. Botnar</i> CHARACTERISTICS OF HEAT LOSSES IN THE PERIOD OF SHARP FALLS DURING THE COLD PERIOD OF THE YEAR	188
<i>E.S. Sokolova, O.P. Timofeeva, E.S. Kadilenko</i> INTELLIGENT CONTROL SYSTEM OF UNMANNED VEHICLES WITHIN A LIMITED ROAD NETWORK	191
<i>S.G. Fomichev, A.V. Antonov, T.V. Burnysheva</i> EVALUATING THE EFFECTIVENESS METHOD OF CONTROLLING ACCUMULATION OF MASS	194
<i>A.V. Shirokov, T.I. Demidova, L.O. Shirokova</i> PROCESSING ADDITIVES FOR THE PRODUCTION OF BAKERY PRODUCTS WITH IMPROVED CONSUMER PROPERTIES	197
<i>Y.E. Jakubowski, I.A. Lobach</i> PROGNOSTICATION WORK OF THE CONDENSATE PIPELINE CONDITIONS PARAFFIN DEETHANIZED CONDENSATE OF THE URENGOY FIELD AHIMOV DEPOSITES	200
ABSTRACTS	203

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.02

Л.Д. Блистанова, А.В. Зубов, А.Ф. Зубова, М.В. Стрекопытова

Санкт-Петербургский государственный университет, факультет Прикладной математики – Процессов управления, кафедры Теории управления, Санкт-Петербург, ddemidova@mail.ru

АППАРАТ МАТРИЧНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА

В данной статье изложено два метода построения ортогональной матрицы полярного разложения матрицы, использующий аппарат матричных функций Ляпунова. В задачах математического прогнозирования динамики систем, эта вычислительная задача является очень важной при построении численных методов, сохраняющих интегралы движения.

Ключевые слова: *интегрирование, сигнал, множество, порядок, соотношение, условие, функция.*

Введение

Полярное разложение линейного оператора является одним из основных канонических его форм. В приложениях (задача аэродинамики, математической статистики, обработки сигналов, механики, факторного анализа) весьма важной является задача построения полярного разложения невырожденной матрицы, т.е. представления её в виде произведения симметричной положительно определенной матрицы на ортогональную. Такое представление весьма возможно и однозначно [1]. В задачах математического прогнозирования динамики систем, как мы уже видели, эта вычислительная задача является очень важной при построении численных методов, сохраняющих интегралы движения. Изложим два метода [2] построения ортогональной матрицы полярного разложения матрицы, использующий аппарат матричных функций Ляпунова.

Постановка задачи**Первый метод**

Пусть A - заданная невырожденная $(n \times n)$ - матрица. Требуется найти симметричную положительно определенную матрицу F и ортогональную матрицу U такие, что выполняется соотношение

$$A = FU. \quad (1)$$

Введем в рассмотрение множество M_n квадратных матриц порядка $n \times n$ и множество D_n невырожденных матриц того же порядка. Множество M_n является линейным нормированным пространством с нормой, определяемой соотношением

$$\|C\| = \max_{X \in E_n} \frac{\|CX\|}{\|X\|}, \quad (2)$$

где $C \in M_n, X \in E_n$. На множестве M_n можно задать динамическую систему, определяемую матричной системой дифференциальных уравнений

$$\dot{X} = F(X, t), \quad (3)$$

где $X, F \in M_n, F$ гарантирует существование, единственность и продолжимость решений на интервале (t_0, ∞) , точка обозначает дифференцирование по параметру t . Поставим следующую задачу: построить дифференциальную систему (3) такую, что решение задачи Коши с начальным условием $X = X_0$ при $t = t_0 = 0$ сходится к значению матрицы U полярного разложения (1). Таким образом, мы сведем первоначальную задачу к численному

интегрированию построенной системы дифференциальных уравнений. Рассмотрим матричное дифференциальное уравнение [3]

$$\dot{X} = \frac{1}{2}(-X + X^{*-1}). \quad (4)$$

Обозначим через $X(t, X_0)$ решение этой системы, удовлетворяющее начальному условию $X = X_0$ при $t = 0$.

Теорема 1. Если матрица начальных условий X_0 невырожденная, то решение $X(t, X_0)$ системы (4) также будет невырожденной матрицей при $t > 0$, причем решение $X(t, X_0)$ неограниченно продолжаемо при $t > 0$.

Доказательство. Сначала покажем, что при $t > 0$ выполняется условие

$$X(t, X_0) \in D_n. \quad (5)$$

Предположим противное, а именно, пусть существует момент времени t_1 , в который выполнено соотношение $\det(X(t_1, X_0)) = 0$. Тогда справедливо равенство

$$\det(X(t_1, X_0)X^*(t_1, X_0)) = 0. \quad (6)$$

Введем в рассмотрение матричную функцию $V = XX^*$, заданную в M_n . Эта функция удовлетворяет на решениях системы (4) следующему уравнению:

$$\dot{V} = -V + E. \quad (7)$$

Интегрируя, получаем

$$V = (V_0 - E)\exp(-t) + E. \quad (8)$$

В силу того, что матрица $V_0 = X_0X_0^*$ является симметричной и положительно определенной, из формулы (7) следует, что при $t \geq 0$ определитель матрицы V не обращается в нуль, что находится в противоречии с посылкой (6), которое и доказывает справедливость (5). Необходимыми и достаточными условиями продолжаемости решений системы (4) является расходимость в этих решениях интегралов

$$\int_0^t v_{ij}^{-1} dv_{ij}.$$

Из (7) имеем

$$\int_0^t v_{ij}^{-1} dv_{ij} = -\ln(v_{ij} - \delta_{ij}) \Big|_0^t,$$

где δ_{ij} – символ Кронекера. Расходимость интеграла следует из формулы (8), так как из нее вытекает $v_{ij} \rightarrow \delta_{ij}$, и выражение в правой части последнего соотношения неограниченно.

Доказательство закончено.

Теорема 2. Решение $X(t, X_0)$ системы (4) с начальным условием $X_0 = A$ сходится при $t \rightarrow 0$ к значению матрицы U полярного разложения (1), причем справедлива оценка

$$\|X(t, A) - U\| \leq \|AA^* - E\| \exp(-t). \quad (9)$$

Доказательство. Поскольку решение $X(t, A)$ удовлетворяет условиям теоремы 2, оно представимо единственным образом в виде

$$X(t, A) = F(t) \cdot U(t), \quad (10)$$

где $F(t), U(t)$ – матрицы полярного разложения. Отметим, что $F(0) = F, U(0) = U$. Подставляя выражение (10) в уравнение (4), можно получить следующее соотношение:

$$\dot{F}(t)F(t) + F(t)\dot{U}(t)U^*(t)F(t) = F(t)U(t)\dot{U}^*(t)F(t) + F(t)\dot{F}(t). \quad (11)$$

Из (8) следует, что матрица $F(t)$ представляет собой ряд по целым отрицательным степеням экспоненциальной функции параметра t с коэффициентами, являющимися постоянными симметричными матрицами

$$F(t) = E + \frac{1}{2}(F^2 - E)e^{-t} - \frac{1}{4}(F^2 - E)^2 e^{-2t} + \dots$$

Следовательно, имеет место тождество

$$\dot{F}(t)F(t) = F(t)\dot{F}(t). \tag{12}$$

Рассматривая совместно выражения (11), (12) и условие ортогональности $\dot{U}(t)U^*(t) + U(t)\dot{U}^*(t) = 0$, получаем, что имеет место соотношение $\dot{U}(t) = 0$ или $U(t) = const = U$. Поскольку $\|F(t) - E\| \rightarrow 0$ в силу (8), то справедливо следующее утверждение:

$$\|X(t, A) - U\| \rightarrow 0 \text{ при } t \rightarrow \infty.$$

Оценку (9) получаем следующим образом. По свойству нормы (2) можно выписать цепочку равенств и неравенств

$$\begin{aligned} \|X(t, A) - U\| &= \|(F(t) - E)U(t)\| \leq \|F(t) - E\| = \\ &= \|(F^2(t) - E)(F(t) + E)^{-1}\| \leq \|F^2(t) - E\| = \\ &= \|F^2 - E\| \exp(-t) = \|AA^* - E\| \exp(-t). \end{aligned}$$

При оценке нормы $\|F^2(t) - E\|$ мы использовали выражение (8).

Доказательство закончено.

На основаниях доказанных теорем можно утверждать, что значение матрицы U можно получить численно проинтегрировав систему (4) с начальным условием $X_0 = A$ при $t = 0$. Точность нахождения матрицы U будет зависеть как от длины интервала интегрирования, так и от точности самого метода интегрирования. Приступим теперь к построению численного алгоритма построения матрицы U . Возьмем за основу какой-нибудь одношаговый метод, например метод типа Рунге-Кутты. Погрешность ε нахождения ортогональной матрицы U , определяемая выражением $\varepsilon = \|\tilde{X} - U\|$, где \tilde{X} - приближенное решение задачи, складывается из погрешности ε_1 - аппроксимации значения U решением дифференциального уравнения (4):

$$\varepsilon_1 = \|X(T^0, A) - U\|,$$

и ε_2 - полной погрешности метода численного интегрирования системы (4):

$$\varepsilon_2 = \|X(T, A) - \tilde{X}\|.$$

Величина ε_1 может быть оценена по формуле (8), откуда можно получить оценку для требуемой длины интервала T интегрирования. Имеем

$$\varepsilon_1 \leq \|AA^* - E\| \exp(-T).$$

Отсюда находим

$$T > \frac{\ln(\|AA^* - E\|)}{\varepsilon_1}.$$

Величина ε_2 в свою очередь зависит от погрешности r формулы используемого метода и от ошибки округления правой части. Для этого зададимся требуемой точностью нахождения матрицы и будем предполагать, что погрешности ε_1 и ε_2 вносят одинаковый вклад в погрешность ε :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \frac{\varepsilon}{2}.$$

Для простоты рассуждений можно потребовать, чтобы влияние каждой локальной погрешности на очередном шаге интегрирования не превосходило величины $\varepsilon_2 / (N + 1)$, где N - число шагов. Тогда имеем

$$r + \delta < \frac{\varepsilon_2}{N},$$

где r - погрешность формулы метода, δ - погрешность округления правой части. При построении одношаговых методов обычно выполняется требование $r = O(h^{k+l})$, где $k > 0$ (число k обычно называют *порядком метода*). Отсюда видно, что для согласованности

вычислительного процесса величина δ должна удовлетворять требованию $\delta = O(h^{k+l})$. Поскольку величина интервала интегрирования уже нами оценена, для нахождения шага h можно выписать следующее неравенство:

$$r + \delta < \frac{h\varepsilon_2}{T}.$$

Иначе говоря, шаг h должен быть выбран таким образом, чтобы выполнялось соотношение

$$\frac{h\varepsilon_2}{T} = O(h^{k+l}), \quad l \leq 0.$$

В качестве примера возможного алгоритма можно выписать метод типа Рунге-Кутты пятого порядка точности [2]:

$$\begin{aligned} X_0 &= A, \quad X_{k+1} = X_k + \frac{h}{192}(23K_0 + 125K_2 - 81K_4 + 125K_5), \\ K_0 &= \frac{1}{2}(-X_k + X_k^{*-1}); \quad K_1 = \frac{1}{2}(-(X_k + \frac{h}{3}K_0) + (X_k + \frac{h}{3}K_0)^{*-1}), \\ K_2 &= \frac{1}{2}(-(X_k + \frac{4K_0 + 6K_1}{25}h) + (X_k + \frac{4K_0 + 6K_1}{25}h)^{*-1}), \\ K_3 &= \frac{1}{2}(-(X_k + \frac{h}{4}(K_0 - 12K_1 + 15K_2)) + (X_k + \frac{h}{4}(\dots))^{*-1}), \\ K_4 &= \frac{1}{2}(-(X_k + \frac{h}{81}(6K_0 + 90K_1 - 50K_2 + 8K_3)) + (X_k + \frac{h}{81}(\dots))^{*-1}), \\ K_5 &= \frac{1}{2}(-(X_k + \frac{h}{75}(6K_0 + 36K_1 + 10K_2 + 8K_3)) + (X_k + \frac{h}{75}(\dots))^{*-1}). \end{aligned}$$

При этом шаг h интегрирования должен удовлетворять соотношению $h\varepsilon/(2T) = O(h^5)$, где величина h интервала интегрирования определяется описанным выше способом. *Библиографическое замечание.* В зарубежной литературе алгоритм численного интегрирования системы (4) методом Эйлера с шагом $h=1$:

$$X_{k+1} = \frac{1}{2}(X_k + X_k^{*-1}),$$

известен с 1986 г. [3] и носит название *метода Хаема* (N. Higham). Впервые этот алгоритм был опубликован автором в 1982 г. [4]. Недостаток предложенного метода заключается в необходимости производить вычисление обратной матрицы в правой части системы (4) на каждом шаге интегрирования. Пусть Y обозначает матрицу X^{*-1} . Мы получаем тождество

$$YX^* = E,$$

дифференцируя которое, можно получить дифференциальную систему для матрицы Y

$$\dot{Y}X^* = -YX^*.$$

Используя (4), находим

$$\dot{Y} = \frac{1}{2}(-Y + Y Y^* Y). \quad (13)$$

Таким образом, мы избавились от необходимости вычислять обратную матрицу при интегрировании системы. Обратить матрицу теперь нужно лишь один раз:

$$Y_0 = X_0^{*-1}.$$

Справедлива следующая теорема.

Теорема 3. Решение системы матричного дифференциального уравнения

$$(\dot{Y} = \frac{1}{2}(-Y + Y Y^* Y)). \quad (14)$$

с начальным условием $Y_0 = A^{*-1}$ сходится при $t \rightarrow \infty$ к значению матрицы U полярного разложения (1), причем справедлива оценка (9).

Численный метод интегрирования системы (14) может быть основан на методе типа Рунге-Кутты при условии согласования порядка метода и его шага с требуемой точностью вычислений. *Библиографическое замечание.* Алгоритм интегрирования системы (14) методом Эйлера стал известен за рубежом только с 1994 г. [1] и носит название *параллельного метода нахождения полярного разложения матрицы Хаема и Пападимитриу* (N. Higham, P. Papadimitriou) [2].

Второй метод

[1] Ищем компоненты F, U полярного разложения невырожденной матрицы A :

$$A = FU,$$

где

$$U^*U = E, \quad X^*FX > 0, \quad \forall X \neq 0, \quad X \in E_n.$$

Заметим, что справедливо соотношение $AA^* = F^2$. Следовательно, задача нахождения полярного разложения сводится к нахождению положительно определенного корня из матрицы AA^* . Матрица U определится по формуле $U = F^{-1}A$. Обозначим через M множество всех квадратных корней из матрицы $(\Xi \cdot \Xi^*)$:

$$M = \{ \Phi : \Phi^2 = A \cdot A^* \}.$$

Теорема 4. Множество M является инвариантным, асимптотически устойчивым в целом для матричной системы дифференциальных уравнений [3]

$$\dot{X} = -X + X^{-1}AA^*. \tag{15}$$

Доказательство. Инвариантность M очевидна. Для доказательства асимптотической устойчивости в целом множества M построим матричную функцию Ляпунова $V = X^2 - AA^*$. Ясно, что V обращается в нуль-матрицу лишь при $X \in M$ и удовлетворяет дифференциальному уравнению $\dot{V} = -2V$, откуда видно, что $V \rightarrow 0$ при любом начальном значении $V_0 = X_0^2 - AA^*$. Следовательно, $X^2 \rightarrow AA^*$ независимо от начального значения X_0 , а это и означает, что $X \xrightarrow{X_0 \in M_n} M$.

Доказательство закончено.

Таким образом, интегрируя систему (15) при условии корректно выбранного алгоритма, мы обязательно попадем в точку множества M . Выпишем вычислительное предписание Рунге-Кутты четвертого порядка

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= X_k + \frac{h}{6}(K_1 + 2(K_2 + K_3) + K_4), \\ K_1 &= -X_k + X_k^{-1}AA^* K_2 = -(X_k + \frac{h}{2}K_1) + (\dots)^{-1}AA^*, \\ K_3 &= -(X_k + \frac{h}{2}K_2) + (\dots)^{-1}AA^* K_4 = -(X_k + hK_3) + (\dots)^{-1}AA^*. \end{aligned}$$

Корректность метода будет обеспечиваться надлежащим выбором шага h , который должен удовлетворять условию

$$\| X_{k+1}^2 - AA^* \| < \| X_k^2 - AA^* \|.$$

Критерием окончания будет близость к нулю норм в последнем неравенстве. Пусть матрица $\Phi \in M$ найдена; приведем Φ к каноническому виду Жордана $\Phi = S^{-1}J_\Phi S$. В силу определения Φ матрица J_Φ диагональная: $J_\Phi = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$. Построим матрицу J_F по правилу $J_F = \text{diag}(|\lambda_1|, \dots, |\lambda_n|)$. Тогда F определится по формуле $F = S^{-1}J_F S$ [4]. Поскольку справедливы соотношения $\Phi^2 = AA^*, F^2 = \Phi^2$, матрица F и является матрицей полярного разложения в силу своей положительной определенности. Как было отмечено выше, матрица U находится по формуле $U = F^{-1}A$.

Выводы

Особый интерес представляет изучение условной устойчивости не нулевых, а равновесных решений системы дифференциальных уравнений с частными производными. Действительно, если нас интересует близость к нулю лишь части компонент вектора U , то в этом случае естественно рассматривать эту задачу как задачу об устойчивости по части переменных. Мы можем рассматривать вопросы устойчивости уходящих движений в функциональных пространствах решений дифференциальных уравнений с частными производными.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (пр. № 10-08-000624).

Список литературы

1. *Зубов А.В.* Динамическая безопасность управляемых систем / А.В. Зубов, Н.В. Зубов. – Изд-во НИИ Химии СПбГУ, СПб. – 2009. – 172с.;
2. *Дикусар В.В., Зубов А.В., Зубов Н.В.* Структурная минимизация стационарных систем управления и наблюдения // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления, 2010. - № 4. – С. 13-17;
3. *Дикусар В.В., Зубов А.В., Зубов Н.В.* Критерии управляемости стационарных систем // Доклады академии наук, 2010. – Т. 430, - № 1. – С. 13-14;
4. *Зубов А.В., Зубов И.В., Зубов С.В., Стрекопытов И.С., Стрекопытова М.В.* Аналитическая природа случайных последовательностей // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного Политехнического университета, 2010. -№ 104. – С. 84-89.

01.04.15

П.И. Дергунов к.физ.-мат.н.

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

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ДЕФОРМАЦИИ СОРБЕНТОВ

В работе рассматривается вопрос описания сорбционного равновесия с учетом неинертности сорбента. Предложена модель сорбционной деформации сорбентов, апробированная для двух различных систем: CO₂ (газ) – микропористый углеродный адсорбент АУК; CO₂ (газ) – стеклообразный полимер поликарбонат в широкой области давлений (до 6 МПа).

Ключевые слова: сорбционные явления, деформация сорбента, неинертность сорбента, микропористые адсорбенты, стеклообразные полимеры.

В настоящее время для описания сорбционного равновесия широко используется метод, в котором роль поверхности сводится лишь к созданию сорбционного поля. Рассмотрение сорбента неинертным требует дополнительно учитывать в термодинамических расчетах его деформацию. Одной из ее причин является уменьшение величины нескомпенсированных сил, приложенных к поверхностным атомам вследствие их взаимодействия с сорбируемыми молекулами. Широкого внимания исследованию сорбционной деформации до последнего времени практически не уделялось.

Давление, деформирующее сорбент, преимущественно связано с взаимодействием молекул сорбата с внутренней поверхностью сорбента, т.е. является внутренним. Это показывают простые оценки, проведенные по экспериментальным зависимостям величины относительной линейной деформации $\Delta l/l$ от величины давления P и модулю Юнга E [1, 3].

Внутреннее давление можно представить как разность двух давлений – давления, связанного с ударами сорбированных молекул P_2 , и давления P_1 , сжимающего сорбент за счет эффекта уменьшения поверхностного натяжения сорбента при сорбции:

$$P = -P_1 + P_2. \quad (1)$$

Давление P_1 можно выразить через силу f , вызывающую контракцию при сорбции одной молекулы сорбата, текущее число сорбированных молекул N и эффективную площадь поверхности сорбента S :

$$P_1 = f \cdot N / S.$$

Умножив числитель и знаменатель дроби на массу молекулы сорбата $m_{\text{мол}}$ и массу сорбента $m_{\text{сорб}}$ можно перейти к текущей величине сорбции a :

$$P_1 = \frac{f \cdot a}{S_{\text{уд}} \cdot m_{\text{мол}}}. \quad (2)$$

Давление P_2 определяется концентрацией сорбированных молекул, соударяющихся с поверхностью сорбента, в расчете на свободный объем и кинетической энергией. Допуская, что сорбированные молекулы ведут себя подобно идеальному газу:

$$P_2^{\text{ид}} = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \frac{i \cdot k \cdot T}{2},$$

где n – концентрация молекул в газовой фазе; i – число степеней свободы молекулы; k – постоянная Больцмана; T – температура.

В общем случае в рассмотрение необходимо ввести коэффициент A , характеризующий неупругость ударов. Также необходимо учитывать, что концентрация сорбированных

молекул при расчетах должна браться на свободный объем, т.е. с учетом размеров самих молекул. В соответствии с распределением Больцмана она может быть найдена как:

$$n_* = n_{\text{газ}} \cdot \exp\left(\frac{-(\varepsilon_p^{\text{сорб}} - \varepsilon_p^{\text{газ}})}{R \cdot T}\right),$$

где $n_{\text{газ}}$ – давление в равновесной газовой фазе; $\varepsilon_p^{\text{сорб}}$ и $\varepsilon_p^{\text{газ}}$ – молярные потенциальные энергии взаимодействия в сорбированном состоянии и газовой фазе соответственно; R – универсальная газовая постоянная.

Если равновесная газовая фаза является идеальной, то $\varepsilon_p^{\text{газ}} = 0$ и

$$P_2 = A \cdot \frac{i}{3} \cdot \exp\left(\frac{-\varepsilon_p^{\text{сорб}}}{R \cdot T}\right) \cdot P_{\text{газ}}^{\text{ид}},$$

где $P_{\text{газ}}^{\text{ид}} = n_{\text{газ}} \cdot k \cdot T$.

Если равновесная газовая фаза является неидеальной то с учетом

$$P_{\text{газ}} = z \cdot P_{\text{газ}}^{\text{ид}},$$

где z – фактор сжимаемости газовой фазы, получаем:

$$P_2 = A \cdot \frac{i}{3} \cdot \exp\left(\frac{-\varepsilon_p^{\text{сорб}}}{R \cdot T}\right) \cdot \frac{P_{\text{газ}}}{z}. \quad (3)$$

Подразумевая упругость деформации сорбента можно записать следующее выражение для описания его относительной линейной деформации:

$$\Delta l / l = (-P_1 + P_2) / E,$$

или, с учетом выражений (2) и (3),

$$\frac{\Delta l}{l} = -C \cdot a + B \cdot \exp\left(\frac{-\varepsilon_p^{\text{сорб}}}{R \cdot T}\right) \cdot P_{\text{газ}}, \quad (4)$$

где $C = f / (E \cdot S_{\text{уд}} \cdot m_{\text{мол}})$; $B = A \cdot i / (3 \cdot E \cdot z)$.

Аналогичное выражение можно получить и для описания относительной объемной деформации:

$$\frac{\Delta V}{V} = -J \cdot a + D \cdot \exp\left(\frac{-\varepsilon_p^{\text{сорб}}}{R \cdot T}\right) \cdot P_{\text{газ}}, \quad (5)$$

где $J = f / (M \cdot S_{\text{уд}} \cdot m_{\text{мол}})$; $D = A \cdot i / (3 \cdot M \cdot z)$, M – модуль объемной деформации сорбента.

Предложенная модель сорбционной деформации сорбентов была апробированная для двух различных систем: адсорбции углекислого газа CO_2 микропористым углеродным адсорбентом АУК [3] и сорбции углекислого газа CO_2 стеклообразным полимером поликарбонатом [1].

Микропористые углеродные адсорбенты АУК имеют однородно-микропористую структуру. Поскольку размер микропор соизмерим с размерами адсорбируемых молекул, данная адсорбционная ситуация очень близка к лэнгмюровской. В то же время имеется некоторая неоднородность адсорбента, латеральные взаимодействия адсорбированных молекул и адсорбционная деформация адсорбента. Поэтому на основе уравнения межфазового равновесия, приведенного в [2], и модельных предпосылок, близких к лэнгмюровским, было получено следующее соотношение [4]:

$$\theta = \frac{P_{\text{газ}}}{K \cdot a_{\text{max}} + P_{\text{газ}}} = \frac{K_* \cdot P_{\text{газ}}}{1 + K_* \cdot P_{\text{газ}}}, \quad (6)$$

где $K_* = 1 / (K \cdot a_{\text{max}})$; $K = (RT) / (V_{\text{уд max}} \cdot \mu) \cdot \exp(-q_{\text{st}} / (R \cdot T))$; θ – степень заполнения микропор адсорбента; a_{max} – предельная величина равновесной адсорбции при данной температуре; $V_{\text{уд max}}$ – удельный максимальный объем заполнения микропор; μ – молярная масса

адсорбента; q_{st} – молярная изостерическая теплота адсорбции.

Выражая в (6) величину давления через величину адсорбции и подставляя в (4), получаем уравнение, описывающее деформацию как функцию величины адсорбции:

$$\frac{\Delta l}{l} = -C \cdot a + \frac{Y \cdot a}{(1-\theta)} \cdot \exp\left(\frac{Q}{R \cdot T}\right),$$

где $Y = (B \cdot R \cdot T) / (V_{уд\max} \cdot \mu)$; $Q = -\varepsilon_p^{ад} - q_{st}$.

Для адекватного описания деформации в области больших давлений в полученном выражении необходимо также учесть существование свободного объема при плотном заполнении микропор:

$$\frac{\Delta l}{l} = -C \cdot a + \frac{Y \cdot a}{(1-g \cdot \theta)} \cdot \exp\left(\frac{Q}{R \cdot T}\right), \quad (7)$$

где g – параметр, учитывающий существование свободного объема при плотном заполнении микропор.

Проверка адекватности уравнения (7) проводилась на основе экспериментальных данных, приведенных в [3], – изотерм, адсорбционных деформаций микропористого углеродного адсорбента АУК и молярных изостерических теплот адсорбции в широкой области давлений (до 6 МПа). Расчеты осуществлялись на основе предположения, что параметры C и Y в уравнениях, учитывая небольшие деформации адсорбента, практически не изменяются при постоянной температуре. Параметр g принимался равным 1. Найденные значения параметров C и Y использовались для нахождения таких значений потенциальной энергии взаимодействия в адсорбированном состоянии $\varepsilon_p^{ад}$, при которых наблюдалось совпадение расчетных и экспериментальных кривых $\Delta l/l = f(P)$. Во всех рассмотренных случаях наблюдалась хорошая корреляция величин $-\varepsilon_p^{ад}$ и q_{st} , разница между ними не превышает величины $R \cdot T$.

В последние годы значительное внимание получило изучение термодинамического поведения стеклообразных полимеров в контакте с газами при повышенных давлениях. Многие из технологических процессов используют в качестве проникающего газа – углекислый газ, который имеет высокую растворимость в стеклообразных полимерах, что может вызывать существенное набухание полимеров.

Стеклообразные полимерные сорбенты обладают специфической межмакромолекулярной природой [6], поэтому составляющей P_1 в выражениях (4) и (5) можно пренебречь:

$$\frac{\Delta V}{V} = D \exp\left(\frac{-\varepsilon_p^{сorb}}{RT}\right) P_{газ}. \quad (8)$$

Записанное выражение позволяет на основе экспериментальных изотерм относительной деформации сделать расчет важнейшей характеристики сорбционного процесса $-\varepsilon_p^{сorb}$. Найдя значения параметров функции корреляции по изотермам относительной деформации для двух температур, становится возможным определение значения $-\varepsilon_p^{сorb}$:

$$-\varepsilon_p^{ад} = \frac{R \ln(k_1 / k_2)}{T_1^{-1} - T_2^{-1}}, \quad (9)$$

где k_i – тангенс угла наклона зависимости относительной деформации поликарбоната при температуре T_i .

Обработка экспериментальных данных [1] – изотерм относительной деформации поликарбоната при сорбции CO_2 позволила рассчитать значение $-\varepsilon_p^{ад} = 40,4$ кДж/моль [5] и предложить для описания зависимости относительной объемной деформации поликарбоната при сорбции CO_2 от давления равновесной газовой фазы уравнение [5]:

$$\frac{\Delta V}{V} = 5,76 \cdot 10^{-9} \exp\left(\frac{40,4 \cdot 10^3}{RT}\right) P_{\text{газ}}. \quad (10)$$

Полученные результаты соответствуют представлениям о физической природе процесса сорбции углекислого газа поликарбонатом и экспериментальным данным [1].

Список литературы

1. *Keller J.U., Rave H., Staudt R.* Measurement of gas adsorption in a swelling polymeric materials by a combined gravimetric-dynamic method// *Macromol. Chem. Phys.* – 1999. Vol. 200. – P. 2269-2275.
2. *Tvardovski A.V.* Description of Adsorption and Absorption Phenomena form a Single Viewpoint// *J. Col. Int. Sci.* – 1996. Vol. 179. – P. 335-340.
3. *Yakovlev V.Yu., Fomkin A.A., Tvardovski A.V.* Adsorption and deformation phenomena at interaction of CO₂ and microporous carbon adsorbent// *J. Col. Int. Sci.* – 2003. Vol. 268. – P. 33-36.
4. *Дергунов П.И.* Термодинамическое поведение систем, содержащих микропористые адсорбенты и газы при высоких давлениях: дис. канд. физ.-мат. наук. – Тверь, 2006. – С. 56-67.
5. *Дергунов П.И., Скоробогатов А.М., Твардовский А.В.* Термодинамическая модель деформации сорбентов// *Интеграция науки и образования – производству, экономике.* – Тверь: ТвГТУ, 2012, С. 72 – 76.
6. *Тагер А.А.* Физикохимия полимеров. – М.: Химия, 1978. – 544 с.

01.01.06

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев

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

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО БЕСКОНЕЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ГРУПП-КВАРТЕТОВ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Аналитически доказано, что количество групп-квартетов простых чисел на числовой оси бесконечно. Создано решето типа Эратосфена, генерирующее эти группы простых чисел, получена формула числа квартетов в области больших простых чисел. Проведены расчеты, подтверждающие найденные алгоритмы.

Ключевые слова: *решето Эратосфена, квартеты простых чисел, сумма арифметических прогрессий.*

В современной теории простых чисел (ПЧ) насчитывается некоторое число нерешенных задач [1-3]. В предыдущих работах нами решены некоторые из них: доказано бесконечное количество пар-близнецов [4], пар-четверок [5], подтверждена гипотеза Эйлера-Гольдбаха [6], о том, что любое четное число, большее «2», есть сумма двух ПЧ. Общий подход к решению этих задач основан на создании специального супер-решета Эратосфена и применении теоремы о наложении произвольного числа арифметических прогрессий на заданный отрезок числовой оси. Работы отправлены академикам, специалистам по теории чисел с просьбой дать заключение. Отрицательных отзывов не получено.

В данной работе впервые решается задача о количестве так называемых квартетов, групп из ближайших двух пар-близнецов (ПБ) простых чисел $K_n = \{p_{n1}; p_{n2} = p_{n1} + 2; p_{n3} = p_{n1} + 6; p_{n4} = p_{n1} + 8\}$, например, $K_1 = \{11; 13; 17; 19\}$, $K_2 = \{101; 103; 107; 109\}$, $K_3 = \{191; 193; 197; 199\}$. Самый первый квартет $K_0 = \{5; 7; 11; 13\}$ занимает особое положение и в общую теорию не ходит.

Первая ПБ $\{p_{n1}; p_{n2}\}$ обладает центром ПБ \hat{m}_{n1} , который генерирует эту ПБ по формуле $p(\hat{m}_{n1}; \mp) = 6\hat{m}_{n1} \mp 1$. Вторая ПБ $\{p_{n3}; p_{n4}\}$ имеет центр $\hat{m}_{n2} = \hat{m}_{n1} + 1$. Например, квартет K_1 имеет $\hat{m}_{11} = 2, \hat{m}_{12} = 3$; K_2 имеет $\hat{m}_{21} = 17, \hat{m}_{22} = 18$. В свою очередь оба этих центра ПБ создают центр квартета $h_n = (2\hat{m}_{n1} + 1)/5 = (2\hat{m}_{n2} - 1)/5$, которое должно быть натуральным числом. Центр для: K_1 есть $h_1 = 1$; для K_2 $h_2 = 7$; для K_3 $h_3 = 13$. Отсюда следует, что существует два класса квартетов: у первого класса \hat{m}_{n1} оканчивается на «2», а у второго класса \hat{m}_{n1} оканчивается на «7». В приведенном выше примере K_1 и K_3 относятся к первому классу, K_2 – ко второму классу. В дальнейшем мы будем рассматривать квартеты только первого класса и нумерация их центров будет вестись последовательно, т.е. K_3 будет обозначаться как K_2 .

Поскольку все \hat{m}_{n1} при этом оканчиваются на «2», то запишем $\hat{m}_{n1} = 10\hat{\mu}_n + 2$ и для поиска хороших \hat{h}_n , создающих квартет, и плохих (не дающих квартета) \bar{h}_n будем работать с числом десятков μ_n в центрах пар нечетных чисел m . В [4] было показано, что хороший центр ПБ \hat{m} удаляет все плохие \bar{m} (они дают два нечетных числа, не образующих ПБ) по формулам

$$\bar{m} = \pm\hat{m} + (6\hat{m} \pm (\mp)1)k. \quad (1)$$

В (1) $k \in \mathbb{N}$. Мы имеет четыре арифметические прогрессии (АП) на каждую ПБ. Если ПЧ p не входит в ПБ, то оно имеет «родителем» $\bar{m}(p) = ((p \pm 1)/6) \in \mathbb{N}$. Это плохое $\bar{m}(p)$ также создает последовательность плохих \bar{m} , которые надо удалить

$$\bar{m} = \pm\bar{m}(p) + pk. \quad (2)$$

Так как в (1, 2) для образования квартетов надо брать такие k , чтобы \bar{m} оканчивались на «2» и «3», то каждое ПЧ дает четыре АП. Оставшиеся не удаленные m , также оканчивающиеся на «2» и «3», будут давать ПБ входящие в квартет, т.е. \hat{m} . В этом состоит

принцип супер-решета Эратосфена для квартетов простых чисел. Будем последовательно перебирать ПЧ, начиная с $p=7$, так как $p=5$ не дает \hat{m} , оканчивающиеся на «2» и «3».

Приведем АП с плохими $\bar{\mu}(p)$, рассчитываемыми по формуле

$$\begin{aligned} \bar{\mu}(p) &= c_{p,j} + p(k-1). \\ c_{7,j} &= \{1; 2; 4; 6\}; c_{11,j} = \{1; 4; 5; 11\}; c_{13,j} = \{6; 9; 10; 13\}; \\ c_{17,j} &= \{8; 12; 13; 17\}; c_{19,j} = \{2; 9; 7; 19\}; c_{23,j} = \{7; 4; 14; 20\}; \\ c_{29,j} &= \{5; 6; 8; 9\}; c_{31,j} = \{21; 22; 24; 25\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Далее, взяв все целые числа на отрезке $[0, 60]$ и удалив из них числа $\bar{\mu}(p)$ всех 32 указанных АП, получим, что не удалены $\hat{\mu} = (0; 3; 31; 54)$. Каждое такое число соответствует квартету: $0 \rightarrow m = \{2; 3\} \rightarrow h_1 = 1 \rightarrow K_1$.

$3 \rightarrow m = \{32; 33\} \rightarrow h_2 = 13 \rightarrow K_2 = \{191; 193; 197; 199\}$.

$31 \rightarrow m = \{312; 313\} \rightarrow h_3 = 125 \rightarrow K_3 = \{1871; 1873; 1877; 1879\}$.

$54 \rightarrow m = \{542; 543\} \rightarrow h_4 = 217 \rightarrow K_4 = \{3251; 3253; 3257; 3259\}$.

Нами проведены прямые компьютерные расчеты квартетов до $p = 300\,000$, которые полностью совпали с результатами по супер-решету Эратосфена. В таблице №1 приведены центры h_n первых тридцати квартетов.

Таблица №1. Центры квартетов h_n первого класса

1	13	125	217	377	629	1049	1261	1401	1485
3689	4481	4633	5313	5921	6609	6741	7769	7953	10485
12509	13049	13433	16533	17361	17921	19621	19725	19965	20033

Сами квартеты находятся по формуле $K_n = \{(15h_n \pm 3) \pm (\mp)1\}$.

Заметим, что в супер-решете в отличие от классического решета Эратосфена, первое не вырезанное μ не обязательно есть хорошее. Если проверены все $p_n \leq \sqrt{60\mu_n + 19}$ на удаление $\bar{\mu}(p_n)$, то только в этом случае не удаленное μ есть хорошее $\hat{\mu}$.

Покажем, что число квартетов на числовой оси бесконечно. Ранее Дружининым [4] было показано, что число ПБ на числовой оси бесконечно. Тут этот факт мы подтвердим другим расчетом. Поскольку \hat{m} дает ПБ $(6\hat{m} \mp 1)$, то существует буферная зона – отрезок $D(\hat{m}) = [\hat{m}, 5\hat{m} - 2]$, в котором предыдущим анализом – формула (1) – по ПЧ $p \leq p_n < (6\hat{m} - 1)$ не удалены только новые хорошие \hat{m} . Длина $D(\hat{m})$ $L(\hat{m}) = 4\hat{m} - 1 = ((2p(\hat{m}; -) - 1)/3)$. Это число чисел на отрезке $D(\hat{m})$. Используя теорему о наложении АП [4,6], находим вероятность обнаружения не вычеркнутого числа \hat{m} $W(\hat{m}) = \prod_{c=1}^n (1 - (2/p_c))$. Нумерация ПЧ следующая $\{p_1 = 5; p_2 = 7; p_3 = 11; p_4 = 13; \dots\}$. Так как $\ln W(\hat{m}) = \sum_{c=1}^n \ln(1 - (2/p_c))$, то используем систему соотношений:

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

Используем формулу Лагранжа-Чебышева $\sum_{k=1}^n (1/p_c) = \ln \ln p_n + \ln C$. В результате для вероятности обнаружения не удаленного m получаем формулу $W(m) > (1/C^4 \ln^4 p_n)$. Поскольку на отрезке $D(\hat{m})$ всего $L(\hat{m})$ чисел, то число не вычеркнутых (центров ПБ) \hat{m} по теории вероятностей в буферной зоне, следующее

$$\tilde{N}(\text{ПБ}) > L(\hat{m})W(m) = \frac{(2p(\hat{m}; -) - 1)}{3C^4 \ln^4 p_n} > \frac{2p_n}{3C^4 \ln^4 p_n}. \quad (5)$$

При стремлении p_n к бесконечности по правилу Лопиталья дробь в правой части неравенства (5) также стремится к бесконечности, что и доказывает бесконечное количество ПБ.

Поскольку центры ПБ \hat{m} оканчиваются только на «0», «2», «3», «5», «7» и «8», то вероятность попасть на нужный нам для квартета первый центр ПБ, оканчивающийся на «2», есть $\omega = 1/6$. Вероятность же, что второй центр ПБ при этом оканчивается на «3», есть $\omega = 1/30$. Отсюда следует, что на заданном отрезке числовой оси число ПБ примерно в 30 раз больше числа квартетов, и, следовательно, само число квартетов бесконечно. Статистика

подтверждает этот вывод. Пользуясь таблицей №1 получаем, что четвертый квартет имеет центр $h_4 = 217$, наибольшее $p_{44} = 15h_4 + 3 + 1 = 3259$, число ПБ на отрезке $[5, 3259]$ равно 86, то есть $86/4 \approx 22$. Для $h_5 = 377$ эта дробь $138/5 \approx 28$. Для $h_6 = 629$ эта дробь $197/6 \approx 32$.

Далее докажем бесконечность количества квартетов напрямую. Выделим набор ПЧ $\{p_2 = 7; p_3 = 11; p_4 = 13; \dots; p_n\}$. Наибольшее $\mu_n < (p_{n+1}^2 - 16)/60$ определяет правую границу буферной зоны $D(n) = [1, \mu_n]$. Если мы удалили по (3) все плохие $\bar{\mu}(p_k)$ с ПЧ из набора, то в буферной зоне останутся только хорошие $\hat{\mu}$. Например, при $n = 3$ имеем $\mu_n = 4$. Удаляя из отрезка $[1, 4]$ плохие $\bar{\mu}(p_k) = \{1; 2; 4\}$ по (3), видим, что число $\hat{\mu} = 3$ дает квартет K_2 . Для нахождения вероятности обнаружения центра квартета наложим все $4n$ АП (3) на отрезок $[1, B_n]$, где $B_n = \prod_{c=2}^n p_c$. Эти АП оставляют не вырезанными $S = \prod_{c=2}^n (p_c - 4)$ чисел. При этом не все они есть хорошие $\hat{\mu}$. Логарифм вероятности обнаружения не удаленного μ равен

$$\ln W(n) = \ln \left(\frac{S}{B_n} \right) = \ln \prod_{c=2}^n \left(1 - \frac{4}{p_c} \right) = \sum_{c=2}^n \ln \left(1 - \frac{4}{p_c} \right). \quad (6)$$

Далее используем соотношения

$$\begin{aligned} \ln \left(1 - \frac{4}{p_c} \right) &= - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \left(\frac{4}{p_c} \right)^k > - \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{4}{p_c} \right)^k = - \frac{4}{p_c - 4} > - \frac{10}{p_c}. \\ \ln W(n) &> -10 \sum_{c=2}^{\infty} \frac{1}{p_c} = \ln \frac{1}{C_1^{10} \ln^{10} p_n}. \end{aligned} \quad (7)$$

Так как длина буферной зоны $\mu_n \approx (p_n^2 - 16)/60$, то по теории вероятностей число центров квартетов в этой зоне определяется неравенством

$$N > \mu_n W(n) > \frac{(p_n^2 - 16)}{60 C_1^{10} \ln^{10} p_n}. \quad (8)$$

Из (8) видно, что с ростом p_n правая часть стремится к бесконечности, что и доказывает поставленную задачу.

Работа докладывалась на 8-м Всесоюзном совещании «Математика и математическое моделирование» (г. Саров, апрель, 2014) и на 19-м - Нижегородском семинаре молодых ученых (Нижний Новгород, май, 2014). Авторы благодарят проф., д.ф.м.н., начальника отдела РФЯЦ-ВНИИЭФ Ю.Н. Дерюгина за обсуждение и поддержку.

Список литературы

1. *Нестеренко Ю.В.* Введение в криптографию, Питер, 2001.
2. *Сизый С.В.* Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.
3. *Dicson L.E.* History of the Theory of Numbers, v. II, СРС, NewYork, 1971.
4. *Дружинин В.В.* НТВП, 2014, № 1, стр.22.
5. *Drushinin V.V., Lazarev A.A., Sirotkina A.G.* Life Science Journal, 2014, 11(10s), p. 346.
6. *Дружинин В.В.* НТВП, 2014, № 3, стр.14.

01.02.08

Т.А. Зайцева, Ю.Г. Коноплев, В.И. Митрякин, О.А. Саченков

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, 4works@bk.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ АЦЕТАБУЛЯРНОГО КОМПОНЕНТА С НЕДОПОКРЫТИЕМ

В работе представлены результаты исследования поведения ацетабулярного компонента, установленного с предварительным натягом в тазобедренный сустав с различной степенью недопокрытия. Приведены результаты расчетов конечно элементной модели с учетом контактного взаимодействия для различных степеней недопокрытия. Результаты сравнивались с клиническими и экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: *биомеханика, тазобедренный сустав, контактное взаимодействие, математическое моделирование, эндопротезирование.*

В настоящее время ведётся дискуссия по поводу тактики эндопротезирования ТБС при тяжёлых дисплазиях ТБС. Остаются «открытыми» вопросы об уровне установки вертлужного компонента [1-3], необходимости резекции или остеотомии проксимального конца бедренной кости, возможности двухэтапного эндопротезирования ТБС. Существуют различные варианты установки вертлужного импланта, в том числе и с частичным недопокрытием вертлужного компонента. Современные методы математического моделирования позволяют моделировать сложное биомеханическое поведение сустава [4], в том числе и сформулировать области применения такого метода эндопротезирования на основе расчетов. Всё вышперечисленное свидетельствует об огромном арсенале методов и их комбинаций и отсутствии на сегодняшний день оптимальной тактики при эндопротезировании тазобедренного сустава у пациентов с диспластическим коксартрозом III – IV ст. (рис. 1) и указывает на настоятельную необходимость поиска современных решений.

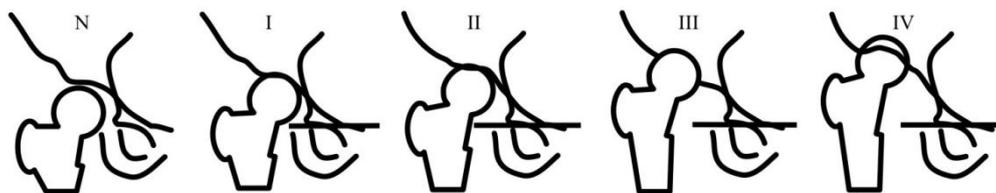


Рис. 1 - Классификация дисплазии тазобедренного сустава по Crowe J F

Задачей настоящего исследования является улучшение результатов эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов с тяжелой степенью дисплазии путем разработки алгоритма выбора оптимального варианта эндопротезирования. С этой целью были проведены численные исследования влияния степени недопокрытия вертлужного компонента на несущую способность имплантата.

Для оценки напряженно-деформируемого состояния важно учитывать контактное взаимодействие между имплантатом и костью, существуют различные подходы для реализации контактного взаимодействия [5]. На рис. 2 представлены свободные грани элементов целевой (А) и исходной (В) поверхностей. В ходе деформации исследуемой модели происходит движение точки исходной грани (точка D) относительно целевой грани. В процессе решения через воздействующую точку D строится репер: тангенциальные вектора \vec{e}_1, \vec{e}_2 и нормаль \vec{n} . Пересечение нормали с целевой гранью происходит в точке С.

При расчетах предполагается, что проникновение воздействующей точки в целевую грань проходит через точку С. Величина проникновения рассчитывается по формуле:

$$p = p_o + (u_H - u_T)n,$$

где p_o - начальное проникновение,

u_H - перемещение точки D,

u_T - перемещение точки С.

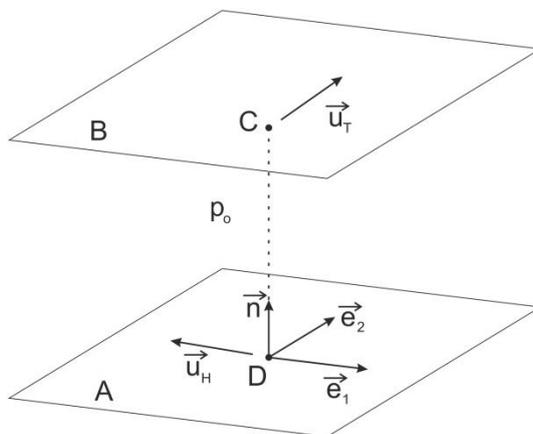


Рис. 2 - Целевая и исходная поверхности

Это выражение определяется через интерполяционные функции для узлов исходной и целевой грани элементов и имеет вид:

$$p = p_o + [q_n] \begin{pmatrix} u_H \\ u_T \end{pmatrix},$$

где $[q_n]$ - матрица-строка, состоящая из произведения интерполяционных функций на нормали,

u_H, u_T - узловые перемещения исходной и целевой грани.

Аналогично для тангенциального скольжения:

$$\Delta \xi = \xi_o + [q_t] \begin{pmatrix} u_H \\ u_T \end{pmatrix}$$

Для всех контактных элементов в матричном виде вышеуказанные выражения принимают вид:

$$\{p\} = [Q_n]\{U\} + \{P_o\}$$

$$\{\Delta \xi\} = [Q_t]\{U\} + \{\xi_o\}$$

Для решения линейного контактного взаимодействия используется расширенный метод Лагранжа. Удовлетворение условия линейного контакта (нулевое взаимопроникновение) достигается корректировкой контактных сил t на каждой итерации алгоритма линейного контакта в соответствии со следующим выражением:

$$t^j = t^{j-1} + \varepsilon p,$$

где t - контактная сила,

p - текущее значение проникновения в точке,

ε - штрафная жесткость.

Решение алгоритма линейного контакта делится на два итерационных цикла. Первый цикл определяет статусы контактных элементов. Второй цикл – цикл итераций обновления контактных усилий для выполнения условия нулевого проникновения для всех активных контактных элементов.

Для проведения численных исследований была построена трехмерная модель тазобедренного сустава, а также ацетабулярного компонента. На рис. 3 приведена построенная модель с дисплазией (а) и конечно-элементное разбиение (б). В рамках расчетов учитывалась посадка в натяг ацетабулярного компонента в кость и контактное взаимодействие между ними с учетом трения.

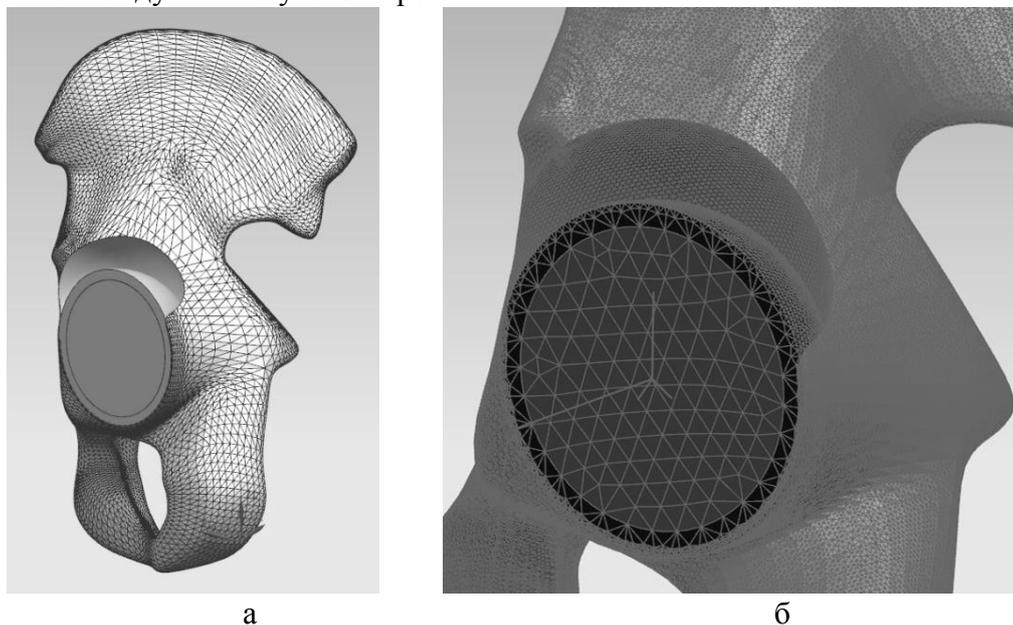


Рис. 3 - а: модель сустава с ацетабулярным компонентом,
б: конечноэлементное разбиение

Ацетабулярный компонент моделировался как двухкомпонентный объект, внешняя чашка титановая ($E = 112$ ГПа, $\nu = 0.3$), внутренняя чашка керамическая ($E = 102$ ГПа, $\nu = 0.26$). Характеристики кости $E = 6$ ГПа, $\nu = 0.3$, коэффициент трения между костной тканью и имплантатом 0.95.

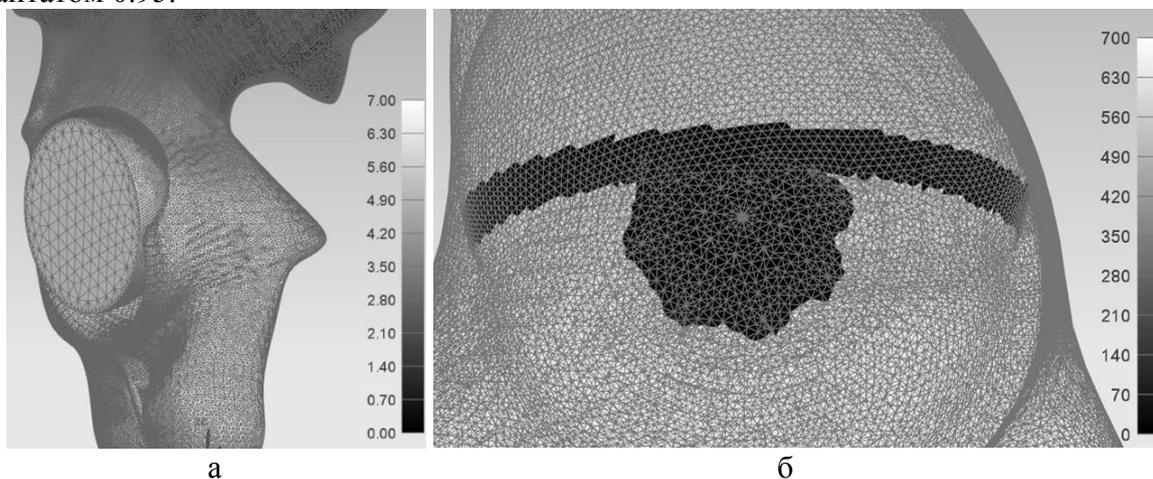


Рис. 4 - а: Перемещение чашки (мм), б: контактное давление (МПа)

Диаметр чашки брался на 4 мм больше диаметра вертлужной впадины. К чашке прикладывалась сила, направленная по нормали, проводились расчеты под действием различных сил, на рис. 4 показаны перемещения (а) и кантатное давление (б) под действием силы 1000 Н, с недопокрытием 30%. При этом имплантат сместился внутри чашки, то есть потерял несущую способность. Полученные результаты совпадают с экспериментальными и клиническими исследованиями в данной области [1,2,6].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №13-01-97059, №13-01-97058, № 12-01-00955, № 12-01-97026, № 12-01-31212, № 14-01-31291.

Выражаем благодарность Центру молодежного инновационного творчества «Идея» за оказанное содействие в работе.

Список литературы

1. *Atila, B.* Position of the acetabular component determines the fate of femoral head autografts in total hip replacement for acetabular dysplasia // *J. Bone Joint Surg.* 2007; (89) B, N7: 874–878.
2. *Goran Bicanic, Domagoj Delimar, Marko Delimar, Marko Pecina.* Influence of the acetabular cup position on hip load during arthroplasty in hip dysplasia // *Int Orthop.* 2009 April; 33(2): 397–402.
3. *Jasty, M., Anderson MJ, Harris WH.* Total hip replacement for developmental dysplasia of the hip // *Clin Orthop Relat Res.* 1995; (311):40–45
4. *Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А.* Применение математического моделирования при планировании операции по эндопротезированию тазобедренного сустава // Ученые записки казанского университета. серия: физико-математические науки – Казань., 2011. – С. 76–83.
5. *Балафендиева И.С., Бережной Д.В., Секаева Л.Р.* Исследование деформирования элементов транспортных сооружений, взаимодействующих с грунтом сложной физической природы. // *Морские интеллектуальные технологии.* 2011. № 3. С.81-84.
6. *Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Мазуренко А.В., Митряйкин В.И., Саченков О.А., Кузин А.К., Денисов А.О., Плиев Д.Г., Бояров А.А., Коваленко А.Н.* Экспериментальное обоснование установки ацетабулярного компонента с недопокрытием при эндопротезировании пациентов с тяжелой степенью дисплазии // *Травматология и ортопедия России* №4(70) 2013 С.42-51.

01.01.02

А.И. Зубов, В.И. Зубов, И.С. Стрекопытов, С.А. Стрекопытов

Санкт-Петербургский государственный университет, факультет Прикладной математики - Процессов управления, кафедра теории управления, Санкт-Петербург, ddemidova@mail.ru

ВЫДЕЛЕНИЕ КРАТНЫХ И КОСОСИММЕТРИЧНЫХ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ЕВКЛИДА

В данной статье дано полное решение проблемы отделения комплексных и мнимых корней у характеристического многочлена с помощью линейных рекуррентных преобразований его коэффициентов.

Ключевые слова: *многочлен, теорема алгебры, равенство, корень, степень, комплексный коэффициент, формула, процесс деления.*

Введение

Целью данной статьи является изложение как уже известных, так и вновь созданных рекуррентных алгоритмов представляющих собой последовательные линейные преобразования коэффициентов исходного характеристического многочлена с целью определения характеристик корней этого многочлена и их локализации относительно мнимой оси. Эти алгоритмы имеют перед остальными методами и критериями в данной области преимущество в основном вычислительного характера. Дело здесь заключается в том, что число элементарных арифметических операций требующихся для полной реализации этих алгоритмов несравненно меньше, чем у других методов и, следовательно, ошибки округления будут при их применении минимальными. Это позволяет использовать предлагаемые рекуррентные алгоритмы для исследования устойчивости систем практически любого порядка.

Применение алгоритма Евклида для выделения кратных и кососимметричных корней многочлена

Пусть задан многочлен $P(z)$ степени n в общем случае с комплексными коэффициентами

$$P(z) = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_0. \quad (1)$$

Будем считать, что он имеет s различных корней z_j , ($j=1, \dots, s$) с кратностями k_j . Тогда по основной теореме алгебры имеет место равенство

$$P(z) = a_n \prod_{j=1}^s (z - z_j)^{k_j}, \quad \sum_{j=1}^s k_j = n. \quad (2)$$

Справедлива следующая теорема.

Теорема 1. Если величина z_j является корнем многочлена $P(z)$ кратности k_j , то она также является корнем многочлена $P'(z)$ кратности $k_j - 1$.

Доказательство. Перепишем равенство (2) в виде

$$P(z) = (z - z_j)^{k_j} S(z), \quad (3)$$

где величина z_j не является корнем многочлена $S(z)$ степени $n - k_j$. Продифференцировав равенство (3) получим

$$P'(z) = k_j (z - z_j)^{k_j-1} S(z) + (z - z_j)^{k_j} S'(z) = (z - z_j)^{k_j-1} Q(z).$$

Очевидно, что величина z_j не является корнем многочлена $Q(z)$, т.к. $Q(z_j) = k_j S(z_j) \neq 0$. Отсюда вытекает, что величина z_j является корнем кратности $k_j - 1$ многочлена $P'(z)$. Теорема доказана.

Замечание 1. Из теоремы 1 вытекает, что если величина z_j является простым корнем многочлена $P(z)$, т.е. имеет единичную кратность, то она не является корнем многочлена $P'(z)$. Таким образом, если многочлен $P(z)$ имеет только простые корни (корни единичной кратности), то многочлены $P(z)$ и $P'(z)$ не имеют общих корней.

Рассмотрим теперь как алгоритм Евклида получения наибольшего общего делителя (НОД) двух целых чисел M и N можно применить для выделения общих корней двух заданных многочленов.

Пусть заданы два многочлена $P(z)$ степени n и $S(z)$ степени m ($m \leq n$) с комплексными коэффициентами

$$P(z) = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_0, \quad S(z) = b_m z^m + b_{m-1} z^{m-1} + \dots + b_0. \quad (4)$$

Справедлива следующая теорема.

Теорема 2. С помощью алгоритма Евклида за k ($k < m$) шагов можно построить многочлен $R_k(z)$ (найти все его коэффициенты), корнями которого являются общие корни двух заданных многочленов $P(z)$ и $S(z)$ степени n и m ($m \leq n$) (считая с их кратностями) и только они [1].

Доказательство. Поделим многочлен $P(z)$ на многочлен $S(z)$

$$P(z) = S(z)Q_1(z) + R_1(z), \quad (5)$$

обозначив частное от деления – как многочлен $Q_1(z)$ степени $n - m$, а остаток от деления – как многочлен $R_1(z)$ степени меньшей чем m . Покажем, что такое представление является единственным.

Так как многочлены $P(z)$ степени n и $S(z)$ степени m имеют вид (4), то коэффициенты c_i ($i = n - m, \dots, 0$) многочлена $Q_1(z)$

$$Q_1(z) = c_{n-m} z^{n-m} + c_{n-m-1} z^{n-m-1} + \dots + c_0 \quad (6)$$

последовательно находятся по формулам [2]

$$\begin{aligned} a_n &= b_m c_{n-m}, a_{n-1} = b_m c_{n-m-1} + b_{m-1} c_{n-m}, \dots, a_m = b_m c_0 + b_{m-1} c_1 + \dots + b_0 c_{n-m} \\ c_{n-m} &= \frac{a_n}{b_m}, c_{n-m-1} = \frac{a_{n-1} - b_{m-1} c_{n-m}}{b_m}, \dots, c_0 = \frac{a_m - b_0 c_{n-m} - b_1 c_{n-m-1} - \dots - b_{m-1} c_1}{b_m}. \end{aligned} \quad (7)$$

Эти формулы легко получить, если подставить выражения (4) и в уравнение (5) и приравнять коэффициенты при одинаковых степенях z . Из формул (7) в частности вытекает, что коэффициенты многочлена $Q_1(z)$ однозначно определены, а многочлен $R_1(z)$ имеет степень меньше чем m .

Повторяя последовательно процесс деления многочлена на многочлен (5), взяв вместо делимого делитель, определенный на предыдущем шаге, а вместо делителя остаток, полученный на предыдущем шаге, получим следующую цепочку равенств, однозначно определяющих входящие в него многочлены:

$$\begin{aligned} S(z) &= R_1(z)Q_2(z) + R_2(z), \\ R_1(z) &= R_2(z)Q_3(z) + R_3(z), \\ &\vdots \\ R_{k-2}(z) &= R_{k-1}(z)Q_k(z) + R_k(z), \\ R_{k-1}(z) &= R_k(z)Q_{k+1}(z). \end{aligned} \quad (8)$$

Степени остатков на каждом шаге алгоритма убывают и, следовательно, после конечного числа шагов один из остатков $R_{k-1}(z)$ должен разделиться нацело на следующий остаток $R_k(z)$. Это обязательно произойдет, по крайней мере, тогда, когда остаток $R_k(z)$ будет иметь нулевую степень (окажется числом) [3].

Покажем, что полученный многочлен $R_k(z)$ имеет корни, являющиеся одновременно корнями многочленов $P(z)$ и $S(z)$ и, наоборот.

Пусть величина z_0 является корнем многочлена $R_k(z)$, т.е. $R_k(z_0) = 0$. Подставляя значение $R_k(z_0) = 0$ в последнее равенство (8) получим, что $R_{k-1}(z_0) = 0$. Продолжая последовательно подставлять вычисляемые значения многочленов $R_i(z_0) = 0$ в предыдущие равенства (8) будем получать, что $R_{i-1}(z_0) = 0$. Окончательно будем иметь $R_1(z_0) = 0$, $S(z_0) = 0$, а из формулы (5) получим $P(z_0) = 0$ [4].

Предположим теперь, что величина z_0 является одновременно корнем многочленов $P(z)$ и $S(z)$, т.е. $P(z_0) = 0$ и $S(z_0) = 0$. Подставляя эти величины в уравнение (5) получим, что $R_1(z_0) = 0$. Далее из второго равенства формулы (8) будем иметь $R_2(z_0) = 0$. Продолжая последовательно подставлять полученные величины $R_i(z_0) = 0$ в последующие равенства формулы (8) получим, что $R_{i+1}(z_0) = 0$ и, следовательно $R_k(z_0) = 0$ [5].

Покажем, что если величина z_0 является кратным корнем для делимого и делителя, то она является корнем кратности l и для частного, где l - наименьшая кратность этого корня у делимого и делителя. Действительно, рассмотрим процесс деления, описываемый формулой (5), т.к. величина z_0 является корнем кратности l для многочленов $P(z)$ и $S(z)$, можно написать:

$$P(z) = (z - z_0)^l P_0(z), \quad S(z) = (z - z_0)^l S_0(z),$$

где $P_0(z_0) \neq 0$ или $S_0(z_0) \neq 0$. Выше было показано, что величина z_0 является корнем многочлена $R_1(z)$, т.е. $R_1(z) = (z - z_0)R_{11}(z)$. Подставляя эти выражения в формулу (5) и, сокращая на величину $(z - z_0)$, получим

$$(z - z_0)^{l-1} P_0(z) = (z - z_0)^{l-1} S_0(z) Q_1(z) + R_{11}(z).$$

Из этого равенства видно, что величина z_0 является корнем многочлена $R_{11}(z)$, т.е. $R_{11}(z) = (z - z_0)R_{12}(z)$. Подставляя это выражение в предыдущее равенство и, сокращая на величину $(z - z_0)$, получим [6]

$$(z - z_0)^{l-2} P_0(z) = (z - z_0)^{l-2} S_0(z) Q_1(z) + R_{12}(z).$$

Продолжая этот процесс далее, окончательно получим, что остаток $R_l(z)$ имеет вид $R_l(z) = (z - z_0)^l R_{ll}(z)$, т.е. величина z_0 является корнем кратности не менее l для частного $R_l(z)$ в формуле (5).

Покажем теперь, что величина z_0 является в точности корнем кратности l для частного $R_k(z)$. Предположим, что кратность этого корня для многочлена $R_k(z)$ больше l , т.е. многочлен $R_k(z)$ представим в виде $R_k(z) = (z - z_0)^{l+1} R_0(z)$. Подставляя это выражение в равенства из цепочки равенств (8) в обратном порядке, начиная с последнего, получим, что все многочлены $R_k(z), \dots, R_1(z), P(z), S(z)$ имеют множитель $(z - z_0)^{l+1}$. Пришли к противоречию с тем фактом, что величина z_0 является в точности корнем кратности l для одного из многочленов $P(z)$ и $S(z)$ [7].

Рассматривая далее другие общие корни многочленов $P(z)$ и $S(z)$, получим, что остаток $R_k(z)$ имеет только корни, являющиеся общими корнями многочленов $P(z)$ и $S(z)$, причем любой корень многочлена $R_k(z)$ имеет кратность, совпадающую с наименьшей кратностью этого корня для многочленов $P(z)$ и $S(z)$. Теорема доказана.

Замечание 2. Если в качестве многочлена $S(z)$ в алгоритме Евклида (5), (8) взять многочлен $P'(z)$, то многочлен $R_k(z)$, являющийся остатком от их деления, имеет в качестве своих корней только кратные корни многочлена $P(z)$, а их кратности на единицу меньше кратности этих же корней у многочлена $P(z)$. Это непосредственно вытекает из теорем 1-2. Таким образом, если многочлен $P(z)$ имеет вид (2), то с точностью до постоянного множителя многочлен $R_k(z)$ имеет вид

$$R_k(z) = \prod_{j=1}^s (z - z_j)^{k_j - 1}. \quad (9)$$

Нетрудно видеть, что если разделить многочлен $P(z)$ на полученный многочлен (9), то частным от их деления будет многочлен $P_1(z)$ корнями которого будут все корни многочлена $P(z)$, взятые по одному, т.е. этот многочлен (с точностью до сомножителя) имеет вид

$$P_1(z) = \prod_{j=1}^s (z - z_j), \quad P(z) = R_k(z)P_1(z). \quad (10)$$

Разделив многочлен $R_k(z)$ на его производную $R'_k(z)$ по алгоритму Евклида, получим в результате их НОД – многочлен $R_{k_1}(z)$. Если поделить многочлен $R_k(z)$ на многочлен $R_{k_1}(z)$, то получим многочлен $P_2(z)$, корнями которого будут все корни многочлена $R_k(z)$ взятые по одному или, что, то же самое, все корни многочлена $P(z)$ имеющие кратности два и более и взятые по одному. Действуя и далее, подобным образом, можно построить многочлены $P_i(z)$ корнями которых будут все корни многочлена $P(z)$ взятые по одному и имеющие кратности i и более. Таким образом, можно получить представление многочлена $P(z)$ в виде произведения простых многочленов $P_i(z)$:

$$P(z) = \prod_{i=1}^r P_i(z), \quad r = \max_j k_j \quad (11)$$

Добавим, что в результате построения многочленов $P_i(z)$ одновременно становится известно число различных корней z_j , ($j=1, \dots, s$) исходного многочлена $P(z)$ и их кратностей k_j .

Замечание 3. Если многочлен $P(z)$ имеет только простые корни, то взяв в алгоритме Евклида (5), (8) вместо многочлена $S(z)$ многочлен $P'(z)$ получим в результате его применения остаток – многочлен нулевой степени $R_k(z)$, т.е. некоторое число, т.к. многочлены $P(z)$ и $P'(z)$ не имеют в данном случае общих корней.

Выводы

Итак, мы показали, что частное от деления двух многочленов имеет корни, являющиеся общими корнями не меньше наименьшей кратности этого корня у делимого и делителя. Заметим, что в равенствах из цепочки равенств (8) делимое и делитель для любого равенства являются делителем и остатком из предыдущего равенства. Так как делитель и остаток из формулы (5) выступают как делимое и делитель в первом из равенств цепочки равенств (8), то величина z_0 также является корнем кратности не менее l для частного $R_k(z)$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (пр. № 10-08-000624).

Список литературы

1. *Дикусар В.В., Зубов А.В., Зубов Н.В.* Структурная минимизация стационарных систем управления и наблюдения // Известия Российской Академии наук. Теория и системы управления, 2010. - № 4. – С. 13-17;
2. *Дикусар В.В., Зубов А.В., Зубов Н.В.* Критерии управляемости стационарных систем // Доклады академии наук, 2010. – Т. 430, № 1. – С. 13-14;
3. *Зубов А.В.* Динамическая безопасность управляемых систем / А.В. Зубов, Н.В. Зубов. – Изд-во НИИ Химии СПбГУ, СПб., 2009. – 172 с.;
4. *Зубов А.В.* Математические методы качественного анализа систем управления и устойчивость расчетных движений / А.В. Зубов, С.В. Зубов. – ВВМ, СПб., 2011. – 323 с.;
5. *Зубов И.В.* Анализ управляемых систем и равновесных движений / И.В. Зубов, Н.В. Зубов, М.В. Стрекопытова. – ВВМ, СПб., 2012. – 322 с.;
6. *Зубов А.В.* Управление динамическими системами / А.В. Зубов, О.А. Шабурова. – Изд-во НИИ Химии СПбГУ, СПб., 2005. – 83 с.;
7. *Зубов А.В., Зубов И.В., Зубов С.В., Стрекопытов И.С., Стрекопытова М.В.* Аналитическая природа случайных последовательностей // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного Политехнического университета, 2010. - № 104. – С. 84-89;

01.04.14

А.И. Филиппов, О.В. Ахметова, К.В. Олефиренко

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Салаватский филиал, кафедра общенаучных дисциплин, Салават, filippovai@rambler.ru
Башкирский государственный университет, Стерлитамакский филиал,
кафедра теоретической физики и методики обучения физике,
Стерлитамак, k.v.olefirenko@gmail.com

ПОЛЕ ПЛОТНОСТИ СТАЦИОНАРНОГО ЛАМИНАРНОГО ПОТОКА ГАЗА В СКВАЖИНЕ

В работе представлены результаты решения стационарной нелинейной задачи о распределении плотности газа по стволу действующей скважины. Течение считается ламинарным и дозвуковым. Решение найдено в виде неявной зависимости плотности от вертикальной координаты. Составлена программа и осуществлены расчеты поля плотности вдоль ствола скважины. Показано, что даже в случае дозвукового течения изменения плотности газа являются существенными и их влияние необходимо учитывать при расчетах других термодинамических параметров в стволе скважины.

Ключевые слова: *плотность, давление, ламинарный поток газа.*

Задача об определении плотности газа по стволу скважины в общем случае приводит к необходимости решения нелинейных уравнений и поэтому не исследована окончательно даже для простейшего случая однородного потока газа [1].

Вместе с тем ее решение необходимо для проведения расчетов зависимости плотности, скорости, давления и температуры в газовой скважине [2]. Такие задачи неизбежно возникают при определении технологического режима работы скважины.

Стационарное уравнение движения включает силу трения $F_{\text{тр}}$.

$$\rho v \frac{dv}{dz} = -\frac{dP}{dz} - \rho g + F_{\text{тр}}. \quad (1)$$

В баротропном приближении плотность газа является функцией давления $\rho = \rho(P)$ или обратно – давления от плотности $P = P(\rho)$. В общем случае плотность определяется из уравнения состояния и является функцией температуры и давления $\rho = \rho(P, T)$. Таким образом, баротропное приближение как бы является изотермическим и применимо при относительно небольших перепадах температуры. Применительно к скважинным условиям это оправдано, поскольку перепады давления составляют десятки атмосфер, т.е. порядка 1000% по отношению к атмосферному. В то же время перепады температуры порядка 10°C составляют около 3% по отношению к нормальному.

В случае ламинарного потока газа сила внутреннего трения определяется через массовый дебит скважины Q

$$|\vec{F}_{\text{тр}}| = \frac{8Q\eta}{\pi r_0^4}. \quad (2)$$

Поскольку средняя по сечению скважины скорость потока и дебит скважины связаны соотношением $Q = \pi r_0^2 v$, то сила трения пропорциональна средней по сечению скорости газа

$$F_{\text{тр}} = -\frac{8\eta v}{r_0^2}. \quad (3)$$

С учетом (3) уравнение движения представляется как

$$\rho v \frac{dv}{dz} = -\frac{dP}{dz} - \rho g - \frac{8\eta}{r_0^2} v. \quad (4)$$

В случае, когда пространственное ускорение потока равно нулю $\frac{dv}{dz} = 0$ в отсутствие гравитационных сил, из (4) следует известная формула Пуазейля

$$Q = -\frac{\pi r_0^4}{8\eta} \frac{dP}{dz}, \quad (5)$$

что дополнительно свидетельствует о достоверности принятой концепции.

Из уравнения неразрывности для стационарного случая имеем $\frac{d(\rho v)}{dz} = 0$. Отсюда следует $\rho v = \rho_0 v_0$, что позволяет определить зависимость скорости от плотности

$$v = \frac{\rho_0 v_0}{\rho}. \quad (6)$$

С учетом зависимости (6) уравнение движения приводится к виду

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{\rho_0^2 v_0^2}{\rho} + P \right) = -\rho g - \frac{8\eta \rho_0 v_0}{r_0^2} \frac{1}{\rho}. \quad (7)$$

Далее воспользуемся известной формулой для производной сложной функции $\frac{dF}{dz} = \frac{dF}{d\rho} \cdot \frac{d\rho}{dz}$, тогда получим дифференциальное уравнение для определения плотности

$$\left(\frac{dP}{d\rho} - \frac{\rho_0^2 v_0^2}{\rho^2} \right) \frac{d\rho}{dz} = -\rho g - \frac{8\eta \rho_0 v_0}{r_0^2} \frac{1}{\rho}. \quad (8)$$

Переменные в этом уравнении разделяются, а интегрирование

$$\int_{\rho_0}^{\rho} \frac{\frac{dP}{d\rho} - \frac{\rho_0^2 v_0^2}{\rho^2}}{\rho g + \frac{8\eta \rho_0 v_0}{r_0^2} \frac{1}{\rho}} d\rho = -\int_0^z dz \quad (9)$$

приводит к неявной зависимости плотности от пространственной координаты и определяющих процесс физических параметров

$$z = \int_{\rho}^{\rho_0} \frac{\frac{dP}{d\rho} - \frac{\rho_0^2 v_0^2}{\rho^2}}{\rho g + \frac{8\eta \rho_0 v_0}{r_0^2} \frac{1}{\rho}} d\rho. \quad (10)$$

В частном случае для уравнения состояния идеального газа $\rho = \frac{PM}{RT}$ получим $\frac{dP}{d\rho} = \frac{RT}{M}$.

Подстановка полученного выражения в уравнение (10) приводит к следующему соотношению

$$z_d = \int_{\rho}^{\rho_0} \frac{\frac{RT}{M} \rho - \frac{\rho_0^2 v_0^2}{\rho}}{\rho^2 g + \frac{8\eta \rho_0 v_0}{r_0^2}} d\rho. \quad (11)$$

Формула (10) позволяет построить зависимости плотности от вертикальной координаты для стационарного ламинарного дозвукового потока газа. На рис. 1 представлены результаты расчетов плотности газа в стволе скважины при различных дебитах. Для расчета кривых использованы следующие значения параметров скважины: $D = 2000$ м, $r_0 = 0.031$ м; наполняющего флюида – метан: $M = 16.04 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $\rho = 71.4$ кг/м³, $\eta = 10.26 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $R = 8.31$ Дж/(моль·К), $g = 9.8$ м/с², $T = 300$ К.

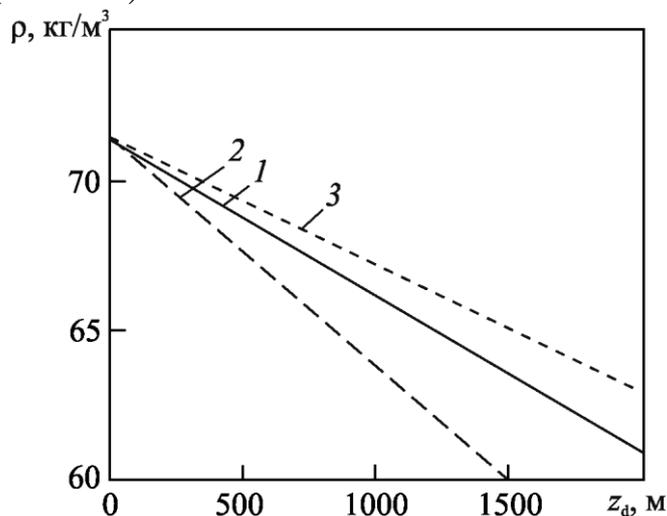


Рис. 1. Зависимости плотности от вертикальной координаты при различных дебитах газа: 1 – $Q=40$ т/сут, 2 – 60 т/сут, 3 – 0 т/сут

Из рисунка следует, что даже в случае дозвукового течения изменения плотности газа являются существенными и их влияние необходимо учитывать при расчетах других термодинамических параметров в стволе скважины.

Обозначения

Латинские: $\vec{F}_{тр}$ – сила внутреннего трения, Н; \vec{g} – вектор ускорения свободного падения, м/с²; M – молярная масса газа, кг/моль; P – поле давления (статического, действующего по нормали к любой поверхности) внутри скважины, Па; Q – массовый дебит скважины, т/сут; r_0 –внутренний радиус трубы, м; R – универсальная газовая постоянная, равная 8.31 Дж/(моль·К); T – температурное поле газа, К; $\vec{v}=(0, 0, v)$ – поле скоростей газа в трубе, имеющее только одну отличную от нуля составляющую, м/с; V_0 – фиксированное значение средней скорости по сечению трубы, м/с; z – вертикальная координата цилиндрической системы координат; м.

Греческие: π – число Пи, равное 3.14; η – вязкость газа, Па·с; ρ, ρ_0 –плотность газа и ее фиксированное значение соответственно, кг/м³.

Список литературы

1. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Крупинов, А.Г. Дозвуковое течение реального сжимаемого газа в вертикальной трубе // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011 – Т.54. – №12 – С. 112–115.
2. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Олефиренко К.В. Расчет асимптотически осредненного температурного поля турбулентного газового потока в вертикальной скважине // Нефтегазовое дело. – 2013. №11– 4. – С. 150–157.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.23.11

Р.В. Андронов к.т.н.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет (ТюмГАСУ),
кафедра автомобильных дорог и аэродромов, Тюмень, aroma77777@mail.ru

**К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖЕК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ
НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ**

В статье рассматриваются вопросы и методы определения задержек транспортного потока на регулируемых пересечениях в условиях насыщенных и плотных транспортных потоков, обобщаются их достоинства и недостатки, определяется их отклонение от фактических значений. Далее делается вывод о целесообразности и точности применения каждого метода. Результаты публикации полезны для определения целесообразности мероприятий по улучшению организации дорожного движения.

Ключевые слова: Регулируемые пересечения, задержки транспортных средств, методы оценки задержек, плотный транспортный поток.

В настоящее время при продолжающемся росте парка автотранспортных средств и интенсивности движения в городах России увеличивается число светофорных объектов как на пересечениях улиц и дорог, так и на пешеходных переходах, которые можно обозначить общим понятием – регулируемые пересечения. Прохождение транспорта через такие пересечения характеризуется задержками и общим снижением средней скорости движения по улично-дорожной сети. Для оценки возникающих задержек на регулируемых пересечениях разработаны различные методики.

В частности, методика, изложенная в [1,2], позволяет учитывать потери времени при существовании заторов на регулируемых пересечениях для последующего обоснования реконструкции таких узлов, вплоть до сооружения развязок в разных уровнях.

На пересечениях улиц, где заторы имеют только случайный характер (ДТП, дорожные работы), рекомендуется применять для минимизации задержек координированное регулирование по принципу «зеленой волны». Ввод таких мероприятий возможен без существенного переустройства улиц и их проезжей части. При этом затраты на такие мероприятия являются минимальными по сравнению с реконструкцией пересечений и, чтобы рассчитать экономическую эффективность от ввода подобных мероприятий, существуют различные формализованные методики расчета задержек на регулируемых пересечениях при условии отсутствия на них заторов.

По мнению многих авторов, в частности [3], задержкой автомобиля следует считать потерянное время в результате замедления, остановки и последующего разгона транспортного средства. Несмотря на это, многие распространенные методики, в частности Вебстера [4,5], понимают под задержкой именно время простоя (остановку) транспортного средства. Именно в различных методологических подходах определения общего времени остановки и заключаются основные отличия методик.

Самую простую методику можно охарактеризовать формулой:

$$t_{cp} = \frac{(T_{ц} - t_{з})}{2} \quad (1)$$

Где:

$T_{ц}$ – общее время цикла светофора, с;

t_3 – время горения разрешающего сигнала, с

Использование данной формулы приводит к ощутимым погрешностям при определении задержки, учитывая, что эта формула справедлива лишь при условии прибытия автомобилей к перекрестку регулярно через постоянные интервалы времени [4].

Дальнейшим развитием формулы 1 являются методики Ф. Вебстера [4,5] и М.С. Фишельсона [6]. При их использовании для получения требуемого результата необходимо знать параметры светофорного регулирования, интенсивность движения и поток насыщения (пропускную способность). В методике [6] вместо потока насыщения требуется указывать число полос движения на улице перед стоп-линией пересечения. Приведенные методики доступны в указанной литературе и в сети Интернет.

Формула Вебстера:

$$t_{cp} = \frac{T_y(1-\lambda)}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} - 0,65 \left(\frac{T_y}{N^2} \right)^{1/3} N^{(2+5\lambda)} \quad (2)$$

Где:

λ - отношение длительности разрешающего сигнала к циклу;

N - Интенсивность движения транспортных средств в рассматриваемом направлении ед/с.;

x – уровень загрузки движения на пересечении (отношение интенсивности движения к потоку насыщения)

Т.н. формула Вебстера состоит в общей сложности из трех слагаемых. Первое слагаемое определяет основную задержку и является полученным из формулы 1. Второе слагаемое учитывает неравномерность подхода транспортных средств к пересечению и базируется на теории массового обслуживания. Третье слагаемое является поправочным [4]. Достоинства формулы Вебстера заключается в ее сравнительной простоте применения и расчета. Недостаток данной методики по мнению автора статьи в том, что теория массового обслуживания использует пуассоновский поток заявок, что является некорректным для высоких уровней загрузки улиц и дорог [2,3]. Формула Фишельсона [6] является сравнительно более громоздкой, чем формула Вебстера, не имеет в своей основе выводов теории массового обслуживания и, помимо задержек транспорта непосредственно от остановки, она рассчитывает потери времени от торможения и последующего разгона транспортных средств, которые в данном исследовании в целях сравнения не рассчитываются.

Помимо вышеприведенных формул, имеется методика натурального определения задержек путем сравнения количества остановившихся и проехавших без остановки автомобилей по коротким интервалам времени (10-15 секунд) [4]. Принимая ее достоверность априори максимальной, можно сравнить с ней вышеизложенное.

В работе была поставлена задача сравнение упомянутых методик на 3-х перекрестках, работающих в режиме насыщенных (плотных) транспортных потоков (уровень загрузки выше 0,75), расположенных в г.Тюмени (пересечение ул. Щербакова – ул. Безымянная) и г. Тобольске (пересечения ул. Ремезова с ул. Доронина и ул. Аптекарской) с методикой натурального определения задержек транспортных средств. Систематические заторы на данных пересечениях отсутствуют.

При натурном определении задержек остановившимся считались также автомобили, двигающиеся через перекрестки с предельно малыми скоростями (менее 5-10 км/ч). Всего делались серии наблюдений продолжительностью по 50 мин. Возможная погрешность определения условной задержки автомобиля в зависимости от пересечения составила 4-8% (при заданном уровне достоверности 95%).

Итоговой величиной являлась условная средняя задержка одного автомобиля, проехавшего через сечение перекрестка (таблица 1).

Таблица 1– Полученные значения условной средней задержки одного автомобиля, проехавшего через перекресток

	Наименование пересечения					
	Щербакова – Безьямная (уровень загрузки 0,75)		Ремезова – Доронина (уровень загрузки 0,98)		Ремезова – Аптекарская (уровень загрузки 0,8)	
	Условная задержка трансп. ср-ва, с	Отклонение от натуральных значений, %	Условная задержка трансп. ср-ва, с	Отклонение от натуральных значений, %	Условная задержка трансп. ср-ва, с	Отклонение от натуральных значений, %
Формула Фишельсона	10,7	27%	29,8	70%	17,5	63%
Полная ф-ла Вебстера	11,5	37%	83,1	374%	15,7	47%
Первое слагаемое ф-лы Вебстера	8,7	3%	26,6	52%	12,7	19%
Формула 1	12,5	49%	27,0	54%	15,0	40%
Натурные измерения	8,4	-	17,5	-	10,7	-

На рис.1. наглядно представлено отклонение полученных значений относительно друг от друга.

На основании анализа полученных данных можно сделать следующие предварительные выводы:

1. Формула Вебстера в полном ее виде не применима для расчета задержек на пересечениях, работающих на пределе своей пропускной способности (уровень загрузки 0,98).

2. Применение формулы 1 дает относительно большие погрешности расчета (40-54%). Это касается также методики Фишельсона для больших уровней загрузки.

3. Наиболее достоверно задержки транспортных средств в условиях насыщенного транспортного потока рассчитываются по первому слагаемому формулы Вебстера. Согласно исследованиям [2], это может быть связано с подходом транспортных средств к стоп-линии с распределением, близким к нормальному и влиянием других пересечений на подходящий поток.

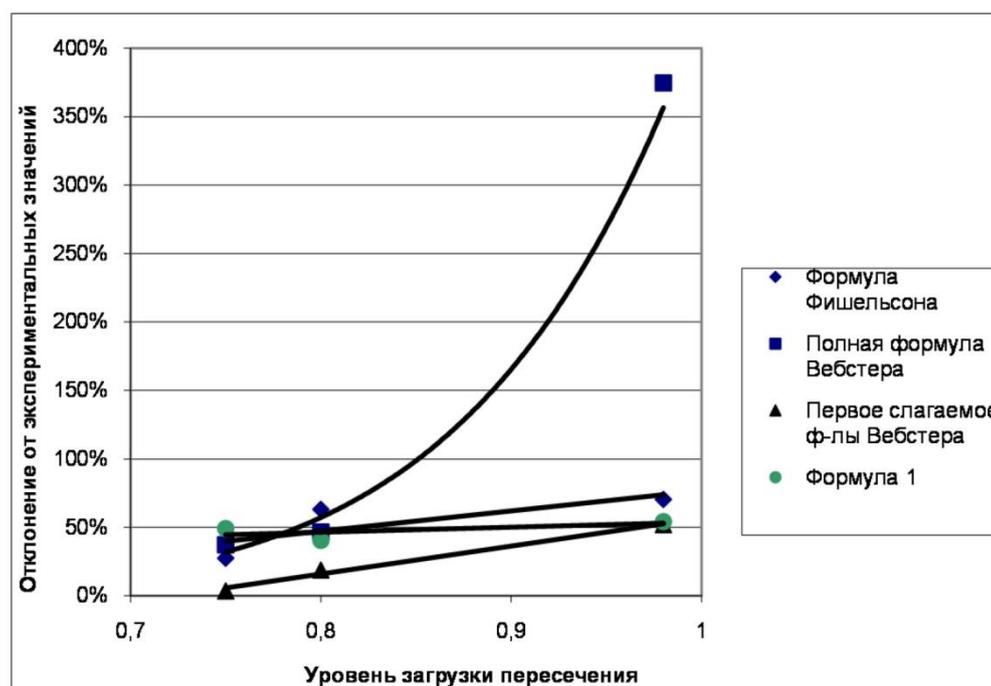


Рис.1 - Отклонение значения задержек, полученных различными методиками от измеренных натурным способом, %

Список литературы

1. Андронов Р.В., Елькин Б.П. Расчет потерь от заторов на регулируемых пересечениях. Журнал Автомобильные дороги №8 2006г. с. 14.
2. Андронов Р.В. Моделирование очередей на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города в условиях плотного транспортного потока: дисс. ... канд.техн.наук. Тюмень, 2007. 187 с.
3. Ковалев Р.Н., Боярский С.Н. Теоретическое обоснование общей модели определения задержки транспорта на пересечениях автомобильных дорог. Транспорт Урала. 2012. № 2. С. 64-69.
4. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279с.: ил.
5. Webster F.V., Cobbe V.M. Traffic Signals | Road Research Technical Paper N56, HMSQ, London, 1966 – 111 p.
6. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов - М.: Высш. школа. 1985. - 239 с.

05.23.11

Р.В. Андронов к.т.н.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет (ТюмГАСУ),
кафедра автомобильных дорог и аэродромов, Тюмень, agoma77777@mail.ru

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ И УЛУЧШЕНИЮ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

В статье предлагается методика определения экономических потерь от задержек транспортного потока на регулируемых пересечениях в условиях плотных транспортных потоков и наличия заторов. Далее делается вывод о необходимости переустройства пересечений и предполагаемой экономической эффективности мероприятий. Использование данной методики позволяет определять первоочередные места реконструкции улично-дорожной сети в условиях недостатка финансовых ресурсов муниципалитетов.

Ключевые слова: Улично-дорожная сеть, регулируемые пересечения, заторы, экономические потери, обоснование мероприятий по реконструкции пересечений.

Статья посвящена проблеме более полного учета потерь времени (задержек транспортных средств) пользователей на улично-дорожной сети (УДС) городов для принятия управленческих решений по ее совершенствованию.

Транспортное обслуживание населения и организация движения в большинстве крупных и крупнейших городов России, испытавших в последние годы процесс т.н. «взрывной автомобилизации», является важнейшей градостроительной проблемой. Улицы городов России, образовавшиеся в то время, уровень автомобилизации был 30-80 автомобилей на 1000 жителей, не удовлетворяют современным требованиям. Перегрузка городских магистралей в «часы пик» приводит в крупнейших и крупных городах России к заторным явлениям.

Например, в г. Тюмени за период с 1991г. по 2013г. парк автотранспортных средств увеличился с 75 тыс. до 235 тыс. автомобилей. За тот же период протяженность магистральных улиц осталась практически неизменной – 111 км. Количество и протяженность улиц и дорог непрерывного движения с транспортными развязками в разных уровнях согласно [1] совершенно недостаточно. Положение осложняется значительным количеством тупиковых улиц, отсутствием магистралей, напрямую соединяющих периферийные точки города.

Наблюдаемое при массовых заторах снижение средней скорости движения по УДС приводит к сокращению эффективности использования транспортных средств, перерасходу времени городским населением. Все вышесказанное можно перевести в денежный эквивалент и объединить общим понятием – транспортные (экономические) потери пользователей УДС. Общая структура экономических потерь известна и заключается в потерях времени, экологических потерях от ингредиентного и параметрического воздействия автотранспорта, а также ущерба от дорожно-транспортных происшествий. Причем наибольшей составляющей (до 80-90%) являются экономические потери от задержек транспортных средств. Именно на основе них в большинстве случаев принимаются решения по реконструкции объектов УДС, в т.ч. пересечений и улучшению организации движения.

Особенность УДС современного крупного и крупнейшего города России заключается в наличии большого числа регулируемых пересечений через сравнительно небольшие расстояния. Дорожное движение в режиме плотного транспортного потока по таким улицам происходит с постоянными остановками и связанными с ними торможением и разгоном

транспортных средств. В большинстве случаев заторы на УДС обусловлены задержками на регулируемых пересечениях, как в местах с меньшей пропускной способностью, чем основные перегоны улиц.

При сравнительно простых способах выявления наиболее «проблемных» загруженных улиц бывает достаточно сложно выявить места с наибольшими транспортными потерями, реконструкция которых дала бы максимальных эффект. Особенно это актуально в ситуации с недостатком финансовых ресурсов муниципалитетов. Также свой акцент вносит и необходимость в системности проводимых мероприятий.

Разработанные ранее методики расчета экономических потерь – как для обоснования инвестиций в сооружение объектов на дорогах общей сети, так и для обоснования строительства и реконструкции транспортных развязок в городских условиях [2,3] предполагали учитывать только задержку при однократной остановке транспортных средств перед проездом пересечения (остановку на запрещающий сигнал светофора и движение на разрешающий). На кафедре автомобильных дорог Тюменского государственного архитектурно-строительного университета создана и программно реализована методика определения транспортных потерь на регулируемых пересечениях при существовании заторов на улично-дорожной сети [4,5].

Методика базируется на результатах статистического и имитационного моделирования методом «Монте-Карло» транспортных потоков на регулируемых пересечениях УДС как системы входящих и обслуживаемых заявок. Причем модели, используемые в методике, в целом свободны от недостатков классической теории массового обслуживания (ТМО), базирующейся на пуассоновском потоке [6-8].

Исходными данными для расчета потерь являются:

1. часовая пиковая интенсивность движения, состав потока и характер суточного тренда интенсивности движения;
2. параметры светофорного регулирования;
3. параметры улиц;
4. наблюдаемая в течении дня максимальная длина затора.

Ввиду различного характера суточного тренда интенсивности движения для разных улиц города, методика предполагает деление магистральных улиц на 3 группы:

1. улицы и дороги центральной, преимущественно деловой части города;
2. улицы и дороги, проходящие по территории окраинных, преимущественно спальных районов;
3. остальные магистральные улицы и дороги.

Дифференцируемый подход по различным улицам позволяет прогнозировать разное время существования затора и его динамику [4]. Предлагаемая методика, как и [2], предусматривает, что участники дорожного движения несут потери в пределах стоимости машино-часа эксплуатации транспортных средств и стоимости одного часа пребывания пассажиров в пути.

Полученные значения экономических потерь для регулируемых пересечений магистральных улиц г. Тюмени превышают значения, полученные по [2] в 1,5 – 6 раз, в зависимости от масштабов заторов. Общее значение транспортных потерь по магистральным улицам г. Тюмени составляет более 4-х млрд. рублей в год.

Разработанная методика позволяет более полно учитывать потери пользователей улично-дорожной сети и выявить наиболее «проблемные» места для планирования первоочередных мероприятий по ее совершенствованию (рис.2).

Пересечение: 50 лет Октября - Профсоюзная

Наличие затора: Нет затора Затор есть

Подтвердить выбор

ЗАТОРА НЕТ

Виды транспорта

Виды транспорта	Доля	Стоимость маш-час(руб)
Легковой	80	190
Грузовой	12	290
Автобусы	8	320

Среднее кол-во пассажиров

в автомобиле 1,4
в автобусе 28,8

Средняя ставка в час 64

№: 1050 авто/час См: 212,4 Руб

Тк: 52 сек
Тж: 16 Тц: 90 Интенсивность легковых: 840
Тз: 22 К: 0,09 Интенсивность автобусов: 84

Результат

Число полос(п): 2 Vп: 60 км/ч Направление: Профсоюзная

Тип улицы: 1 2 3

Дни с затором: 300 Средняя максимальная длина: Имя файла-отчета: 11.html

Подтвердить выбор типа

Отчет

Годовые потери от задержек транспорта в режиме однократной остановки: 10926655.1708

Потери пассажиров в режиме однократной остановки: 11273180.3555

Рис.1 - Диалоговое окно программы расчета потерь пользователей УДС

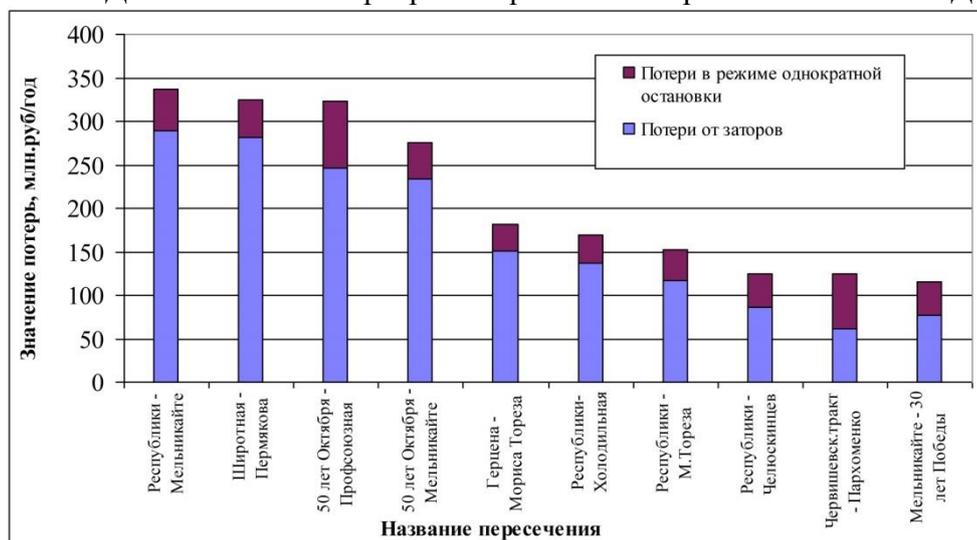


Рис.2 - Прогнозное значение экономических потерь пользователей на наиболее загруженных пересечениях г. Тюмени в 2014г.

Список литературы

- 1.СНиП 2.07.01 – 89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / Госстрой СССР. - М. : ЦИТП Госстроя СССР. 1989. - 56 с.
- 2.Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов - М.: Высш. школа. 1985. - 239 с.
- 3.ВСН 21-83. Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог. – М.: Минавтодор, 1985г.
- 4.Андронов Р.В., Елькин Б.П. Расчет потерь от заторов на регулируемых пересечениях. Журнал Автомобильные дороги №8 2006г. с. 14.
- 5.Андронов Р.В. Моделирование очередей на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города в условиях плотного транспортного потока: дисс. ... канд.техн.наук. Тюмень, 2007. 187 с.
- 6.Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. М. : Мир, 1966. 288 с.
- 7.Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М. : Транспорт, 1972. 424 с.
- 8.Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М. : Транспорт, 1977. 303 с.

05.12.13

Д.В. Астрецов, Р.И. Соколов

Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ Уральского
Федерального Университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина,
Екатеринбург, dv_astr@mail.ru, rostik-king@yandex.ru

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМ БИНАРНОГО СООБЩЕНИЯ, ОСНОВАННЫЙ НА МЕТОДЕ СОВМЕСТНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НЕПРЕРЫВНЫХ И ДИСКРЕТНОГО МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Методом совместной нелинейной фильтрации непрерывных и дискретного Марковского процесса разработан квазиоптимальный алгоритм приема сигналов побочного электромагнитного излучения. Оценка эффективности синтезированного алгоритма приема проводилась на основании цифрового моделирования процесса обработки смеси сигнала, S_L помехи Джонсона и белого гауссовского шума. Показано, что разработанный алгоритм позволяет осуществлять прием бинарного сообщения, близкий к оптимальному по критерию минимума среднего риска при меньшем количестве априорных сведений о сигнале.

Ключевые слова: *нелинейная фильтрация, оптимальный прием сигналов побочного электромагнитного излучения, помехи Джонсона.*

Введение

Определение степени защищенности средств вычислительной техники от перехвата информации по каналам побочного электромагнитного излучения является актуальной задачей. Как правило, возможность перехвата в значительной степени зависит от априорных сведений о характере излучения, параметрах информационного сообщения и помехи, которыми обладает перехватчик [4].

Методы приема, основанные на нелинейной фильтрации, позволяют выделять сигнал с достаточной точностью при менее точных априорных сведениях, по сравнению с другими методами оптимальной обработки [5].

2. Синтез квазиоптимального алгоритма приемника

Задача синтеза квазиоптимального алгоритма приемника аналогична задаче поставленной в [3] и решается для двухкомпонентного непрерывного и бинарного дискретного процессов для условия негауссовской помехи.

Предполагается, что сигнал $s(t, \lambda(t), \theta(t))$ принимается на фоне аддитивной помехи $\xi(t)$ и внутренних шумов приемника $n(t)$:

$$y(t) = s(t, \lambda(t), \theta(t)) + \xi(t) + n(t). \quad (1)$$

Вектор непрерывных параметров $\lambda(t)$ и дискретный параметр $\theta(t)$ статистически независимы, причем как $\lambda(t)$, так и $\theta(t)$ принадлежат к классу марковских процессов. Переходы из одного состояния в другие могут осуществляться в произвольные моменты времени ($\theta(t)$ – дискретный марковский процесс).

Упрощая систему интегро-дифференциальных уравнений Стратоновича [3] для финальной апостериорной вероятности квазиоптимальной нелинейной фильтрации в нестационарном режиме для гауссовского приближения, можно получить систему уравнений (2-4):

$$\frac{d\lambda_{jk}}{dt} = f_{jk}(\lambda_j, t) + \sum_{l=1}^r k_{jkl}(t) \frac{\partial}{\partial \lambda_{jl}} F_j(t, \lambda_j) - \sum_{i(i \neq j)}^n a_{ijk} \frac{\omega_{ik}}{\omega_{jk}} \left(\frac{k_{jkk}}{k_{ikk}} \right)^{3/2} * \\ * (\lambda_{jk} - \lambda_{ik}) \exp \left\{ - \frac{(\lambda_{jk} - \lambda_{ik})^2}{2k_{ikk}} \right\}; \quad (2)$$

$$\frac{dk_{jkl}}{dt} = \frac{1}{2} N_{jkl} + \sum_{\mu=1}^r \frac{\partial f_{jk}(\lambda_j, t)}{\partial \lambda_{j\mu}} k_{j\mu l}(t) + \sum_{\mu=1}^r \frac{\partial f_{jl}(\lambda_j, t)}{\partial \lambda_{j\mu}} k_{jk\mu}(t) +$$

$$+ \sum_{\mu, \nu=1}^r \frac{\partial^2 F_j(\lambda_j, t)}{\partial \lambda_{j\mu} \partial \lambda_{j\nu}} k_{jk\mu}(t) k_{j\nu l}(t) + \sum_{i(i \neq j)}^n a_{ijk} \frac{\omega_{ik}}{\omega_{jk}} \left(\frac{k_{jkl}}{k_{ikl}} \right)^{3/2} * \quad (3)$$

$$* \left[k_{ikl} - k_{jkl} + \frac{k_{jkl}}{k_{ikl}} (\lambda_{jk} - \lambda_{ik})^2 \right] \exp \left\{ - \frac{(\lambda_{jk} - \lambda_{ik})^2}{2k_{ikl}} \right\};$$

$$\frac{d\omega_{jk}}{dt} = a_{jjk} \omega_{jk} + \sum_{i(i \neq j)}^n a_{ijk} \omega_{ik} \left(\frac{k_{jkk}}{k_{ikk}} \right)^{1/2} \left[1 + \frac{k_{ikk} - k_{jkk}}{2k_{ikk}} + \frac{k_{jkk}}{2k_{ikk}^2} (\lambda_{jk} - \lambda_{ik})^2 \right] *$$

$$* \exp \left\{ - \frac{(\lambda_{jk} - \lambda_{ik})^2}{2k_{ikk}} \right\} + \left[F_j(t, \lambda_j) + \frac{1}{2} k_{jkk} \frac{\partial^2 F_j(\lambda_j, t)}{\partial \lambda_{jk}^2} - \langle F_j(t, \lambda_j) \rangle \right] \omega_{jk}; \quad (4)$$

Для принятия решения о значении дискретного параметра $\theta(t)$ можно пользоваться различными критериями, в частности, решение можно выносить по наибольшему значению плотности вероятности ω_j [2]. В приведенном случае фильтрации многомерного непрерывного марковского процесса и одномерного дискретного марковского процесса параметры ошибки решения о значении дискретного параметра в аналитическом виде найти не удалось. В связи с этим анализ качества выделения полезного и мешающих параметров сигнала проведен методом цифрового моделирования алгоритма (2) – (4) в программе MatLab.

3. Цифровое моделирование квазиоптимального алгоритма приема

Основополагающей задачей является оценка качества приема, которое существенно зависит от значений параметра $\lambda(t)$. Таким образом, если задать остальные неизвестные параметры постоянными величинами и отфильтровать параметр $\lambda(t)$, то качество выделения дискретного параметра будет наихудшим. Полученная зависимость вероятности ошибки правильного приема от соотношения шум/сигнал является граничной, соответственно, добавление нелинейного фильтра для каждого нового неизвестного параметра должно повышать качество приема. Предложенная на рисунке 1 схема позволяет выделить сообщение $\lambda(t)$ из смеси непрерывных и дискретного марковских процессов.

Анализ эффективности выделения сообщения, проведенный методом цифрового моделирования, позволяет оценить потенциальную защищенность средств вычислительной техники от утечки информации для различных случаев априорной неопределенности и характеристик помех.

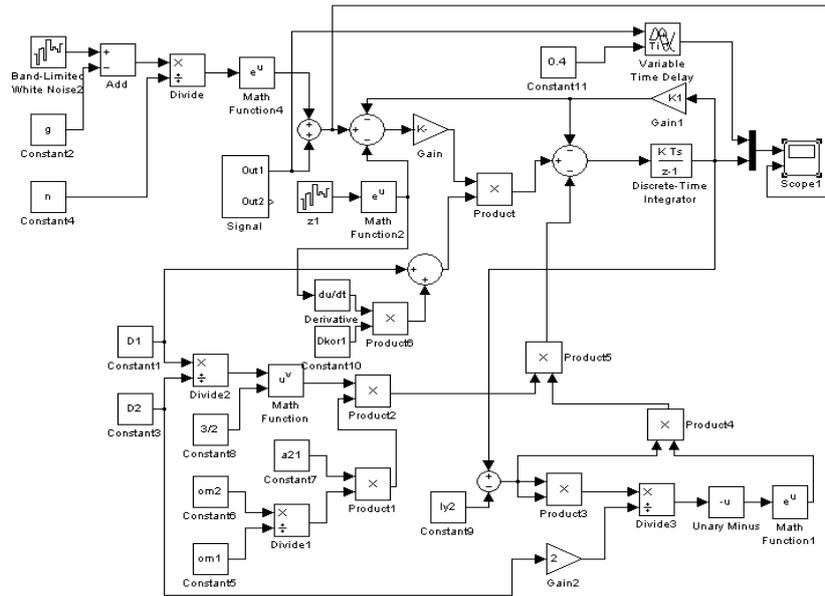


Рис. 1 – Схема квазиоптимального приемника сигнала ПЭМИ в смеси с S_L помехой Джонсона в Simulink, основанного на методе совместной нелинейной марковской фильтрации непрерывных и дискретного процесса.

В результате моделирования получены зависимости вероятности ошибки приема бинарного сообщения $p_{ош}$ от отношения суммы мощностей гауссовской и S_L -помехи [1] \mathcal{I} к мощности сигнала C , представленные на рисунке 2.

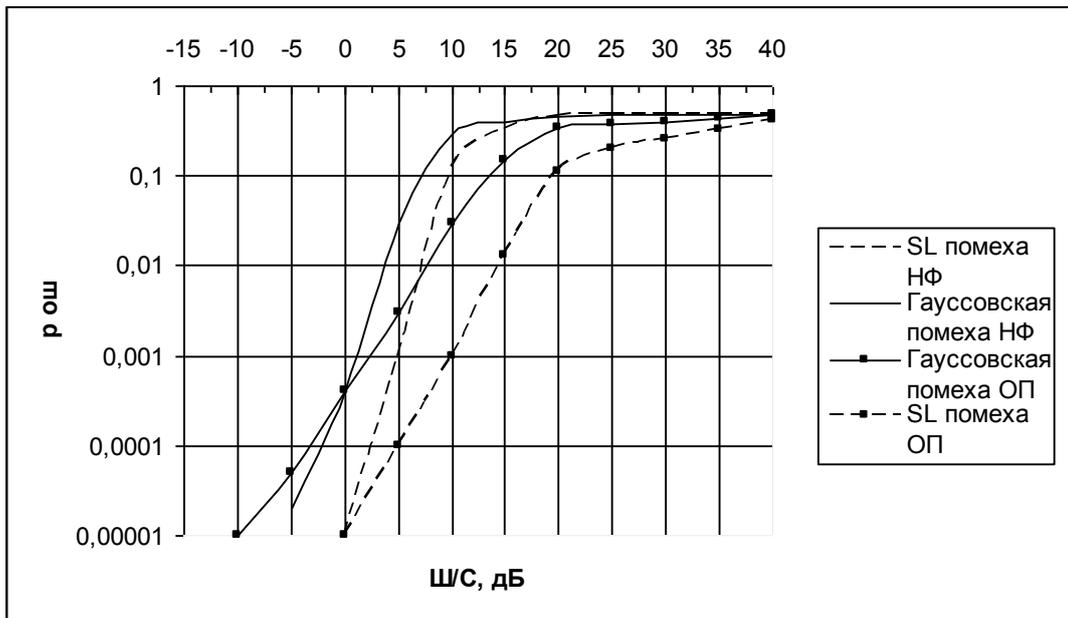


Рис. 2 – Графики зависимости вероятности ошибки выделения бинарного сигнала в смеси с некоррелированной гауссовской помехой и S_L помехой Джонсона ($R=0$) от отношения шум/сигнал.

Графики, изображенные сплошной и штрихованной линиями с точками, и названные «ОП» (оптимальный прием), определяют эффективность оптимального приемника сигнала ПЭМИ, по критерию минимума среднего риска. (вероятность ошибки правильного приема для различных отношений суммы мощностей гауссовского и S_L -шума к мощности сигнала). Синтез и результаты моделирования оптимальных приемников по критерию минимума среднего риска, проведены авторами ранее и представлены в работе [5]. Следует отметить, что потенциальная (наибольшая) эффективность приема определяется именно критерием минимума среднего риска.

Графики, изображенные сплошной и штрихованной линиями без точек, приведены для разработанного приемника, основанного на методе совместной нелинейной марковской фильтрации для суммы гауссовской и S_L помехи Джонсона.

Проигрыш в эффективности приемника нелинейной фильтрации составляет около 10дБ для отношений $Ш/С$ 10 – 15дБ. При уменьшении мощности шума возрастает эффективность приемника нелинейной фильтрации и при значениях $Ш/С$ 0 – 5дБ сравнивается по эффективности с оптимальным приемником по критерию минимума среднего риска.

5. Выводы

Методом совместной нелинейной фильтрации суммы непрерывных и дискретного марковского процессов разработан алгоритм квазиоптимального приема сигналов побочного электромагнитного излучения. Результаты цифрового моделирования оптимального приема бинарного сообщения показали некоторый проигрыш в эффективности по сравнению с оптимальным приемом по критерию минимума среднего риска, однако реализация приемника нелинейной фильтрации требует меньшего количества априорных сведений о сигнале и помехе, что на практике при перехвате ПЭМИ является основополагающим фактором.

Список литературы

1. *Кендал М.* Теория распределений /М. Кендал, А.Стюарт, пер. с англ. Сазонова В.В., Ширяева А.Н., под ред. Колмогорова А.Н., – М.:“Наука”, 1966 г. 142 с.
2. *Первачев С.В.* Радиоавтоматика: Учебник для вузов./ С.В. Первачев. М.: Радио и связь, 1982, 296 с.
3. *Тихонов В.И.* Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов./ В.И. Тихонов, Н.К. Кульман. М., «Сов. радио», 1975, с. 671-675.
4. *Хорев А.А.* Техническая защита информации: учеб. пособие для студентов вузов. В 3 т. Т. 1. Технические каналы утечки информации./ А.А. Хорев. М.: НПЦ «Аналитика», 2008. 436 с.
5. *Astretsov D.V., Nifontov Yu.A., Sokolov R.I.* Analyzes of potencial noise immunity binary signal extraction in condition of Gaussian and nongaussian noise. Physics and technical applications of wave processes : works of XI International scientific-technical conference. / Yu.E. Mitelman.- Ekaterinburg: UrFU, 2012, p. 147 – 149.

05.11.16

И.Н. Баринов, В.С. Волков, Д.И. Нефедьев, С.П. Евдокимов

Пензенский государственный университет, кафедра информационно-измерительной техники,
Пенза, mzungu@inbox.ru

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЙ НА СТРУКТУРЕ "ПОЛИКРЕМНИЙ-НА-ДИЭЛЕТКРИКЕ"

В работе описаны преимущества и этапы изготовления структур "поликремний - на - диэлекткрике" для применения в чувствительных элементах интегральных тензорезистивных датчиков давлений. Предложена конструкция чувствительного элемента, обладающая повышенной чувствительностью.

Ключевые слова: "поликремний-на-диэлекткрике", изолирующий слой, легирующая примесь, преобразователь давления, чувствительность.

В настоящее время актуальной является задача совершенствования средств измерения давления в условиях высоких температур. Например, в газогенераторе, газопроводах, турбонасосном агрегате и других частях различных двигателей, где температура достигает значений 600°C и более [1, 2].

Традиционно для измерения давлений используются тензорезистивные датчики, разновидностью которых являются датчики с полупроводниковыми тензорезисторами, чувствительные элементы (ЧЭ) которых изготовлены с использованием МЭМС-технологий.

В новых разработках интегральных ЧЭ датчиков давления в целях обеспечения улучшенных эксплуатационных и метрологических характеристик применяются структуры «кремний-на-диэлекткрике» (КНД), когда тензорезистивная мостовая измерительная схема изолирована от подложки изоляционным слоем, в качестве которого чаще всего выступает термически выращенная двуокись кремния (SiO_2) [3, 4]. На основе подобной структуры возможно создание датчиков давлений с основной погрешностью не более $\pm 0,2$ % от максимального давления, работоспособных в диапазоне температур от минус 100 до 500 °C [5].

Одним из вариантов КНД-структуры является структура «поликристаллический кремний (приборный слой)-двуокись кремния (изолирующий слой)-монокристаллический кремний (несущая подложка)», позволяющая реализовать преимущества КНД-структуры и имеющая лишь один существенный недостаток – малый коэффициент тензочувствительности поликремния [10]. Преимуществами такой структуры является высокий процент выхода годных элементов, простота и отработанность изготовления поликремниевых тензорезисторов на слое двуокиси кремния методом эпитаксиального выращивания, низкая себестоимость, приспособленность к крупносерийному производству, широкий диапазон температур.

В основе данного технического решения находится технология нанесения поликристаллической пленки кремния газофазным разложением моносилана в реакторе пониженного давления при повышенной температуре, ионное легирование бором различными дозами в области тензо- и терморезисторов и высокотемпературный отжиг в кислородной среде для структурирования пленки поликристаллического кремния и формирования защитной пленки над тензо- и терморезисторами толщиной (70-100) нм.

Легированные примесью зерна поликристаллического кремния размером (20...30) нм и наноразмерные границы раздела между ними определяют механизм проводимости сформированной структуры и при этом обеспечиваются новые, не присущие тензо- и терморезисторам на монокристаллическом кремнии, изолированном от подложки *p-n*

переходом, свойства: возможность получения заданных величин температурных коэффициентов сопротивлений (как положительных, так и отрицательных), возможность работы при повышенных температурах и повышенная временная стабильность [6, 8].

При высоком уровне концентрации легирующей примеси (в структуру тензорезистора) определяющим в формировании проводимости в структурированном поликремнии является объемное сопротивление кристаллитов, что и обуславливает положительный температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

При низком уровне концентрации легирующей примеси (в структуру терморезистора) основными в формировании проводимости в структурированном поликремнии являются составляющие, обусловленные существованием потенциального барьера на границах зерен (наноразмерные расстояния между зернами) и пространственного заряда барьера, что и определяет отрицательный ТКС.

Технологические этапы формирования ЧЭ датчика давления на основе тензо- и термочувствительных структур из структурированного поликристаллического кремния приведены на рис. 1 [11].

Особенностью передачи деформации с упругого элемента на тензорезистивный слой в структуре "поликремний-диэлектрик-кремний", является использование тензорезистора в виде мезаструктуры, что принципиально отличает его от обычного тензорезистора, изолированного от подложки *p - n* переходами [7, 9].

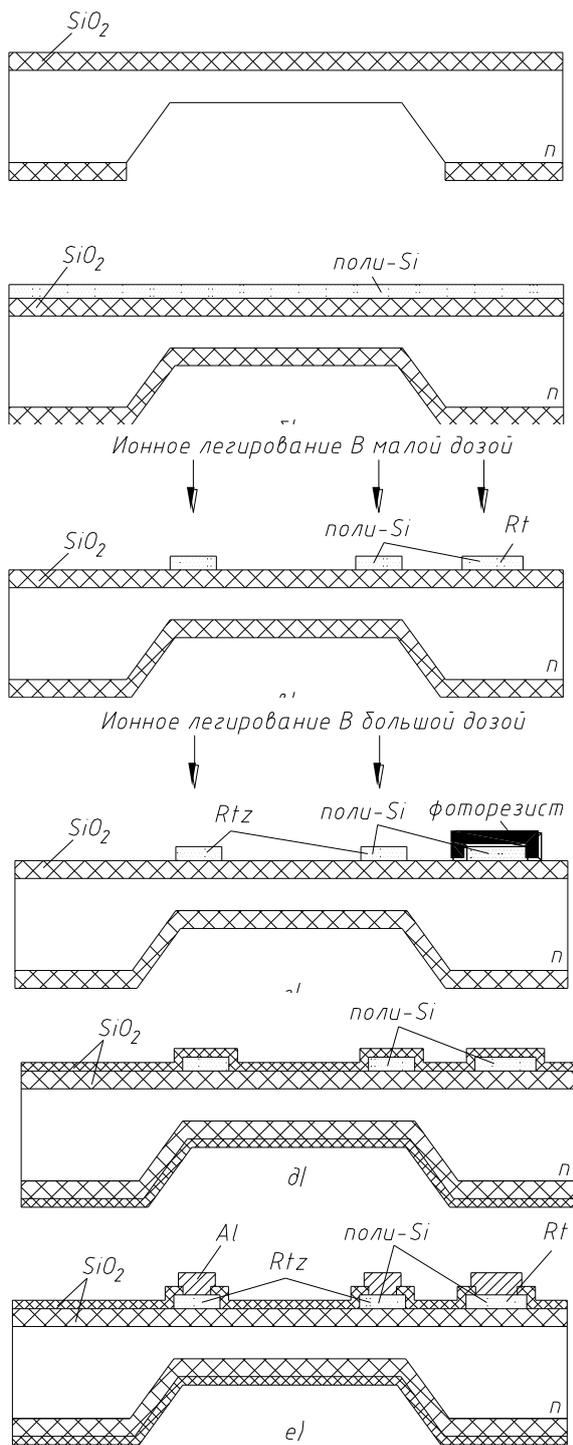


Рис. 1 – Этапы формирования ЧЭ датчика давления с тензо- и термочувствительными структурами на основе структурированного поликремния

окисление кремниевой пластины, формирование методом фотолитографии защитной маски из оксида кремния и формирование мембраны требуемой толщины методом анизотропного травления кремния в KOH;

формирование изолирующего диэлектрического слоя и осаждение поликристаллического кремния в реакторе пониженного давления;

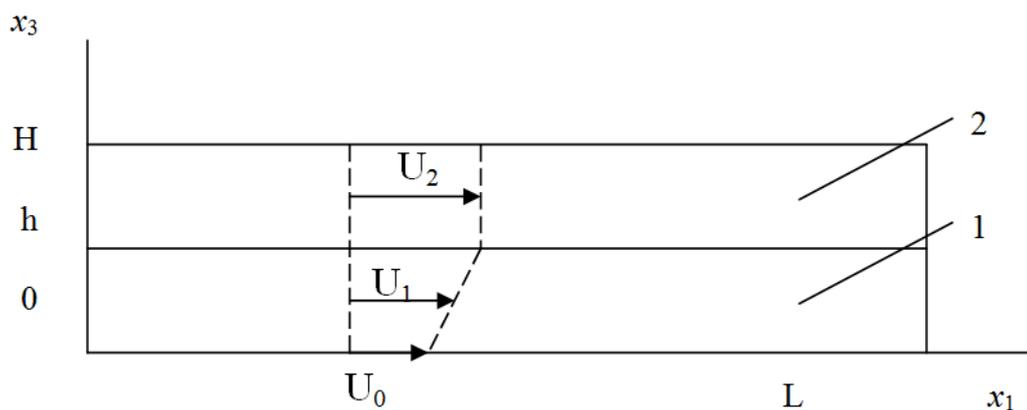
формирование меза-структур из поликристаллического кремния и первое легирование до уровня концентрации, соответствующего терморезистору;

формирование защиты терморезистора из фоторезиста и второе легирование до уровня концентрации, соответствующего тензорезисторам;

отжиг сформированной поликремниевой структуры для активации примеси в областях термо- и тензорезисторов и формирование над ними защитного слоя оксида кремния;

вскрытие окон в защитной диэлектрической пленке и формирование металлизации.

На рис. 2 приведена структура мезатензорезистора с диэлектрической изоляцией [7, 9]. Смещения точек диэлектрика линейно зависят от расстояния до поверхности кремниевого упругого элемента. Модули Юнга поликремния $E_2 = 1,6 \cdot 10^{11}$ Па и двуоксида кремния $E_1 = 0,7 \cdot 10^{11}$ Па отличаются более чем в два раза [7, 9].



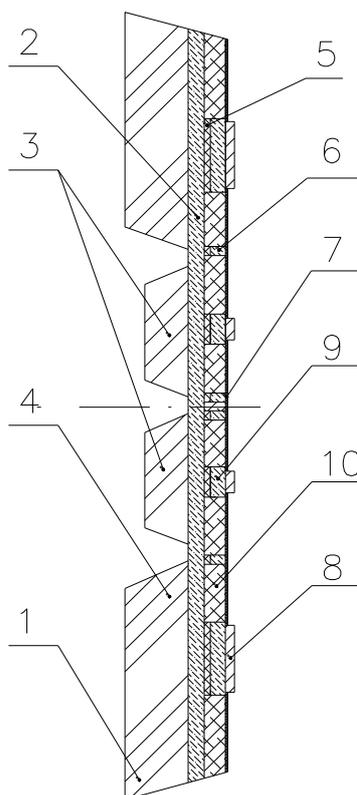
1 - диэлектрическая изоляция, 2 - тензорезистор

Рис. 2 - Структура тензорезистора с диэлектрической изоляцией (L - длина тензорезистора, x_3 - ордината, по которой отложены высоты слоя двуоксида кремния и слоя поликремния)

Учет нормальных и сдвиговых деформаций в случае поликремниевого тензорезистивного слоя и диэлектрической подложки из SiO_2 приводит к появлению на концах тензорезистора зон деформации, противоположных по знаку деформации упругого элемента. При уменьшении размеров тензорезистора наступает резкое уменьшение тензочувствительности. Этот эффект наиболее существенен для тангенциальных тензорезисторов, у которых главную роль играет поперечный размер [7, 9].

Следовательно, чувствительность тензопреобразователя меньше максимально возможной из-за неполной передачи деформации от подложки к тензорезисторам, выполненным в виде структур меза-типа, что приводит к снижению выходного сигнала при максимальном давлении и появлению дополнительной погрешности выходного сигнала, возникающей вследствие уменьшения тензочувствительности тангенциальных тензорезисторов.

Для устранения вышеизложенных недостатков разработана конструкция, представленная на рис. 3 [12].



1 - чувствительный элемент из кремния, 2 - мембрана, 3 - профиль мембраны, содержащий жесткие центры, 4 - утолщенное периферийное основание, 5, 7 - слой двуокиси кремния, 6 - тензорезисторы, 8 - контактные площадки, 9 - коммутационные шины, 10 - слой нелегированного поликристаллического кремния вокруг тензорезисторов.

Рис. 3 - Конструкция преобразователя давления с тензорезисторами меза-типа

Измеряемое давление, воздействуя на мембрану с жестким центром через слои двуокиси кремния и нелегированного поликристаллического кремния, деформирует тензорезисторы и увеличивает разбаланс мостовой схемы, в которую замкнуты тензорезисторы.

Слой двуокиси кремния 5 (см. рис. 3) расположен только под тензорезисторами и коммутационными шинами. Это позволяет снизить уровень механических напряжений за счет уменьшения не менее, чем в 5 раз, площади соприкосновения двух материалов с различными коэффициентами термического расширения (двуокиси кремния и высоколегированного бором слоя кремния). Коэффициент термического расширения двуокиси кремния равен $k_{\text{SiO}_2} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, а для высоколегированного бором слоя кремния $k_{\text{p+Si}} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [4, 5]. Учитывая, что в традиционных конструкциях чувствительных элементов слои занимают эквивалентную площадь и непосредственно соприкасаются друг с другом, при работе в широком диапазоне температур (от минус 70 до 300 °С) будут иметь место значительные механические напряжения, вызванные, помимо различия коэффициентов термического расширения двуокиси кремния и высоколегированного слоя кремния, усадочными явлениями материалов этих слоев, несовершенством проведения технологических процессов, неоднородностью пластической деформации, несоответствием параметров решетки слоев, и т.д. [7, 9].

В предложенной конструкции слой двуокиси кремния контактирует не более чем с 20 - ю процентами площади высоколегированного слоя кремния, расположенного на мембране, что позволит снизить механические напряжения в мембране не менее, чем в 5 раз и приведет к повышению прочности мембраны в процессе эксплуатации преобразователя одновременно с обеспечением надежной электрической изоляции между тензорезисторами и подложкой. Слой двуокиси кремния 7 выполняет защитную функцию.

Наличие вокруг тензорезисторов слоя из нелегированного поликремния позволит снизить эффект уменьшения тензочувствительности тензорезисторов меза-типа из-за неполной передачи деформации от подложки к тензорезистору, то есть повысить чувствительность

преобразователя, так как деформация от мембраны будет полностью передаваться тензорезисторам через слой поликристаллического кремния.

Представленные в данной статье решения позволяют решить существующую проблему измерения давлений высокотемпературных сред, когда достаточно глубоко освоённая технология создания ЧЭ на основе компонентов из поликристаллического кремния совмещается с изначально более совершенной по сравнению с традиционными подходами (ЧЭ на основе объёмного кремния, поликристаллического кремния, металлопленочных компонентов и др.) КНД-технологией, являющейся технологически менее привлекательной для создания ЧЭ датчиков давлений. Предложенная конструкция позволяет улучшить метрологические и эксплуатационные характеристики преобразователя давления: увеличить чувствительность, снизить температурную погрешность и повысить надёжность, что отвечает современным требованиям, предъявляемым к датчикам давлений.

Список литературы

1. *Баринов И.Н.* Высокотемпературные тензорезистивные датчики давлений на основе карбида кремния. Состояние разработок и тенденции развития // Компоненты и технологии.–2010.–№8.–С. 64-71.
2. *Баринов И.Н., Волков В.С.* Конструктивно-технологические проблемы обеспечения долговременной стабильности параметров высокотемпературных полупроводниковых тензорезистивных датчиков давлений // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. Спец. выпуск №3.–2011 г.–С. 85-95.
3. *Баринов И.Н.* Конструктивно-технологические решения полупроводниковых преобразователей давлений на основе структуры «кремний-на-диэлектрике» // Технологии приборостроения.–2006.–№4.–С. 28-33.
4. *Баринов И.Н., Волков В.С.* Высокотемпературные полупроводниковые датчики давления с повышенной временной стабильностью // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.–2011.– №8.–С. 51-55.
5. *Баринов И.Н., Волков В.С.* Использование системы Simulink при имитационном моделировании высокотемпературных полупроводниковых датчиков давления // Приборы.–2011.–№7.–С. 50-54.
6. *Баринов И.Н., Волков В.С.* Обеспечение долговременной стабильности параметров высокотемпературных полупроводниковых тензорезистивных датчиков абсолютного давления // Приборы.–2012.–№9.–С. 29-35.
7. *Баринов И.Н., Волков В.С.* Оптимизация чувствительного элемента датчика давления с поликремниевыми тензорезисторами // Приборы.–2013.–№2.–С. 1-5.
8. *Баринов И.Н., Волков В.С.* Повышение долговременной стабильности высокотемпературных полупроводниковых датчиков давлений // Приборы.–2010.–№3.–С. 9-15.
9. *Баринов И.Н., Волков В.С.* Чувствительные элементы на основе поликристаллического кремния для высокотемпературных датчиков абсолютного давления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.–2012.– №11.–С. 36-42
10. *Баринов И.Н., Федулов А.В., Волков В.С.* Высокотемпературные датчики абсолютного давления на структуре “поликремний–диэлектрик” с улучшенными метрологическими характеристиками // Датчики и системы.–2012.–№10.–С. 2-6.
11. *Мокров Е.А., Баринов И.Н., Цибизов П.Н.* Полупроводниковые пьезочувствительные элементы микроэлектронных датчиков давлений. Основы проектирования и разработки: учеб. пособие – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2009.–104 с.
12. Патент RU 2310176 (пр. 13.02.06). Полупроводниковый преобразователь давления / *Баринов И.Н., Козин С.А., Цибизов П.Н.*

05.23.02

А.В. Безруков, Д.В. Орешкин

Московский Государственный Строительный Университет,
кафедра «Строительные материалы»,
г. Москва, av_bezrukov@mail.ru, dmitrii_oreshkin@mail.ru

ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Защита сооружений от негативного воздействия окружающей среды имеет эколого-экономическое значение. Коррозия бетона представляет собой сложный процесс. Для железобетонных конструкций защита может быть первичной и вторичной. Наиболее подверженными коррозионным поражениям элементами железобетонных конструкций являются бетон, стальная арматура, стальные закладные детали и связи.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, защита, подземные сооружения, экологическая оценка, долговечность.

Коррозия бетона под действием агрессивной среды представляет собой сложный процесс, зависящий от условий окружающей среды, а также свойств бетона. Коррозия бетона в большинстве случаев вызывает прогрессирующее разрушение, скорость которого зависит от значительного числа факторов. Она, при прочих равных условиях, выше - в более агрессивной среде, особенно при большем ее контакте с поверхностью бетона и меньше - у бетона с более плотной и прочной структурой [1-5].

При рассмотрении процессов разрушения бетона в условиях развития того или иного вида коррозии необходимо учитывать роль физических факторов, оказывающих влияние на развитие процессов коррозии. К физическим факторам относятся средняя плотность, плотность структуры, водонепроницаемость цементного камня и бетона, действие воды при замерзании, различные механические воздействия в виде истирающего действия льда [2,3,4].

Для предотвращения коррозионного разрушения строительных материалов, бетонных и железобетонных конструкций могут быть предусмотрены следующие виды защиты:

- первичная, которая заключается в выборе материала конструкции или в создании его структуры с тем, чтобы обеспечить стойкость этого материала при эксплуатации в соответствующей агрессивной среде [2,3,4,6];

- вторичная, которая заключается в нанесении защитного покрытия, которое ограничивает или исключает воздействие агрессивной среды на материал строительной конструкции [3,6].

Первичная защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии должна осуществляться в процессе проектирования и изготовления конструкций, а также при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций, и включает в себя подбор составов бетонов, материалов и конструктивных решений, снижающих агрессивное воздействие, стойких к среде эксплуатации [1,2,3,4,5,6,7,8,9].

При проектировании важно выбрать эффективные материалы не только с экономической и эстетической, но и с экологической точек зрения [5,10,11]. Для этого необходима экологическая оценка и классификация строительных материалов согласно требованиям по защите окружающей среды. В этом случае нужно, принимая решение об использовании материала, уметь оценить прямые и косвенные его воздействия на окружающую среду и человека с экологических позиций [10,11].

Вторичная защита строительных конструкций, подземных сооружений включает в себя мероприятия, обеспечивающие защиту от коррозии в случаях, когда меры первичной защиты недостаточны. Меры вторичной защиты включают в себя применение защитных покрытий, пропиток и другие способы изоляции конструкций и сооружений от агрессивного воздействия среды [6,12,13].

Для защиты поверхностей железобетонных конструкций подземных сооружений и коммуникаций в зависимости от условий эксплуатации по среде следует предусматривать вторичную защиту, которая в соответствии с СП 28.13330, ГОСТ 31384 и EN 1504 подразделяется на группы:

- 1) лакокрасочные покрытия - при действии газообразных и твердых сред (аэрозолей);
- 2) лакокрасочные толстослойные (мастичные) покрытия - при действии жидких сред, при непосредственном контакте покрытия с твердой агрессивной средой;
- 3) оклеечные покрытия - при действии жидких сред, в грунтах, в качестве непроницаемого подслоя в облицовочных покрытиях;
- 4) облицовочные покрытия, в том числе из полимербетонов, - при действии жидких сред, в грунтах, в качестве защиты от механических повреждений оклеечного покрытия;
- 5) пропитку (уплотняющую) химически стойкими материалами - при действии жидких сред, в грунтах;
- 6) гидрофобизацию - при периодическом увлажнении водой или атмосферными осадками, образовании конденсата, в качестве обработки поверхности до нанесения грунтовочного слоя под лакокрасочные покрытия;
- 7) биоцидные материалы - при воздействии грибов и бактерий, выделяющих кислоты.

Меры вторичной защиты железобетонных конструкций подземных сооружений и коммуникаций должны выбираться и проектироваться с учетом вида и особенностей защищаемых конструкций, технологии их изготовления, возведения и условий эксплуатации.

Требования к бетонным и железобетонным конструкциям

На этапе строительства важно предварительно произвести выбор материалов по показателям долговечности и экологичности. Высокий показатель долговечности означает, что материал долго сохраняет все свои свойства и имеет больший срок использования до ремонта или замены изделия. Благодаря продлению периода использования материала нагрузка на окружающую среду на этот период уменьшается. Важно, чтобы долговечность материалов отдельных строительных узлов всегда соответствовала жизненному циклу всего здания. При экологической оценке материала учитывается возможность образования отходов, выбросы в окружающую среду вредных веществ при производстве строительных работ.

В самом начале следует определить необходимость и возможность первичной защиты несущих конструкций от коррозии. Для вторичной защиты от коррозии должны быть предусмотрены места расположения машин и оборудования в сооружении должен быть обеспечен свободный доступ ко всем конструкциям для осмотра и восстановления защитных покрытий.

Таким образом, технические решения в проектах подземных сооружений и инженерных коммуникаций, эксплуатируемых в агрессивных грунтах, должны быть направлены на организацию обязательного водоотвода, ограничение или ликвидацию других агрессивных воздействий для уменьшения коррозионных изменений в железобетонных конструкциях. Архитектурные решения подземных сооружений и инженерных коммуникаций следует принимать с учетом рельефа местности, грунтовых условий, грунтовых вод и расположения смежных строительных объектов, влияющих на параметры агрессивной среды. Конструкции должны иметь простую форму с минимальной поверхностью, не иметь мест, где могут накапливаться агрессивная пыль, жидкости или испарения. Более того, наиболее подверженными коррозионным поражениям элементами железобетонных конструкций являются бетон, стальная арматура, стальные закладные детали и связи. Сохранность стальной арматуры железобетонных конструкций в цементном бетоне в значительной степени обеспечивается защитным слоем бетона и его непроницаемостью. Толщина защитного слоя определяется СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии». Основные причины повреждений коррозионного характера связаны с наличием в окружающей среде или в бетоне железобетонных конструкций агрессивных к стали компонентов и потерей бетоном защитных свойств по отношению к стали. Защита стальных

элементов железобетонных конструкций от коррозии обеспечивается главным образом бетоном защитного слоя. Следовательно, экологическая и геоэкологическая состояние окружающей среды во многом зависит от надежной эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций подземных и заглубленных сооружений.

Список литературы

1. *Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шиссель П.* Долговечность бетона в агрессивных средах. – М.: Стройиздат, 1990. – 317с.
2. *Баженов Ю.М.* Технология бетона. – М.: АСВ, 2011. – 501 с.
3. *Князева В.П.* Экологические аспекты выбора строительных материалов / Методические указания. – М.: МАРХИ. - 2011. - 23 с.
4. *Князева В.П., Микульский В.Г., Сканава Н.А.* Экологический подход к оценке строительных материалов из отходов промышленности // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2000. - №6 (15). С. - 16-18.
5. *Лабутин А.Л.* Антикоррозионные и герметизирующие материалы на основе синтетических каучуков. – Л.: Химия, 1982. – 214 с.
6. *Леонович С.Н., Чернякевич О.Ю.* Вероятностная модель карбонизации железобетонных конструкций / С.Н.Леонович, О.Ю.Чернякевич, // Международный научно–технический журнал, Минск. – 2012. – №5: Наука и техника. – С 58–64.
7. *Микульский В.Г., Сахаров Г.П. и др.* Строительные материалы. – М.: Изд-во АСВ, 2011. - 520 с.
8. *Москвин В.М.* Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
9. *Орешкин Д.В.* Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов // Строительные материалы. – 2010. № 11. С. 6 - 8.
10. Сборник научных трудов. Инновации в строительстве и строительной индустрии. – Москва, «Наука-Бизнес-Паритет», 2013. -178 с.
11. *Чернякевич О.Ю., Леонович С.Н.* Уравнение предельного состояния депассивации арматуры с частными коэффициентами // Вестник БрГТУ. – 2009. – №1: Строительство и архитектура. – С. 51–54.
12. *Чернякевич О.Ю.* Применение уравнения Таманна при обосновании величины защитного слоя бетона железобетонных конструкций // Вестник БрГТУ. – 2007. – №1 : Строительство и архитектура. – С. 42–45.
13. *Шилин А.А., Зайцев М.В., Золотарев И.А., Ляпидевская О.Б.* Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте. – Тверь, изд-во «Русская торговая марка», 2003. – 396 с.

05.17.08

В.Ф. Беккер, Ю.А. Садырева, И.Ф. Киссельман

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал, Березники, bekker@bf.pstu.ac.ru

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ОСАЖДЕНИЯ ПЫЛЕВОЙ ФРАКЦИИ ХЛОРИДА КАЛИЯ В СЛОЕ ОРОШАЕМОЙ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ

Приведено описание механизма осаждения твердой частицы на поверхности пленки жидкости. Определены условия эффективного осаждения. На основании анализа характеристик пыли хлорида калия, образующейся на действующем производстве, показана возможность организации ее эффективного пылеулавливания в аппарате с подвижной насадкой.

Ключевые слова: осаждение, смачиваемость, улавливание пыли, эффективность, подвижная насадка.

Процесс мокрого пылеулавливания основан на контакте запыленного газового потока с жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы. Основным допущением в проводимом нами анализе механизма осаждения пылевой фракции является предположение о том, что в процессе мокрой пылеочистки в слое орошаемой подвижной насадки улавливание твердых частиц осуществляется пленками жидкости, текущими по твердым поверхностям отдельных элементов подвижной насадки.

В соответствии с теорией, изложенной [1], рассмотрим для нашего случая осаждение пылевых частиц на пленку жидкости. Смачивание поверхностей, предназначенных для осаждения частиц, является средством повышения эффективности процесса пылеулавливания.

Условие равновесия отдельной частицы

$$F - \sigma l \sin \alpha - S_q h \rho_{ж} - (m_q - m_{ж})g = 0 \quad (1)$$

где F – внешняя сила, Н; l – длина периметра смачивания, м; α – равновесный угол, град; S_q – площадь частицы на уровне трехфазной границы, м²; h – разность высот уровня жидкости и периметра смачивания, м; m_q – масса частицы, кг; $m_{ж}$ – масса вытесненной частицей жидкости, кг. Равновесный угол α определяется через угол смачивания θ и угол формы β , как разность $\alpha = \theta - \beta$.

Величина h в уравнении (1) является функцией угла α , которая определяется формой поверхности жидкости. По мере уменьшения размеров погружаемого тела эта форма приближается к цилиндрической и для небольших по величине частичек пыли можно воспользоваться формулой

$$h = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_{ж} g}} \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{r}{r + \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_{ж} g}}}} \quad (2)$$

где r – радиус образовавшегося цилиндра, м.

Согласно уравнениям (1) и (2), угол α уменьшается с уменьшением внешней силы F и массы частицы m_q . Для частиц, размеры которых по всем трем направлениям не превышают 100 мкм, при $h = 0$ угол α практически равен 0. Тогда и разность $\theta - \beta = 0$.

Способность пыли смачиваться оказывает существенное влияние на эффективность ее улавливания. Известно, что смачиваемость твердых тел уменьшается с увеличением их дисперсности. Можно считать, что частицы размером менее 10 мкм и особенно менее 5 мкм относятся к несмачиваемым независимо от их состава.

Для улавливания гидрофобных частиц необходимо, чтобы их кинетическая энергия превышала работу погружения частицы в воду, т.е. работу преодоления сил поверхностного натяжения. Это условие осуществляется только при больших скоростях соударения. Повышение эффективности пылеулавливания здесь достигается уменьшением поверхностного натяжения воды путем введения специальных веществ – смачивателей, подогрева воды и т.п.

Хорошо смачиваемые частицы, у которых угол θ очень мал, плавают целиком погруженные в жидкость. Несмачиваемые частицы ($\theta > 90^\circ$) находятся в газовой среде. С увеличением внешней силы F равновесный угол α возрастает до некоторого максимального значения, после чего частица тонет в жидкости. Смачиваемая частица тонет при $\alpha = \theta_{\max}$. Для частиц кубической формы размером меньше 100 мкм сила, необходимая для погружения смачиваемой частицы в жидкость, может быть определена по формуле

$$F_{\max} = 4a\sigma \sin \theta_{\max}, \tag{3}$$

где a – сторона куба, м.

Частица, не смачиваемая жидкостью, тонет в ней, когда $\alpha = 90^\circ$, а внешняя сила максимальна и равна $F_{\max} = 4a\sigma$. Для погружения частицы в жидкость необходимо выполнить работу погружения A , Дж:

$$A = \int_0^H F dH, \tag{4}$$

где H – путь, проходимый частицей при ее погружении в жидкость, м.

Для смачиваемых частиц небольшого размера

$$A = \frac{8a\sigma c}{3} \left(1 - \cos^2 \frac{\theta_{\max}}{2} \right), \tag{5}$$

а для несмачиваемых частиц

$$A = 8a^2\sigma \sin(\theta_{\max} - 90^\circ) + 1,72a\sigma c,$$

где

$$c = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_{ж}g}} \sqrt{\frac{2a/\pi}{\frac{2a}{\pi} + \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_{ж}g}}}}. \tag{6}$$

Приравняв работу погружения шаровой частицы с эквивалентным диаметром d_s , к ее кинетической энергии, можно определить минимальную нормальную скорость, с которой должна удариться частица о поверхность жидкости, чтобы утонуть в ней

$$w = \frac{1}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{8\sigma}{\rho_s d_s}}, \tag{7}$$

где w – скорость погружения, м/с

При толщине пленки жидкости, большей поперечного размера частицы, работа отрыва частицы значительно превосходит работу, необходимую для ее погружения в слой жидкости. Поэтому для предотвращения вторичного уноса частиц пыли газовым потоком после удара их о свободную поверхность жидкой пленки толщина пленки должна составлять не менее 0,2 ... 0,3 мм. Если толщина пленки жидкости больше размера частицы, то последняя может погрузиться в жидкость полностью. Утолщенные пленки и слои жидкости необходимы для надежного улавливания пыли при ее повышенной концентрации, в особенности при наличии в ней крупных частиц. Именно такие условия имеют место при очистке промышленных выбросов в слое орошаемой подвижной насадки.

В рассматриваемом случае кинетическая энергия частицы должна быть достаточна для преодоления сопротивления воды при ударе об ее поверхность и при погружении в нее. Важно выяснить также, какова должна быть минимальная толщина слоя воды, чтобы крупная частица, движущаяся через воду с большой скоростью, не смогла вновь вернуться в

воздушный поток, отскочив в воде от твердой поверхности элемента подвижной насадки. При неравномерном движении частицы в воде нельзя пренебрегать присоединенной массой, как это делается при исследовании движения частицы в воздухе. Кроме того, ввиду большей вязкости воды значение Re в начале движения оказывается больше 1 даже при движении с малыми скоростями и очень небольших размерах частиц.

С учетом этого уравнение движения сферической частицы диаметром d_c и массой m_c имеет вид

$$(m_c - m_{жс}) \frac{dw}{dt} = -\xi w^2, \quad (8)$$

где ξ – коэффициент сопротивления сферы.

Коэффициент аэродинамического сопротивления ξ зависит от числа Re . При движении с малыми скоростями и очень небольших размерах частиц, когда $0 < Re < 1$, коэффициент сопротивления равен $\xi = 24/Re$. Силу сопротивления F_c определяют по формуле Стокса:

$$F_c = 3\pi\mu d_c w, \quad (8)$$

где μ – динамическая вязкость среды, которой движется частица, Па·с.

Имея в виду формулу (8), а также то, что присоединенная масса сферической частицы равна половине массы жидкости в объеме сферы, после преобразования получим из выражения (8) следующее соотношение

$$\frac{\pi}{6} \rho_c d_c^3 \left(1 + \frac{\rho_{жс}}{2\rho_c}\right) \frac{\mu_в}{\rho_{жс} d_c} \cdot \frac{dRe}{dt} = -\frac{\pi}{2} \rho_{жс} d_c^2 \left(\frac{6}{Re} + \frac{1}{\sqrt[3]{Re}}\right) \frac{\mu_в^2 Re^2}{\rho_{жс}^2 d_c^2}, \quad (9)$$

где $\mu_в$ – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Решение уравнения (9) дает результат $\frac{x}{d_c} = \frac{1}{6}(Re_0 + Re)$ и соответственно $\frac{x_k}{d_c} = \frac{1}{6}Re_0$, где

при $x = 0$ скорость частицы $w = w_0$ и $Re = Re_0$.

Таким образом, для удержания на поверхности воды хорошо смачиваемой частицы достаточно их точечного контакта. Плохо смачиваемые частицы, включая все мелкие, будут уловлены в том случае, если глубина погружения в жидкость их центра превышает их радиус

r_c или (через диаметр $\frac{x}{d_c} > 0,5$), так как при этом можно ожидать захлопывания каверны за

погрузившейся частицей. Этому условию соответствуют значения $Re > 5$. Для торможения крупных частиц требуется большая толщина пленки воды. Например, смачиваемая частица ($\rho \approx \pi/2$) размером 40 мкм, ударившись о поверхность воды со скоростью 18 м/с, что вполне реально для условий пылеулавливания в слое подвижной насадки, пройдет в воде до полной потери скорости путь, равный около $16 d_c$. Представим, что толщина слоя воды равна 0,3 мм, как это имеет место в аппарате с подвижной насадкой. Пройдя через такой слой воды, частица ударится о поверхность элемента насадки со скоростью 5,2 м/с. Пренебрегая потерями энергии частицы при ударе ее о твердую поверхность, получим, что она покидает поверхность воды со скоростью примерно 0,6 м/с. Вылетевшая из воды частица может быть подхвачена воздушным потоком и вынесена из аппарата.

Пленками воды в мокрых пылеуловителях надежно удерживаются частицы, движение которых характеризуется значением $Re > 5$. Частицы малых размеров и частицы, соударяющиеся с поверхностью пленки воды с малыми скоростями, погружаются в воду на глубину менее величины r_c и, если они плохо смачиваются водой, могут быть сорваны воздушными потоками. При значении $Re > 1000$ и толщине пленки воды менее $20 r_c$ возможен отскок частиц от твердой поверхности насадки, покрытой пленкой, и вторичный выход частицы в воздушный поток.

Твердые частицы пыли, образующейся при сушке галургического хлорида калия в трубе-сушилке, перед системой газоочистки имеют размеры в пределах 1,6 ... 40 мкм, а при сушке флотационного калийного концентрата в аппарате «кипящего слоя» 4 ... 100 мкм. Следовательно, можно предположить, что исследованный механизм пылеулавливания в пленке жидкости может быть организован в аппарате с подвижной насадкой на действующем производстве.

Список литературы

1. Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф., Садырева Ю.А. Обеспыливание промышленных абгазов в аппаратах с подвижной насадкой. Науч.-техн. вестн. Поволжья, 2014, №3. – С. 221-224.
2. Ветошкин А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2008. – 397 с.

05.19.04

Л.А. Бекмурзаев, М.В. Бырдина, Е.В. Назаренко

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)
Донского государственного технического университета,
кафедра «Технология швейных изделий и материаловедение»,
Шахты, tsh@sssu.ru, byrdinamarina@mail.ru, neva_65@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОЙ ОБОЛОЧКИ

В статье предлагается решение задачи о нахождении формы замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом соединительных швов на основе методов вариационного исчисления и математического моделирования. Расчет параметров формы замкнутого элемента тонкой оболочки показан на конкретном примере.

Ключевые слова: *замкнутый элемент тонкой оболочки, соединительные швы, срединная поверхность, вариационное исчисление, математическое моделирование.*

В настоящей работе предлагается решение задачи о нахождении геометрии малого участка поверхности изделия (юбки конической формы), которая условно изготовлена из гибко-упругого однородного материала. Рассматриваемую модель с соединительными швами можно рассматривать как тонкую оболочку с учетом ребер жесткости [1], так как толщина материала, из которого изготовлено изделие намного меньше его геометрических параметров.

Срединной поверхностью тонкой оболочки называется поверхность, равноудаленная от ее лицевых поверхностей. Далее под формой изделия будем понимать форму его срединной поверхности.

Допустим, что юбка с соединительными швами до деформации ее поверхности представляет собой прямой круговой усеченный конус, а соединительные швы располагаются вдоль спиральных линий (рис. 1). Пусть она закреплена на стенде по периметру талии, свободно провисая в поле сил тяжести и приобретая форму с учетом сил упругости материала. Математическую модель изделия будем рассматривать на малом участке высоты dz в направлении вертикальной оси, который назовем замкнутым элементом тонкой оболочки. (рис. 1).

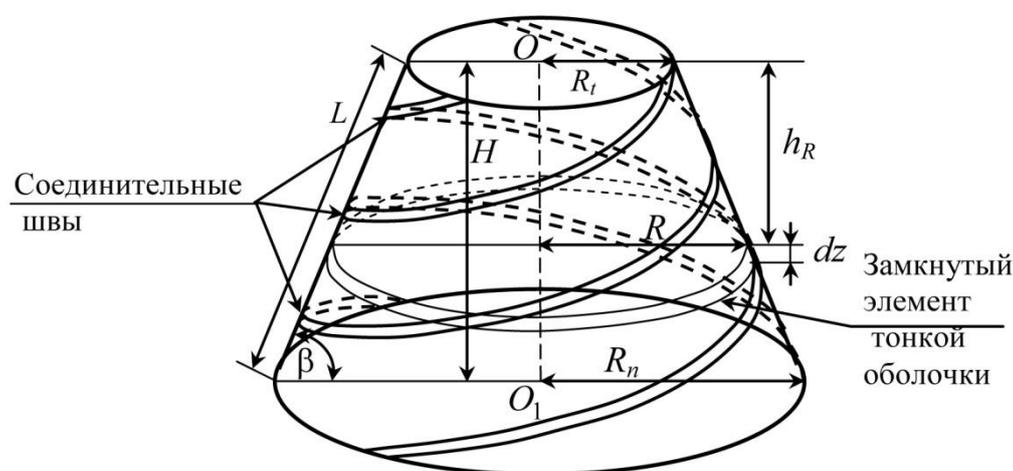


Рис. 1 – Форма юбки до деформации с учетом соединительных швов

Замкнутый элемент тонкой оболочки высотой dz и радиусом нижнего основания $R > R_t$ с помощью тонких гибких и нерастяжимых нитей одинаковой длины L и с постоянным шагом угла поворота относительно вертикальной оси соединим со стендом, который представляет собой горизонтально расположенный круг радиусом, равным радиусу талии R_t .

Рассматриваемый замкнутый элемент тонкой оболочки, подвешенный на стенде, находится под влиянием сил тяжести и сил упругости, возникающих в материале (рис. 2). Замкнутый элемент тонкой оболочки, выполненный с соединительными швами, имеет большую жесткость по сравнению с элементом без соединительных швов, соответственно он подвергается несколько меньшей деформации.

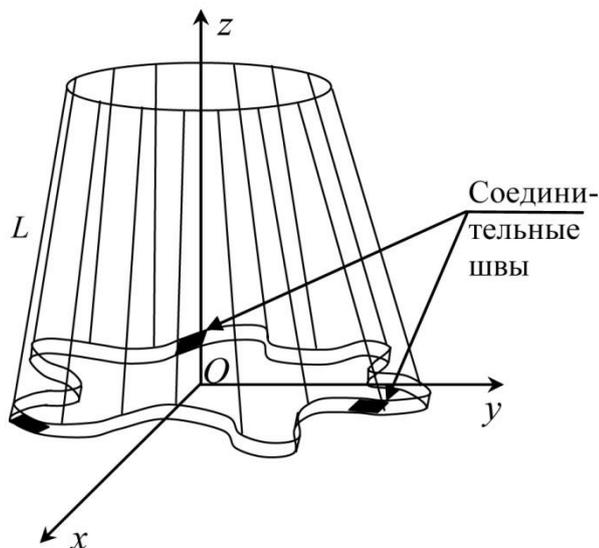


Рис. 2 – Форма замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом соединительных швов

Для описания формы замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом швов применим методы вариационного исчисления. Для этого найдем величину потенциальной энергии, которая заключена в исследуемом элементе, когда стенд поднят относительно плоскости Oxy на высоту L .

Сформулируем задачу определения формы замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом швов как вариационную задачу нахождения минимума потенциальной энергии, которая равна сумме потенциальных энергий сил тяжести и сил упругости.

$$P + U_{np} \rightarrow \min, \tag{1}$$

где: P – потенциальная энергия, возникающая в замкнутом элементе тонкой оболочки за счет сил тяжести;

U_{np} – потенциальная энергия элемента за счет сил упругости.

Рассмотрим бесконечно малый участок замкнутого элемента тонкой оболочки, ограниченный элементом угла $d\varphi$, текущий радиус которого в полярной системе координат, совмещенной с плоскостью XOY , равен $r(\varphi)$, соответственно расстояние KN равно $r(\varphi) - R_t$ (рис. 3).

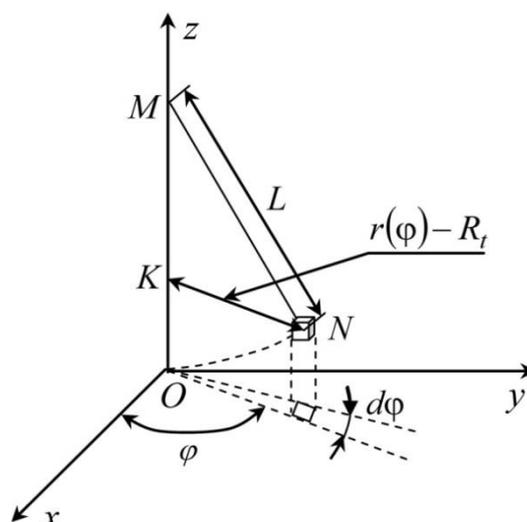


Рис. 3 – К нахождению потенциальной энергии малого участка замкнутого элемента тонкой оболочки

Потенциальная энергия участка замкнутого элемента тонкой оболочки определяется по формуле

$$\Delta P = \Delta m \cdot g \cdot h = \rho \cdot \frac{dz}{\cos \beta} \cdot d\varphi \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right), \quad (2)$$

где Δm – масса малого участка замкнутого элемента тонкой оболочки;

h – высота, на которую поднят малый участок;

ρ – поверхностная плотность элемента тонкой оболочки;

g – ускорение свободного падения.

Потенциальная энергия замкнутого элемента тонкой оболочки будет равна

$$P = \int \Delta P = \frac{\rho \cdot g \cdot dz}{\cos \beta} \int_0^{2\pi} \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) d\varphi. \quad (3)$$

Потенциальная энергия малого участка замкнутого элемента тонкой оболочки за счет сил упругости согласно [2] определяется по формуле

$$\Delta U_{\text{упр}} = E \frac{dz}{2 \cos \beta} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 d\varphi, \quad (4)$$

здесь R – радиус замкнутого элемента тонкой оболочки без учета сил тяжести;

E – модуль упругости материала.

Значение $R_t - r(\varphi)$ в формуле (4) означает величину деформации материала, полагая, что упругая деформация материала условно происходит по закону Гука [3]. Тогда потенциальная энергия, заключенная в замкнутом элементе тонкой оболочки за счет сил упругости будет равна

$$U_{\text{упр}} = \int \Delta U_{\text{упр}} = E \frac{dz}{2 \cos \beta} \cdot \int_0^{2\pi} (R_t - r(\varphi))^2 d\varphi. \quad (5)$$

Величина модуля упругости E определяется по формуле [3]

$$E = \frac{B}{I},$$

где: B – жесткость материала элемента; I – центральный момент инерции для замкнутого элемента тонкой оболочки.

Исходя из принципа минимума потенциальной энергии и учитывая формулы (3), (5), получим вариационную задачу минимизации функционала

$$\rho \cdot g \cdot \int_0^{2\pi} \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) d\varphi + \frac{B}{2I} \cdot \int_0^{2\pi} (R_t - r(\varphi))^2 d\varphi \rightarrow \min. \quad (6)$$

с интегральной связью

$$\int_0^{2\pi} \sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2} d\varphi = 2\pi R. \quad (7)$$

С учетом швов в изделии вариационная задача минимизации функционала примет вид

$$\int_0^{2\pi} \rho \cdot L \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) d\varphi + \int_0^{2\pi} \frac{B(\varphi)}{2I} \cdot (R - r(\varphi))^2 d\varphi \rightarrow \min. \quad (8)$$

Примем допущение, что функции $\rho(\varphi)$ и $B(\varphi)$ имеют постоянные значения для изотропного материала везде, кроме участков соединительных швов. На участках соединительных швов значение функции $\rho(\varphi)$ и возрастает в несколько раз. Таким образом, функции $\rho(\varphi)$ и $B(\varphi)$ являются кусочно-постоянными

$$\rho(\varphi) = \begin{cases} \rho_1 & \text{для участка без шва;} \\ \rho_2 & \text{для участка соединительного шва;} \end{cases} \quad (9)$$

$$B(\varphi) = \begin{cases} B_1 & \text{для участка без шва;} \\ B_2 & \text{для участка соединительного шва.} \end{cases}$$

где $\rho_1 < \rho_2, B_1 < B_2$.

Из математической литературы [4] известно, что для нахождения минимума функционала (8) с интегральной связью (7) необходимо составить функцию Лагранжа

$$F_1 = g \cdot \rho(\varphi) \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) + \frac{B(\varphi)}{2I} (R_t - r(\varphi))^2 - \lambda \sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2}, \quad (10)$$

для которой достаточно найти безусловный экстремум.

Учитывая, что функции $\rho(\varphi)$ и $B(\varphi)$ кусочно-постоянны, равенство (10) можно представить в виде

$$F_1 = g \cdot \rho_* \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) + \frac{B_*}{2I} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 - \lambda \sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2}, \quad (11)$$

где $\rho_* = \rho_1, B_* = B_1$, если угол φ изменяется на участках без швов;

$\rho_* = \rho_2, B_* = B_2$, если угол φ изменяется на участках соединительных швов.

Из равенства (11) нетрудно видеть, что функция Лагранжа не содержит в явном виде переменную φ , в этом случае из [4] известно, что уравнение Эйлера применительно к функции (11) допускает первый интеграл

$$F_1 \left(r, \frac{dr}{d\varphi} \right) - \frac{dr}{d\varphi} \cdot \frac{\partial F_1 \left(r, \frac{dr}{d\varphi} \right)}{\partial r'} = C_1, \quad (12)$$

здесь $r' = \frac{dr}{d\varphi}$, C_1 – произвольная постоянная.

Из физической постановки задачи о нахождении формы замкнутого элемента тонкой оболочки следует, что срединная кривая, описывающая его форму, есть гладкая 2π периодическая функция. Соответственно, решение вариационной задачи (7), (8) есть гладкая 2π периодическая кривая. Как известно из математической литературы [5], приближение 2π периодических кривых эффективно реализуется с помощью отрезков ряда Фурье.

Решения вариационных задач для участков замкнутого элемента тонкой оболочки без швов и с учетом соединительных швов будут отличаться значениями поверхностной плотности и жесткости материала.

Приближенные решения вариационной задачи для участков без швов будем определять в виде

$$r(\varphi) = r_1 + q_1 \cdot \sin(\omega_1 \varphi), \quad (13)$$

а для участка со швами в форме

$$r(\varphi) = r_2 + q_2 \cdot \sin(\omega_2 \varphi), \quad (14)$$

где r_1, q_1, ω_1 – значения среднего радиуса замкнутого элемента тонкой оболочки, амплитуды и частоты полярного радиуса $r(\varphi)$ на участках без швов;

r_2, q_2, ω_2 – средний радиус, амплитуда и частота колебаний $r(\varphi)$ на участках шва.

Таким образом, решение задачи по определению формы тонкой оболочки с учетом швов будет определяться, как кусочно-непрерывное решение, состоящее из участков решений в форме (13), которые непрерывно продолжаются решениями в форме (14), в зависимости от угла поворота φ .

Находим значения λ для участка без швов:

$$\lambda_{\text{бш}} = \frac{\left(2K_1(r_1 - R_t) - \frac{B_1}{I}(R_t - r_1)\right) \cdot (r_1^2 + q_1^2 \omega_1^2)^{\frac{3}{2}}}{r_1 \cdot (r_1^2 + 2q_1^2 \omega_1^2)}, \quad (15)$$

а значение параметра C_1 в виде:

$$C_{1,\text{бш}} = K_1 \cdot (r_1 - R_t)^2 + \frac{B_1}{2I} \cdot (R_t - r_1)^2 - \frac{r_1 \left(2K_1(r_1 - R_t) - \frac{B_1}{I}(R_t - r_1)\right) \cdot (r_1^2 + q_1^2 \omega_1^2)}{(r_1^2 + 2q_1^2 \omega_1^2)}. \quad (16)$$

Аналогично определяются значения λ, C_1 вариационной задачи (7), (8) для участка со швом:

$$\lambda_{\text{ш}} = \frac{\left(2K_2(r_2 - R_t) - \frac{B_1}{I}(R_t - r_2)\right) \cdot (r_2^2 + q_2^2 \omega_2^2)^{\frac{3}{2}}}{r_2 \cdot (r_2^2 + 2q_2^2 \omega_2^2)}, \quad (17)$$

$$C_{1,\text{ш}} = K_2 \cdot (r_2 - R_t)^2 + \frac{B_2}{2I} \cdot (R_t - r_2)^2 - \frac{r_2 \left(2K_2(r_2 - R_t) - \frac{B_2}{I}(R_t - r_2)\right) \cdot (r_2^2 + q_2^2 \omega_2^2)}{(r_2^2 + 2q_2^2 \omega_2^2)}. \quad (18)$$

Способ нахождения параметров r_1, q_1, ω_1 , а также параметров r_2, q_2, ω_2 покажем на конкретном примере. Количество швов равно 3.

Для участков без швов входные параметры имеют вид:

$$\begin{aligned} K_1 &= 0.0828 \frac{H}{m^2}; B_1 = 400 \text{ мкН} \cdot m^2; R = 0.23m; \\ R_t &= 0.13m; L = 0.425m; h = 0.001m. \end{aligned} \quad (19)$$

Для участков со швами входные параметры модели равны

$$K_2 = 0.1656 \frac{H}{m^2}; B_2 = 760 \text{ мкН} \cdot \text{м}^2; h = 0.002 \text{ м}. \quad (20)$$

Параметры моделей (13) и (14) получены в форме:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0.83 \cdot R = 0.1918; q_1 = \frac{R}{7.75} = 0.0429; \omega_1 = 5; \\ r_2 &= 0.178; q_2 = 0.0831; \omega_2 = 3. \end{aligned} \quad (21)$$

Следует отметить, что длина всего замкнутого элемента тонкой оболочки равна

$$L = 2\pi R = 1.46 \text{ м},$$

а ширина одного шва составляет порядка 0.02 м . Для рассматриваемого примера, как показано на рис. 4, юбка имеет три шва, соответственно доля швов в общей длине с учетом их наклона к вертикальной оси составит порядка

$$0.02 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} < 0.09 \text{ м},$$

что составляет относительно малую долю в общей длине всего элемента. Относительно малая доля швов по длине замкнутого элемента тонкой оболочки влечет сравнительно малое влияние швов на его конфигурацию по сравнению с моделью без учета швов.

Математическое моделирование показывает, что конфигурация замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом швов математически имеет существенно более громоздкое представление, при этом значения полярного радиуса $r(\varphi)$ относительно мало изменяются в сравнении с замкнутым элементом тонкой оболочки без учета швов.

Таким образом, наличие швов в замкнутом элементе тонкой оболочки влечет некоторое уменьшение среднего радиуса элемента, кроме того, нарушается симметричность формы элемента относительно начала координат, однако эти изменения относительно малы и принципиального влияния на форму элемента тонкой оболочки не оказывают.

Оценка величины рассогласования между истинным решением уравнения и приближенным проводится на каждом участке без швов и на каждом участке шва отдельно. Расчеты в Maple 9.5 показывают, что величина рассогласования теории и эксперимента для всех участков замкнутого элемента тонкой оболочки по аргументу φ не превосходит 2,5%. В случае, если количество соединительных швов увеличится, то форма изделия изменится незначительно, так как их спиралевидное расположение нивелирует жесткость самих швов.

Выводы:

– рассмотрена задача о нахождении формы замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом сил тяжести и упругости, поставлена задача формообразования швейных изделий, исходя из принципа минимума потенциальной энергии на основе методов вариационного исчисления;

– решена задача о нахождении формы поверхности изделия без учета и с учетом соединительных швов на основе методов математического моделирования; графическая визуализация геометрии изделия показана на конкретном примере.

Список литературы

1. *Кан, С.Н.* Избранные главы по строительной механике оболочек [Текст] / Под ред. С.Н. Кана – Харьков, 1964. – 227 с., с. 57
2. *Новожилов, В.В.* Линейная теория тонких оболочек [Текст] / В.В. Новожилов, К.Ф. Черных, Е.И. Михайловский. – Л.: Политехника, 1991. – 656 с., с.43
3. *Писаренко, Г.С.* Сопротивление материалов. 5-е изд. [Текст]: / Г.С. Писаренко и др. – К.: Вища шк, 1986. 775 с., с. 244
4. *Мышкис, Д.А.* Математика для вузов. Специальные курсы [Текст] / Д.А. Мышкис. – М.: Наука, 1971 г. 632 с., с. 280
5. *Эдвардс, Р.* Ряды Фурье в современном изложении. Т.1 [Текст] / Р. Эдвардс. – М.: Мир, 1985. – 264 с., с. 10

05.02.02

Л.В. Беляев, А.В. Жданов

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
механико-технологический факультет, кафедра технологии машиностроения,
Владимир, tms@vlsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА

В работе представлены результаты экспериментальных исследований тепловых характеристик мехатронного модуля искусственного сердца. Показана возможность применения метода конечных элементов для численного анализа теплоэнергетических преобразований происходящих при работе мехатронного модуля.

Ключевые слова: *искусственное сердце, мехатронный модуль, конечно-элементное моделирование.*

Важной проблемой в создании мехатронных модулей (ММ) искусственного сердца (ИС) является обеспечение их продолжительной, непрерывной работы в условиях ограниченного теплоотвода. Температура корпуса ММ не должна превышать 40°C, а перегрев до 42°C допустим лишь в кратковременных режимах [1]. Для обоснования возможности применения приводов в имплантируемых системах необходимо провести анализ теплоэнергетических преобразований, происходящих при работе ММ ИС, и получить количественные температурные характеристики [2]. Максимальные температуры соответствуют установившемуся режиму работы ММ ИС, для которого параметры теплообмена постоянны. Для решения данной задачи приведен подход, основанный на численном моделировании теплового состояния ММ ИС на основе результатов решения стационарной задачи теплопроводности методом конечных элементов (МКЭ).

В общем виде уравнение теплопроводности имеет вид:

$$\lambda \nabla^2 T + Q = c \rho \frac{\partial T}{\partial \tau},$$

где τ – время; λ – теплопроводность материала; T – температура; c – удельная теплоёмкость; ρ – плотность материала; Q – производительность внутренних источников тепла; ∇^2 – оператор Лапласа.

При начальных условиях:

$$T = T(x, y, z, 0), \text{ здесь } x, y, z - \text{ координаты, и граничных условиях:}$$

первого рода: $T = T(x, y, z)$;

второго рода: $q_0 = -\lambda \partial T(x, y, z) / \partial n$, где n – нормаль к поверхности в точке с координатами x, y, z , q_0 – плотность теплового потока;

третьего рода: $-\lambda \partial T(x, y, z) / \partial n = \alpha(T - T_\infty)$, где α – коэффициент теплоотдачи на поверхности толкателя, T_∞ – температура окружающей среды. МКЭ, с использованием вариационных принципов, сводит решение задачи теплопроводности к минимизации функционала на множестве узловых значений температур. Функционал имеет вид:

$$\Phi(T) = \frac{1}{2} \int_V \lambda \left[\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] dV + \int_V \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} T dV - \int_V Q T dV - \int_{S_\alpha} \alpha (T_\infty - T)^2 dS + \int_{S_q} q_0 T dS$$

где V – область интегрирования; S_q, S_α – площади поверхностей, для которых заданы граничные условия 2-го и 3-го рода соответственно.

Функционал системы конечных элементов представляется суммой функционалов отдельных элементов: $\Phi = \sum_{e=1}^n \Phi_e$, где n – число элементов, на которое разбито тело.

В результате минимизации функционала: $\frac{\partial \Phi(T)}{\partial \{T\}} = \sum_{e=1}^n \frac{\partial \Phi_e(T)}{\partial \{T\}} = 0$

получаем систему линейных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$[H]\{T\} + [c] \frac{\partial}{\partial \tau} \{T\} = \{F\},$$

где $[H] = \sum_{e=1}^n [H]_e$ – глобальная матрица теплопроводности; $[c] = \sum_{e=1}^n [c]_e$ – глобальная матрица

теплоёмкости; $\{F\} = \sum_{e=1}^n \{f\}_e$ – глобальный вектор тепловой нагрузки.

Стационарная постановка задачи сводит решение к системе линейных уравнений вида: $[H]\{T\} = \{F\}$.

При моделировании тепловых процессов, связанных с работой ММ ИС [3–5], использовалась теория МКЭ, реализованная в современном CAE-комплексе ANSYS. Конечно-элементная модель (КЭМ) создавалась на основе 3D-моделей ММ ИС, разработанных в современном CAD-пакете Pro/ENGINEER (рис. 1). В силу симметрии конструкции и с целью сокращения машинного времени рассматривалась $\frac{1}{4}$ часть ММ ИС в сборе, включающая все конструктивные и геометрические элементы, влияющие на тепловое состояние.

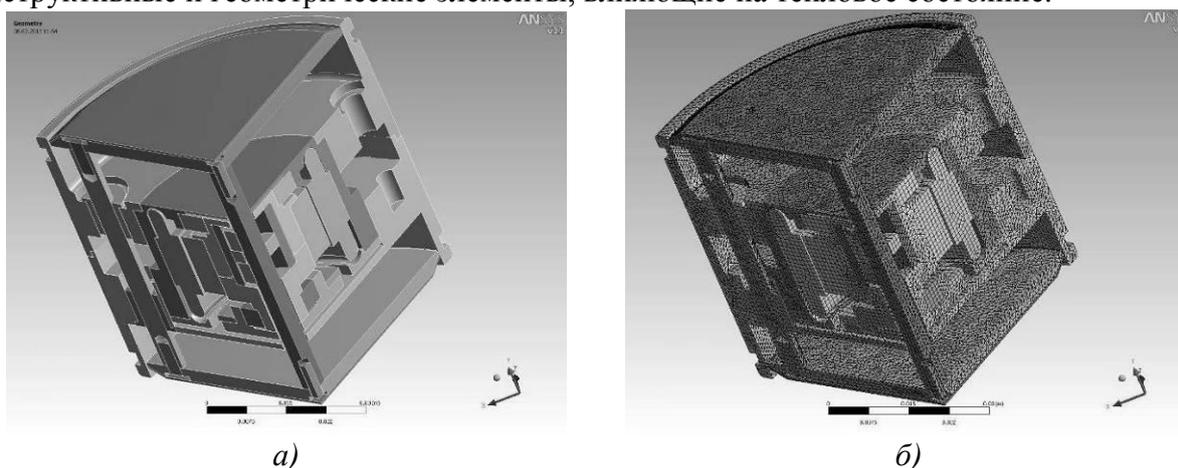


Рис. 1 – 3D (а) и КЭМ (б) привода ММ ИС

В модель также введена мембрана искусственного желудочка сердца (ИЖС) из полиуретана, находящаяся в постоянном контакте с толкателями привода, что является вынужденным упрощением расчетной модели. КЭМ состоит из 642263 узлов и 363231 элементов. Базовым элементом был принят 20-узловой гексаэдр, который позволяет с высокой точностью воспроизводить геометрию 3D-модели и дает меньшую вычислительную погрешность по сравнению с линейными элементами. Средний размер ребер конечных элементов – 1 мм.

Тепловое состояние ММ ИС определяют следующие процессы:

Теплообмен на поверхности мембраны ИЖС, определяемый движением турбулентного потока крови. Параметры теплообмена на этой поверхности задавались граничными условиями 3-го рода.

Скорость течения крови в области, прилегающей к поверхности мембраны равна 0,3 м/с. Коэффициент теплоотдачи при этих параметрах $\alpha = 120 \text{ Вт/м}^2$. Температура соответствовала температуре тела человека, то есть $T_\infty = 36.6 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Теплообмен корпуса с окружающей средой. При внешней установке ММ принимались граничные условия, соответствующие условиям естественной конвекции в помещении, то есть $\alpha = 40 \text{ Вт/м}^2$, $T_{\infty} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Теплообмен, связанный с тепловыми потерями электродвигателя ММ. Мощность тепловых потерь составляет от 5 до 10 Вт, а плотности теплового потока – 1500, 2400 и 3000 Вт/м^2 соответственно.

Из свойств материалов в модели использовались только значения теплопроводности: для полиуретана – 0,28 $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$; для алюминиевых сплавов Д16Т, из которых изготовлены толкатели, направляющие штанги, ротор электродвигателя и внутренние корпусные детали – 140 $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$; для стали ШХ15, из которой изготовлены подшипники и детали роликовинтового механизма (РВМ) ММ – 45 $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$; для бронзы БрАЖ9-4, из которой изготовлен сепаратор – 90 $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$; для статора, состоящего из электротехнической стали и медной обмотки – 80 $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$, для втулок из графелона – 5 $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$ и для титанового сплава ВТ6, из которого изготовлен внешний корпус привода – 8,5 $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$.

Результаты моделирования представлены на рис. 2 – 4.

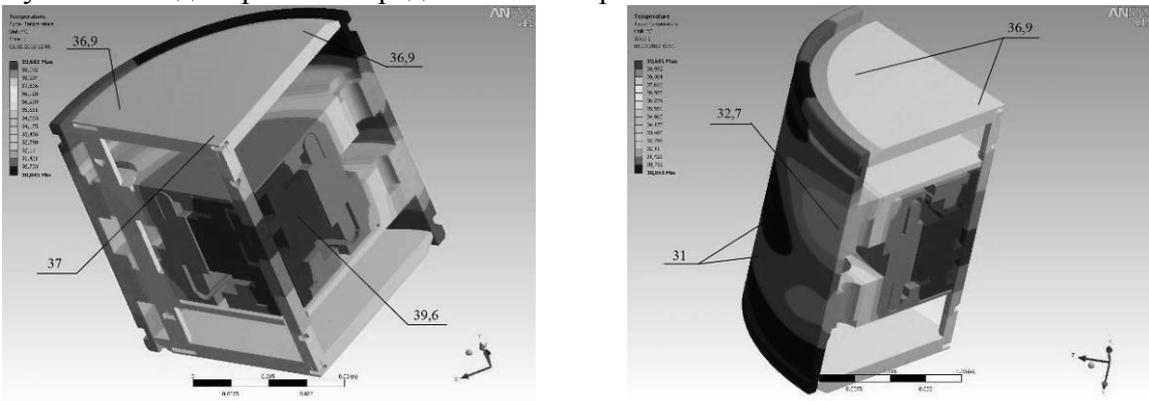


Рис. 2 – Температурное поле привода ММ ИС при мощности тепловых потерь 5 Вт

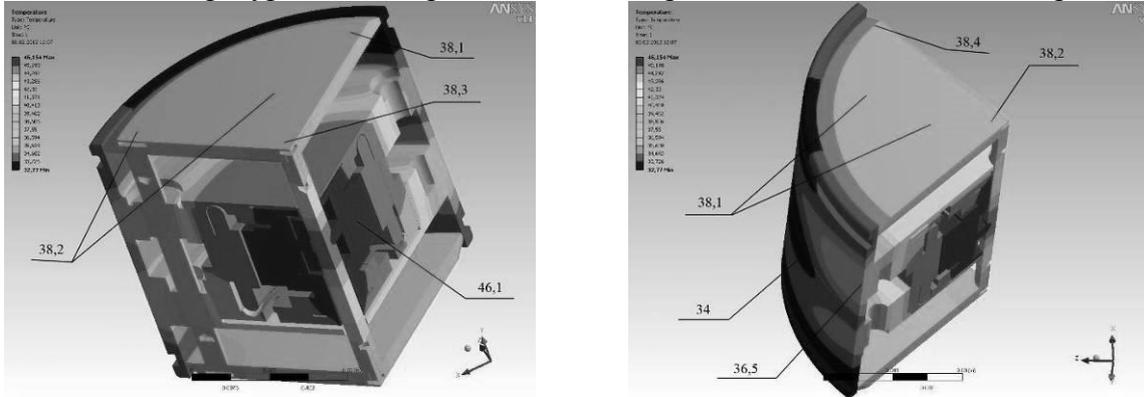


Рис. 3 – Температурное поле привода ММ ИС при мощности тепловых потерь 8 Вт

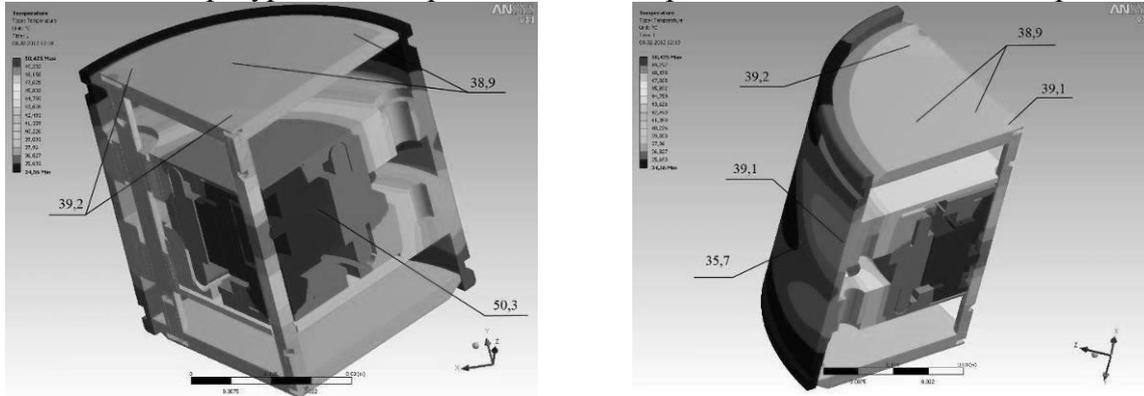


Рис. 4 – Температурное поле привода ММ ИС при мощности тепловых потерь 10 Вт

Особенности теплообмена при работе ММ ИС обусловлены следующим:

- титановый сплав ВТ6 обладает низкой теплопроводностью, то есть внешний корпус является тепловым барьером. Это позволяет «удерживать» теплоту во внутреннем объеме привода. Поэтому с увеличением мощности тепловых потерь на поверхности корпуса максимальная температура увеличивается лишь на 6⁰С (с 33⁰С до 39⁰С) и не достигает критического значения 42⁰С;

- Направляющие, выполненные из алюминиевого сплава с высокой теплопроводностью, находятся на периферии в области относительно низких температур, винт находится в зоне максимальных температур, но теплопроводность стали значительно ниже, то есть теплоотвод к толкателям затруднен конструктивными особенностями ММ максимальная температура на поверхности толкателя изменяется с 37 до 39⁰С, не достигая критического значения.

Проведенный анализ установившегося теплового состояния ММ ИС при разной мощности тепловых потерь позволил определить ограничения на их мощность и показал принципиальную возможность длительной работы без перегрева выше критической температуры 42⁰С.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-97538 р_центр_а».

Список литературы

1. Имплантируемая система вспомогательного кровообращения на базе мехатронных модулей / Владим. гос. ун-т. [под ред. В.В. Морозова]. Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 134 с.
2. *Жданов А.В.* Исследования тепловых характеристик имплантируемой системы вспомогательного кровообращения пульсирующего типа / А.В. Жданов, Ю.А. Новикова // Биотехносфера / С-Петербург, Изд-во «Политехника»: 2011, №4 (16), С.47-51.
3. *Беляев Л.В., Морозов В.В., Жданов А.В.* Искусственное сердце / Патент на полезную модель РФ № 127315 от 27.04.2013.
4. *Волкова И.В.* Проектирование исполнительных механизмов насосных систем вспомогательного кровообращения / И.В. Волкова, А.В. Жданов// Научно-технический вестник Поволжья. №2 2011г. – Казань. – С. 59-63.
5. *Морозов В.В.* Мехатронные модули поступательного перемещения с компенсацией автоколебаний// Научно-технический вестник Поволжья. №6 2011г. – Казань. – С. 221-224.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.С. Денисов

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buinosov@mail.ru, ds.denisov7@yandex.ru

О РАЗРАБОТКЕ ПРИБОРА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

В статье приведены основные характеристики и принцип работы прибора – структуроскопа К-61 для неразрушающего метода контроля качества металла бандажей, использование которого позволит повысить безопасность движения поездов, уменьшить износ колесных пар локомотивов.

Ключевые слова: *локомотив, колесная пара, бандаж, метод, контроль, неразрушающий, прибор, разработка.*

Качество изготовления бандажей влияет на срок службы колесных пар и тем самым на эксплуатационные расходы, экономические показатели железнодорожного транспорта. Работоспособность бандажей определяется качеством стали и другими факторами [1–3].

Для оценки качества термообработки металла на заводе-изготовителе осуществляют текущий контроль по твердости выборочно – на одном бандаже из партии. Если твердость удовлетворяет техническим условиям и (или) ГОСТ 398-2010, то вся партия бандажей принимается в дальнейшую эксплуатацию. При этом высокая вероятность того, что в числе признанных годными бандажей могут оказаться и бандажи с низкой твердостью и низкой износостойкостью. Этот факт объясняется следующим. При посадке заготовок для бандажей в нагревательные печи, какая-то из горелок может не работать или наоборот температура нагрева в зоне той или иной горелки может быть выше по отношению к другим горелкам. Температура по высоте стопы будет неодинакова. Это приведет к появлению отдельных зон недогрева или перегрева, что в конечном итоге может привести к структурным изменениям в металле и его механических свойств [4].

В связи с этим встала необходимость введения входного контроля бандажей, поставляемых в ремонтные (сервисные) локомотивных депо имеющих колесные цеха. Производство входного контроля в условиях депо организовать представляет некоторую сложность, из-за высокой трудоемкости, связанную с необходимостью зачистки поверхности мест замеров, а также больших трудностей, возникающих при подведении под пресс Бринелля таких крупногабаритных деталей как бандажи [5].

Применение переносных твердомеров исключает последнее обстоятельство, но, как правило, требует еще более гладкую поверхность мест замеров. Кроме того, эти приборы требуют фиксированного положения датчика, расположение которого должно быть строго перпендикулярно к поверхности [6, 7]. Такие приборы дают большую погрешность измерений (до 10 % и более) а также, как и метод Бринелля, измеряют твердость поверхностного слоя (иногда эта величина при применении переносных приборов измеряется несколькими десятками микрон).

Но самым главным обстоятельством, свидетельствующим о малой эффективности методов контроля является тот факт, что измеряемая твердость этими методами не всегда оценивает структурное состояние стали и, следовательно, механические свойства (например, сорбит закалки и сорбит отпуска имеют одинаковую твердость но разные свойства σ_B , σ_T , НВ и др.). Не маловажным обстоятельством является то, что после проведения разрушающего контроля бандаж становится непригодным для дальнейшего использования по назначению [8].

В промышленности все большее применение находят неразрушающие магнитные методы контроля качества изделий. Они основываются на измерении параметров магнитных свойств материала. Магнитные методы применяют только для контроля изделий, изготовленных из ферромагнитных материалов, которые обладают способностью сильно намагничиваться под действием внешних магнитных полей и сохранять частично приобретенную ими намагниченность по удалении внешнего поля [9]. Магнитные свойства материала контролируемых изделий характеризуются петлей гистерезиса. Благодаря остаточной индукции, оставшейся после снятия внешнего поля, становится возможным реализовать многие магнитные методы контроля.

В результате исследований установлено, что достоверной характеристикой, отражающей структурное состояние углеродистых сталей, является коэрцитивная сила [10, 11].

Величина коэрцитивной силы в бандажной стали зависит от структуры, которая образуется в результате той или иной термообработки (сорбит закалки, троостит закалки, перлит, сорбит отпуска, мартенсит и др.). Кроме того, на коэрцитивную силу оказывает влияние большая величина напряжений II рода, вызванная более высокой плотностью дислокаций при одной и той же твердости с сорбитом отпуска.

С повышением степени дисперсности пластинчатых структур коэрцитивная сила и твердость равномерно увеличивается, что указывает на установление однозначной зависимости между этими характеристиками [11].

На основании этого анализа можно сделать заключение о целесообразности измерения коэрцитивной силы для оценки структурного состояния и твердости новых бандажей и бандажей, находящихся в эксплуатации. Причем, пределы твердости, определяемой по коэрцитивной силе, необходимо уточнить набором статистических данных, полученных от бандажей плавок с различным содержанием элементов (С, Mn и др.).

Для контроля качества термической обработки бандажей был разработан в УрГУПС прибор «Структуроскоп К-61» со встроенным внутри корпуса датчиком с габаритными размерами прибора 87×45×160 мм, массой 1,4 кг, с глубиной измерения от 1,5 до 5 мм, со временем измерения 1 с.

Внешний вид прибора изображен на рис. 1.



Рис. Прибор К-61

Блок-схема прибора (см. рис. 2) и состоит из блока питания, генератора тактовых импульсов, синхронизатора, генератора возбуждения, датчика, аналого-цифрового преобразователя (АЦП), устройства индикации. Работой прибора управляет синхронизатор. Генератор возбуждения выдает на датчик ток перемагничивания. Устройство индикации выдает преобразованную блоком АЦП информацию о величине сигнала на выходе измерительной обмотки на индикатор.

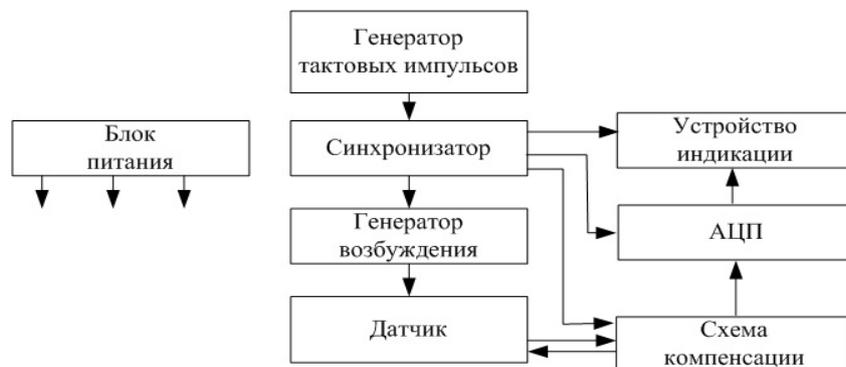


Рис. 2. Блок-схема прибора

Для удобства работы при контроле бандажей на датчик прибора К-61 выведена индикация величины тока размагничивания, соответствующая индикации на табло прибора. Это позволяет относить датчик на расстояние до 10 м от прибора и снимать информацию о результатах контроля непосредственно с датчика.

Принцип измерения коэрцитивной силы прибором К-61 заключается в следующем. На поверхность устанавливают датчик, с помощью которого бандаж или его участок намагничивают, затем снимают намагничивающее поле и подают нарастающее по величине поле обратной полярности. Бандаж или его участок при этом размагничиваются до нуля, а по величине размагничивающего поля определяют коэрцитивную силу материала. Оценку коэрцитивной силы осуществляют по величине размагничивающего тока, измеряемого в мА.

Применение прибора К-61 по сравнению с традиционным контролем твердости по методу Бринелля позволяет [9, 12]: повысить безопасность движения за счет большей достоверности информации о качестве материала бандажей; контролировать изготовление бандажей непосредственно в технологической линии на заводах-изготовителях; не требуют специальной подготовки поверхности (допускается наличие небольшого обезуглероживания, незначительной окалины, шероховатости и ржавчины).

Рекомендовано локомотивным депо ввести входной неразрушающий контроль бандажей колесных пар локомотивов, при помощи прибора К-61 сортировать бандажи и формировать колесные пары из бандажей одинаковой твердостью с последующей постановкой таких колесных пар под локомотив. Локомотивы с повышенной твердостью бандажей целесообразно эксплуатировать на участках с повышенной интенсивностью износа гребней колесных пар, с меньшей твердостью – на участках с меньшей интенсивностью износа.

Разработанным в УрГУПС прибором заинтересовались в ОАО «РЖД», других организациях. Потенциальные покупатели поставили задачу уменьшить размеры, а массу прибора снизить с 1,4 кг до 50–100 гр. при тех же технических характеристиках.

Список литературы

1. Буйносов А.П. Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16-20.
2. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 10. – С. 39 – 41.
3. 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.
4. Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А. Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 5. С. 57-60.
5. Кирель Л.А., Буйносов А.П., Наговицын В.С., Янус Ю.Р., Цыпуштанов А.Г., Трофимов М.Н. Создан прибор неразрушающего магнитного контроля // Локомотив. 2000. № 6. С. 24-25.
6. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
7. 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.
8. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. 1994. № 10. С. 39-41.
9. Буйносов А.П., Михайлова Н.А., Михайлова О.М. Прибор для контроля рельсов // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 10. С. 13-15.
10. Буйносов А.П. Взаимодействие колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 1999. № 5. С. 22-25.
11. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. 455 с.
12. Горский А.В., Буйносов А.П., Боярских Г.С., Лавров В.А. Бандажи и рельсы (Опыт Свердловской дороги) // Локомотив. 1992. № 4. С. 25-26.

05.22.07

А.П. Буйнов д.т.н., А.М. Кислицын

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buynosov@mail.ru, alex_teem@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ГРЕБНЯ БАНДАЖА КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА

В статье описан процесс построения профиля гребня бандажа автоматической измерительной системы на основе использования бесконтактных методов измерения параметров колесных пар локомотива. Полученные технические решения положены в основу создания автоматизированной измерительной системы обмера колесных пар.

Ключевые слова: локомотив, движение, колесная пара, бандаж, гребень, профиль, построение.

Предположение об осевой симметрии колесной пары позволяет строить изображение отражающей поверхности в двумерном пространстве, а именно, в секущей плоскости, проходящей через ось колесной пары и центр датчика ПГ₁ или ПГ₂ [1]. Для левого и правого колеса используются отдельные системы координат. Ось Ox (рис. 1) каждой системы координат перпендикулярна оси колесной пары, касается внутренней поверхности бандажа соответствующего колеса и направлена от его центра. Ось Oy параллельна оси колесной пары, проходит через точку профиля бандажа, соответствующую кругу катания, и направлена от центра оси колесной пары. В данной системе координат положение датчика при движении колесной пары непрерывно изменяется [2].

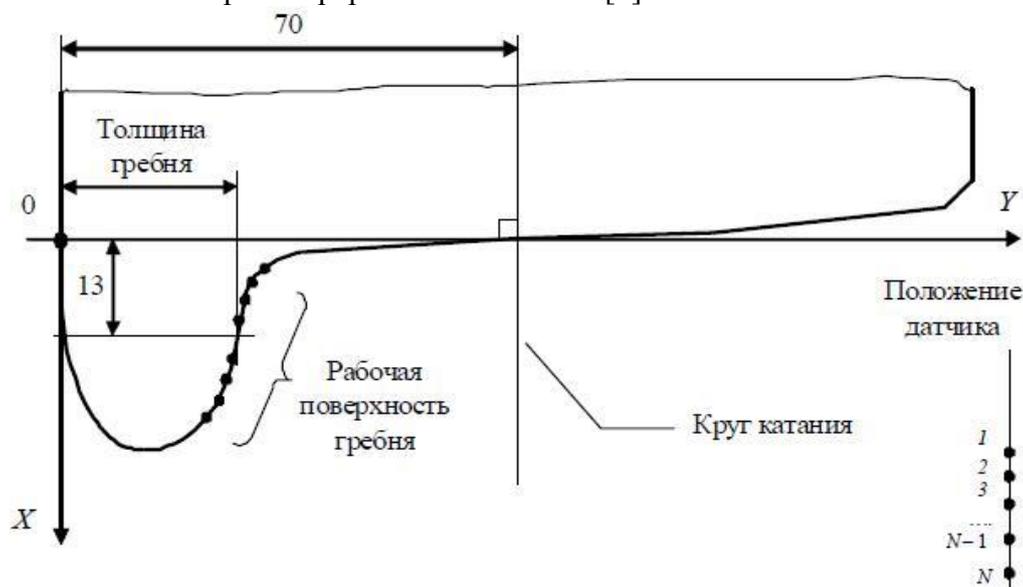


Рис. 1. Осевая симметрия бандажа колесной пары

Исходными данными для построения профиля гребня (помимо двумерных комплексных сигналов каналов ПГ₁ и ПГ₂ [3]) являются массивы отсчетов дальности в каналах ВП, ПКН₁, ПКН₂ и ПК [4] левого и правого колеса. Эти данные используются главным образом при позиционировании датчика в вышерассмотренной системе координат.

Подверженный износу участок гребня бандажа имеет сложную форму, соответственно, при облучении его поверхности с помощью слабонаправленного электроакустического преобразователя [5] возникает несколько отраженных сигналов, которые интерферируют между собой при приеме.

В самом простом случае гребень имеет гладкую поверхность, которая состоит из вогнутого и выпуклого участков (см. рис. 2, а), в этой ситуации имеет место интерференция двух близких по амплитуде и запаздыванию сигналов: один сигнал соответствует отражению от вогнутого участка рабочей поверхности гребня, другой – отражению от выпуклого участка [6].

Только при нахождении электроакустического преобразователя в точке *1* интерференция отсутствует, единственный отраженный сигнал при этом соответствует границе между вогнутым и выпуклым участками поверхности. При других положениях электроакустического преобразователя присутствуют два отраженных сигнала, для которых разность запаздывания увеличивается по мере удаления датчика от оси колеса.

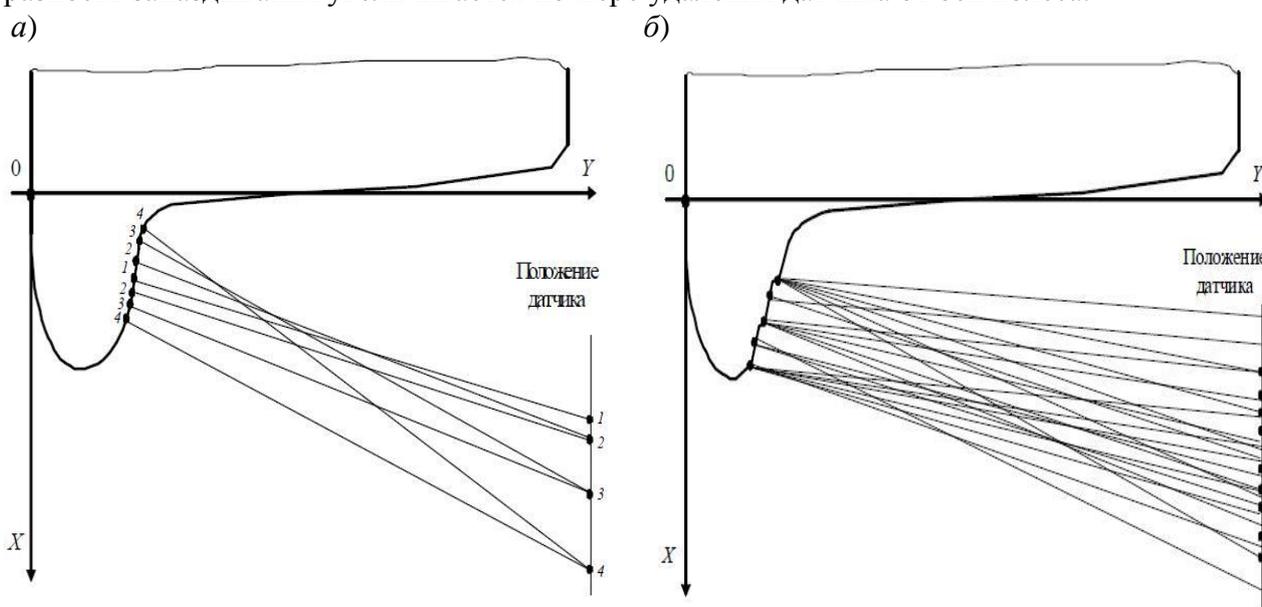


Рис. 2. Интерференция отраженных сигналов при построении профиля гребня колесной пары

Если один из этих сигналов рассматривать как основной, а второй – как паразитный, то возникающие нестационарные линейные искажения в измерительном канале и степень их влияния на точность измерения запаздывания основного сигнала можно оценить с помощью специальных алгоритмов. Результаты такой оценки позволяют сделать вывод о том, что без предварительного подавления паразитного сигнала алгоритм измерения запаздывания будет работать неудовлетворительно. Подавление паразитного сигнала может быть выполнено с помощью метода селекции сигналов с неравными переменными скоростями изменения запаздывания [7–9].

Если далее для каждого момента излучения зондирующего сигнала получить отсчеты дальности до отражателя, аналогично тому, как это сделано в каналах ВП, ПКН₁, ПКН₂ и ПК [10], а также найти соответствующие положения датчика в системе координат, привязанной к бандажу измеряемого колеса [11], то с помощью простых геометрических построений можно восстановить форму выпуклого или вогнутого участка поверхности, в зависимости от того, какой из двух сигналов был принят в качестве основного. Такой способ построения профиля был опробован в ходе работы над измерительной системой и показал достаточно хорошие результаты в тех случаях, когда отражающая поверхность рабочего участка гребня была гладкой [12, 13].

Однако на практике часто встречаются бандажи, гребень которых имеет существенные неровности (риски, заусенцы и др.), причем размер неровностей обычно соизмерим с длиной волны ультразвуковых сигналов. В этом случае наблюдаемая интерференция имеет гораздо более сложный характер (см. рис. 2, б), и рассмотренный выше способ построения профиля, основанный на методах геометрической акустики, работать не может. Поэтому для

построения профиля гребня в этой ситуации используются методы, основанные на волновой теории ультразвукового поля.

С точки зрения волновой теории задача может быть решена исходя из следующих предположений: 1) имеется набор точек двумерного пространства XOY , находясь в которых, датчик сначала излучает зондирующий сигнал, а затем регистрирует принятый отраженный сигнал. Координаты этих точек известны, а соседние точки удалены друг от друга на расстояние не превышающее длину волны ультразвукового колебания. Все точки лежат на прямой $y = y_0 = \text{Const}$; 2) зондирующий сигнал излучается в нулевой момент времени, его форма, а соответственно и спектр, априорно известны. Данный сигнал порождает слабонаправленную ультразвуковую волну, которая распространяется в двумерном пространстве; 3) принятый сигнал представляет собой суперпозицию вторичных волн, дифрагированных от всех точечных источников, являющихся элементами некоторой непрерывной криволинейной границы, и хранится в памяти ПЭВМ в виде массива значений комплексных амплитуд дискретных отсчетов.

Требуется найти отражающую способность отдельных участков непрерывной криволинейной границы, а также ее пространственное положение и форму, которые соответствовали бы суперпозиции вторичных ультразвуковых волн, регистрируемой при расположении электроакустического преобразователя в заданных точках двумерного пространства.

Решение подобного рода задач известно в области геофизики при обработке сейсмических данных [14]. Эффективным способом их решения являются численные процедуры миграции на основе скалярного волнового уравнения, которые были разработаны Джоном Клаербоутом и его коллегами по Стэнфордскому университету в начале 70-х годов XX века [15, 16].

Список литературы

1. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Комплексная информационно-измерительная система технического обслуживания и ремонта колесных пар электровозов в депо // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 103-106.
2. Наговицын В.С., Буйносов А.П., Балдин В.Л. Измерение параметров колесных пар локомотивов. Автоматизированная система : монография. Саарбрюккен (Германия) : Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 244 с.
3. Балдин В.Л., Буйносов А.П. Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник ВЭЛНИИ. 2010. № 2. С. 113-125.
4. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля параметров бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 73-78.
5. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
6. Буйносов А.П., Стаценко К.А., Кислицын А.М. Автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожного подвижного состава // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 2. С. 146-156.
7. Буйносов А.П. Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2010. № 7. С. 52-53.
8. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.
9. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Структурная схема автоматизированной системы обмера колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 125-127.
10. 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.
11. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Бесконтактный метод измерения диаметра колеса при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 116-119.
12. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля диаметра бандажей колесных пар электровозов на основе разработанного электронного прибора // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 179-187.
13. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля параметров колесных пар локомотивов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 11. С. 44-51.
14. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Устройство для контроля диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 147-150.
15. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дисс. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 455 с.
16. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Методы автоматизированного измерения параметров колесных пар при движении электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 174-177.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.Ю. Козаков

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buinosov@mail.ru, mozdokskaya18@mail

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛА

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния применения наноматериала на повышение ресурса бандажей колесных пар моторных вагонов электропоездов.

Ключевые слова: электропоезд, моторный вагон, колесная пара, бандаж, наноматериал, обработка, ресурс, повышение.

Интенсивный износ колесных пар электропоездов – серьезная проблема на сети железных дорог, вызывающая значительные расходы и угрожающая безопасности движения. В настоящее время в России срок службы бандажей колесных пар не превышает 300–400 тыс. км, сократившись с начала 80-х гг. XX века более чем в 2 раза [1, 2].

Поскольку интенсивность износа рельсов и колесных пар зависит от многих факторов, указанную проблему решают комплексно [3, 4]. В частности проведены исследования по оценке эффективности лубрикации зоны контакта колеса с рельсом [5], влияния на величину износа твердости колес и рельсов [6], разности диаметров бандажей [7], применения рекуперативного торможения, перекосов колесных пар, состояния резиновых элементов сайлент-блоков, созданы технические средства оперативного контроля состояния ходовых частей подвижного состава и пути [8, 9].

Колесо моторного вагона состоит из центра спицевой конструкции и сменного бандажа. Колесо прицепного вагона цельнокатаное. Эти отличия вызваны разными условиями работы, колесо моторного вагона подвергается более интенсивному износу из-за передачи через него тягового усилия [10]. Авторами исследовано влияние применения наноматериала – триботехнического состава (ТС) НИОД (нанесение ионного покрытия на детали) на износостойкость гребней бандажей и ресурс колесных пар моторных вагонов электропоездов постоянного тока [11].

ТС НИОД представляет собой мелкодисперсную многокомпонентную сухую смесь, которая предназначена для изменения свойств рабочих поверхностей, в частности, снижения коэффициента трения, в процессе направленной ионной диффузии, давшему название составу НИОД, под воздействием контактных нагрузок. В отличие от лубрикации, рассматриваемый триботехнический состав после обработки не требует присутствия в паре трения.

Для проведения эксплуатационных испытаний на линии авторами разработана технология нанесения ТС НИОД на гребни бандажей колесных пар электропоездов, апробированная на катковой станции кафедры «Электрическая тяга» УрГУПС. Найден оптимальный способ нанесения наноматериала на гребни – в виде наполнителя для угольных стержней. Определена оптимальная длина стержня – 120 мм, которая позволяет эксплуатировать электропоезда до следующей обточки колесных пар без необходимости пополнения состава.

Вид устройства для нанесения на гребни бандажей колесных пар моторных вагонов электропоездов приведен на рисунке.

В результате обработки ТС НИОД на начальном этапе на поверхности гребня бандажа образуется стеклокерамическое покрытие, которое снижает коэффициент трения гребня бандажа и рельса. В процессе эксплуатации под действием высоких давлений, возникающих

между колесом и рельсом, ТС НИОД внедряется в структуру металла, значительно увеличивая износостойкость гребня.

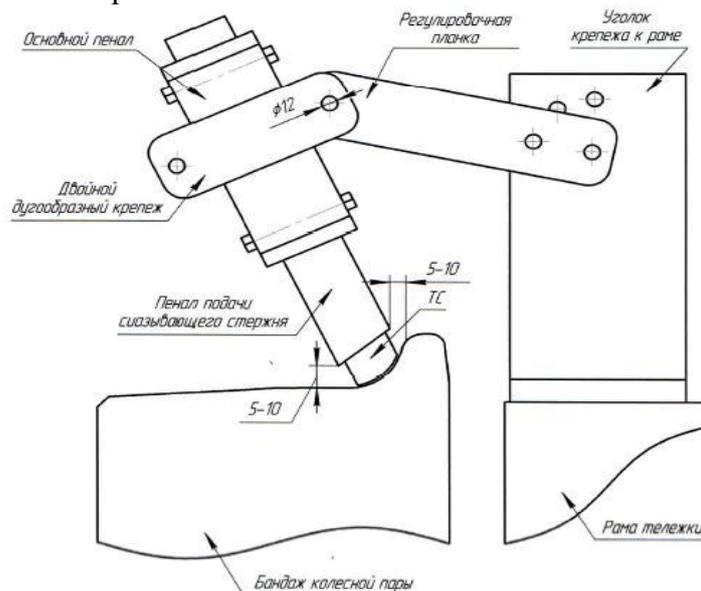


Рис. Общий вид устройства для нанесения ТС НИОД

Разработанная технология обработки гребней ТС НИОД применена в моторвагонных депо Свердловской-пассажиры и Нижний Тагил Свердловской дирекции моторвагонного подвижного состава на моторных вагонах электропоездов ЭР1, ЭР2, ЭТ2 и ЭД2Т.

На практике измерения контролируемых параметров оборудования электровозов производят обычно не чаще, чем на ТР-1, а приработка до первого ТР-1 успевают закончиться, поэтому статистические данные о значениях контролируемых параметров не содержат обычно информации о протекании процесса изнашивания в периоде приработки. Кроме того, допуски на значения контролируемых параметров устанавливаются так, чтобы предупредить наступление периода усиленного износа, поэтому наблюдение за износом заканчивается прежде, чем наступает этот период. Вследствие указанных причин, полученные на практике значения контролируемых параметров и эмпирические зависимости $M_y^*(L)$ и $\sigma_y^*(L)$ бандажей от пробега хорошо описываются линейными функциями, то есть, аппроксимирующая функция имеет вид $y = al + b$.

Значения всех коэффициентов корреляции полученных аналитических зависимостей изменения значений контролируемых параметров бандажей обработанных и необработанных наноматериалом составляют 0,757–0,996, что свидетельствует об адекватности линейной аппроксимации, то есть о достаточно тесной линейной связи контролируемых параметров с величиной пробега L в рассматриваемых депо Свердловской дирекции моторвагонного подвижного состава.

Угловые коэффициенты и свободные члены уравнений регрессии контролируемых параметров бандажей, а также остаточные дисперсии в различных депо с применением и без применения ТС НИОД отличаются между собой. Методами теории статистических гипотез [12, 13] выяснено, имеет ли отклонение уравнений регрессий друг от друга только случайный характер. Числовые характеристики законов распределения контролируемых параметров существенно изменяются с увеличением пробега подвижного состава, бандажи колесных пар которых обработаны и необработаны наноматериалом.

Если заменять изношенный бандаж при наработке (пробеге) не превышающей 90%-го ресурса ($P = 0,1$), то вероятность отказа бандажа в межремонтном периоде не превысит 10 %, а отклонение межремонтного пробега от установленной величины также окажется в пределах ± 10 %, то есть находится в соответствии с относительной погрешностью применяемого в локомотивных депо измерительного инструмента. Поэтому целесообразно ограничить межремонтные пробеги 90%-ым ресурсом [14, 15]. Результаты выполненных

расчетов по прогнозированию ресурса бандажей колесных пар электропоездов приведены в таблице.

Применение ТС НИОД на моторных вагонах электропоездов (ЭР1, ЭР2, ЭТ2 и ЭД2Т) позволило увеличить ресурс бандажей до обточки от 1,5 до 2 раз.

Таблица

Ресурс бандажей колесных пар электропоездов до обточки

90%-ный ресурс бандажей, тыс. км		Увеличение ресурса бандажей, раз
обработанных наноматериалом	без обработки наноматериалом	
Электропоезда серии ЭР1 и ЭР2 депо Свердловск-пассажирский		
158,2	104,9	1,51
Электропоезда серии ЭТ2 депо Свердловск-пассажирский		
148,8	72,6	2,05
Электропоезда депо ЭД2Т Свердловск-пассажирский		
158,2	104,9	1,51
Электропоезда ЭД2Т депо Нижний Тагил		
125,0	61,1	2,04

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Разработанные конструкторско-технологические решения по нанесению состава наноматериала на гребни бандажей моторных вагонов позволили эксплуатировать электропоезда до следующей обточки колесных пар без необходимости пополнения состава.

2. Применение наноматериала на электропоездах (ЭР1, ЭР2, ЭТ2 и ЭД2Т) позволило увеличить ресурс бандажей до обточки от 1,4 до 2,41 раз.

Список литературы

1. Буйносов А.П., Козаков Д.Ю. Анализ отказов узлов электропоездов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 120-123.
2. Буйносов А.П., Козаков Д.Ю. Применение пирамиды Генриха для оценки безопасности движения электропоездов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 178-181.
3. Горский А.В., Буйносов А.П. Анализ износа бандажей // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 46-47.
4. Буйносов А.П. Снизить интенсивность износа гребней // Локомотив. 1995. № 6. С. 31-32.
5. Буйносов А.П., Дибров С.А. Обеспечения эффективного смазывания бандажей локомотивов // Железнодорожный транспорт. 1994. № 11. С. 60-61.
6. Буйносов А.П. Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16-20.
7. Горский А.В., Буйносов А.П., Наговицын В.С., Клинский В.С. Экономичная обточка // Локомотив. 1992. № 4. С. 26-27.
8. Буйносов А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в результате изменения технологии их обточки // Автоматизация и современные технологии. 1992. № 8. С. 23-25.
9. Буйносов А.П. Влияние условий эксплуатации на износ бандажей // Локомотив. 1995. № 1. С. 33-34.
10. Буйносов А.П., Козаков Д.Ю. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов и электропоездов за счет применения наноматериала // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 186-188.
11. Буйносов А.П., Кузьмин К.А. Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25-26.
12. Буйносов А.П., Козаков Д.Ю. Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
13. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
14. Горский А.В., Буйносов А.П., Боярских Г.С., Лавров В.А. Бандажи и рельсы (опыт Свердловской дороги) // Локомотив. 1992. № 4. С. 25-26.
15. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Применение триботехнического состава для уменьшения интенсивности износа гребней колесных пар электроподвижного состава и рельсов // Технология машиностроения. 2014. № 4. С. 47-52.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., И.О. Шепелева

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, byinosov@mail.ru, shepeleva-ira_91@mail.ru

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОВЗОВ

В статье показано, что с увеличением количества возвращенной в контактную сеть электроэнергии возрастает сумма от сэкономленной электроэнергии в стоимостном выражении, но возрастают затраты на обточку гребней бандажей колесных пар электровозов.

Ключевые слова: электровоз, торможение, рекуперация, применение, эффективность, оценка.

При рекуперации происходит возврат электрической энергии в контактную сеть [1]. Но польза от этого процесса не однозначна. При рекуперации происходит снижение межремонтных пробегов, долговечности [2] и ресурса бандажа колеса в целом. Чтобы понять, покрывает ли стоимость от обратно возвращенной энергии затраты на восстановление бандажей колесных пар были проанализированы данные и произведены расчеты для определения экономического эффекта для электровозов приписки к эксплуатационным локомотивным депо Свердловск-сортировочный и Пермь-сортировочная Свердловской дирекции тяги.

Количество обточек бандажей колесных пар одного электровоза определяют по формуле

$$n_{\text{обт.}} = L_{\text{ср.}} / L_{90\%}, \quad (1)$$

где $L_{\text{ср.}}$ – средний пробег электровозов до смены бандажей по депо, тыс. км; $L_{90\%}$ – средний пробег электровозов до обточки [3], тыс. км.

Затраты на обточку колесных пар электровоза:

$$S_{\text{обт.}} = Q C_{\text{обт.}} n_{\text{обт.}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{обт.}}$ – стоимость обточки одной колесной пары, руб.; Q – число колесных пар на электровозе.

Затраты на смену колесных пар на одном электровозе [4]:

$$S_{\text{см.}} = C_{\text{см.}} n_{\text{см.}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{см.}}$ – стоимость смены одной колесной пары, руб.; $n_{\text{см.}}$ – количество смен колесных пар на одном электровозе в год.

В стоимость смены колесной пары входят ее выкатка из-под локомотива, переформирование (ремонт) и постановка на место [5, 6].

Суммарные затраты на восстановление колесных пар для электровоза за год:

$$S = S_{\text{обт.}} + S_{\text{см.}} \quad (4)$$

Удельные суммарные затраты определяются как:

$$C_{\text{б}} = \frac{S}{L_{\text{б}}}, \quad (5)$$

где $L_{\text{б}}$ – ресурс до смены бандажей, тыс. км;

$$L_{\text{б}} = L_{90\%} n_{\text{обт.}} \quad (6)$$

Стоимость возвращенной в контактную сеть электроэнергии:

$$C_{\text{а}} = a S_{\text{а}}, \quad (7)$$

где a – количество возвращенной в контактную сеть электроэнергии на один локомотив за год, кВт·ч.; $S_{\text{а}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Таблица

Результаты расчета затрат на восстановление колесных пар и определение экономического эффекта от применения рекуперативного торможения

Группа выборки локомотивов	$n_{обт.}$	$S_{обт.}$, тыс. руб.	$S_{см.}$, тыс. руб.	$S_{90\%}$, тыс. руб./10 ⁴ км	$S_{эл.}$, тыс. руб.	$S_{уд.}$, тыс. руб.	Э, тыс. руб.
Депо Пермь-сортировочная							
1	3,22	11,04	5,27	110,72	0	16,31	16,31
2	3,59	12,35	5,43	124,03	18,34	17,77	0,57
3	4,60	17,79	6,67	176,49	31,56	24,45	7,11
4	6,59	32,62	7,91	389,50	63,50	42,52	20,98
Итого	18,00	71,79	25,28	780,84	133,40	101,04	32,36
Депо Свердловск-сортировочный							
1	4,20	15,93	5,62	130,00	8,34	21,55	13,21
2	4,50	16,82	6,03	143,05	16,17	22,84	6,68
3	5,10	18,99	6,25	186,08	23,46	25,25	-2,22
4	7,70	38,90	8,59	423,89	95,19	47,49	47,70
Итого	21,50	90,64	26,49	883,03	143,16	117,13	26,03

По результатам расчетов построены графики зависимости стоимости обточек гребней колесных пар и смены колесных пар электровозов ВЛ11 и ВЛ11^М от стоимости возвращенной в контактную сеть электроэнергии, которые представлены на рис. 1 и 2.

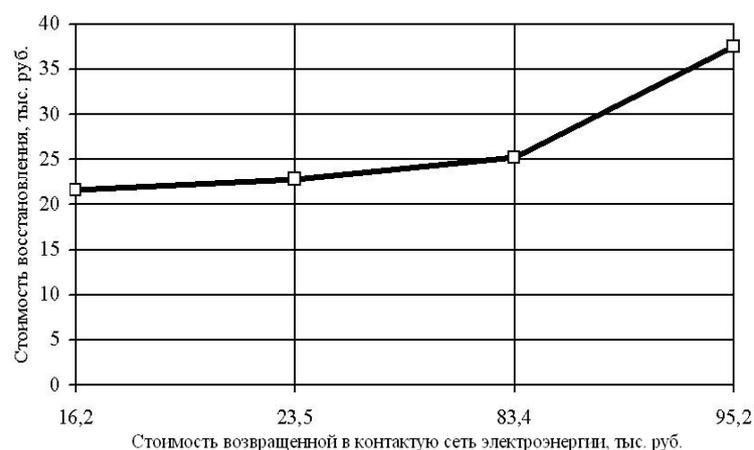


Рис. 1. Зависимость удельных затрат на восстановление колесных пар от стоимости возвращенной в контактную сеть электроэнергии (депо Свердловск-сортировочный)

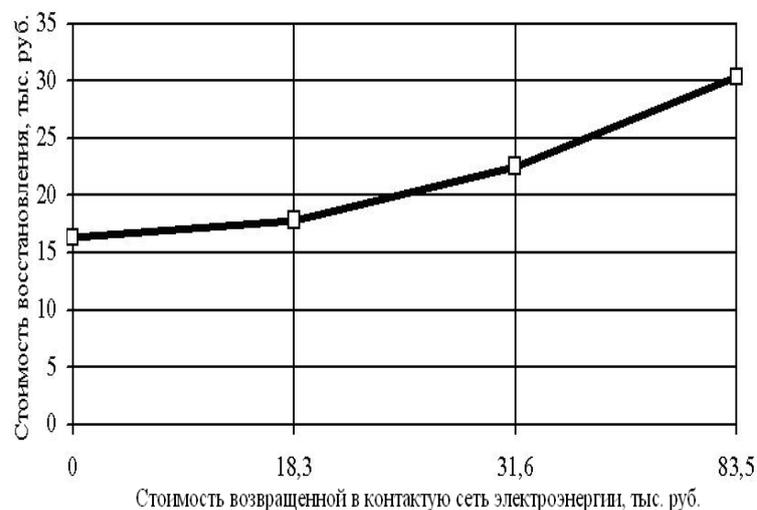


Рис. 2. Зависимость удельных затрат на восстановление колесных пар от стоимости возвращенной в контактную сеть электроэнергии (депо Пермь-сортировочная)

Таким образом, с увеличением количества возвращенной в контактную сеть электроэнергии возрастает сумма от сэкономленной электроэнергии в стоимостном выражении, но возрастают затраты на обточку гребней колес вследствие уменьшения их ресурса. При возврате электрической энергии (использование рекуперативного торможения) на 143 тыс. руб., стоимость обточки колесных пар электровозов серии ВЛ11, ВЛ11^М увеличивается более чем на 107 тыс. руб. (депо Свердловск-сортировочный), по депо Пермь-сортировочная на 133 тыс. руб., стоимость обточки колесных пар электровозов серии ВЛ11, ВЛ11^М увеличивается более чем на 90 тыс. руб. Поэтому, с точки зрения износа рекуперативное торможение неэффективно, но для окончательного вывода необходимо провести экономический анализ на основании комплексных исследований, учитывающих износ как рельсов, так и оборудования всего электровоза. Из опытных поездок на участке Свердловск-Сортировочный – Шаля выяснилось, что при электрическом торможении с токами рекуперации свыше 450 А тормозные усилия концентрируются в головной части поезда, колесные пары занимают перекосное положение в рельсовой колее [7], при этом резко ухудшается вписывание экипажей в кривые, создаются реальные предпосылки повышенного износа гребней бандажей и рельсов [8, 9].

Список литературы

1. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Влияние электрического торможения на износ бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 127-129.
2. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
3. Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А. Математическое моделирование процесса изнашивания бандажей колесных пар // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 1. С. 116-121.
4. Буйносов А.П. Методика определения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Транспорт: наука, техника, управление. 2013. № 2. С. 37-39.
5. 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.
6. Буйносов А.П., Фетисова Н.Г. Влияние материала на износ бандажей колесных пар электровозов и рельсов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 111-113.
7. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. 1994. № 10. С. 39-41.
8. Буйносов А.П., Козаков Д.Ю. Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
9. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Как повысить надежность бандажей // Локомотив. 1999. № 7. С. 36-38.

05.13.06

М.А. Гордеев - Бургвиц

Московский государственный строительный университет,
факультет механизации и автоматизации строительства,
кафедра «Электротехники и электропривода», Москва, dr.gordeev@mail.ru

РАЗРАБОТКА ЦИФРО-АНАЛОГОВОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ШАГАЮЩЕГО ДРАГЛАЙНА

В работе представлены результаты построения системы автоматического управления взаимосвязанными электроприводами мощных шагающих драглайнов МК «Уралмаш», обеспечивающей автоматический подъем и опускание ковша по заданным траекториям и исключающей возникновение аварийных ситуаций, при приближении ковша к стреле и блокам головным и наводки.

Ключевые слова: *драглайн, системы управления приводами, автоматическое транспортирование, ковш.*

В МГСУ ведутся работы по автоматизации мощных шагающих драглайнов [1,2], обеспечивающих автоматический подъем и опускание ковша по заданным траекториям и исключающих заход ковша в аварийные зоны растяжки, переподъема и перетяги, что предупреждает тяжелые аварии и повышает безопасность работы драглайнов. Особенно это стало актуально при создании таких мощных отечественных экскаваторов, как ЭШ 100.120, ЭШ 100.100, ЭШ 65.100, ЭШ 40/85, ЭШ 75.85, ЭШ 25/100, ЭШ 20/90, ЭШ 15/90.

На базе дискретной техники удобно создавать системы, нуждающиеся в периодической переналадке, например, такие как САУ транспортированием ковша драглайна (САУТКД), переналадка которой, зависит от постоянно меняющихся условий работы и может производиться несколько раз в смену. Переналадку такой системы целесообразно производить простым нажатием на кнопку при нахождении ковша в определенной точке рабочего пространства, определяемой технологическим процессом. Была поставлена задача нахождения способа управления удобного для построения САУТК на базе дискретной техники. Анализируя рабочую зону пространственного перемещения ковша в плоскости стрелы, естественно предположить, что удобно в качестве траекторий движения ковша использовать линии, которые выходят из различных точек забоя и сходятся все в зоне у головы стрелы, ограниченной аварийными зонами растяжки и саморазгрузки. Эти линии охватывают все рабочее пространство плоскости стрелы и различаются только крутизной. Эти линии можно описать уравнением вида $Y=AK+B$, где $K < 1$ - угловой коэффициент наклона. В МГСУ был разработан способ построения систем для автоматического транспортирования ковша драглайна [3]. На рис. 1 приведена схема цифро-аналоговой САУ электроприводами драглайна, реализующего данный способ. Устройство (см. рис.1) включает импульсные датчики перемещения 1, 2 валов подъемного и тягового двигателей, углы поворота которых пропорциональны изменению длин канатов. В качестве датчиков используются индукционные импульсные датчики перемещения. Выход импульсного датчика 2 соединен через блок 4 определения направления вращения датчика с блоком синхронизации 5, который предназначен для разделения во времени двух импульсов и исключения возникновения ошибки в результате их наложения. Выход импульсного датчика 1 перемещения вала подъемного двигателя соединен с блоком 6 определения направления вращения датчика 1. Выходные цепи блока 6 подключены к реверсивному кольцевому распределителю 7 и через ключи K_1, K_2 — к блоку синхронизации 5. Реверсивный кольцевой распределитель 7 имеет шесть выходных цепей, посредством которых обеспечивает последовательное распределение входных импульсов. Управляющие цепи ключей K_1, K_2

соединены с выходом ячейки «ИЛИ-НЕ», на вход которой подключены через ячейки «И₁», «И₂», «И₃» три четных выхода реверсивного кольцевого распределителя 7. Вторые входы ячеек «И₁», «И₂», «И₃» подключены к задатчику крутизны траекторий 8, который имеет четыре фиксированных положения и предназначен для подачи опорного напряжения на ячейки «И₁», «И₂», «И₃».

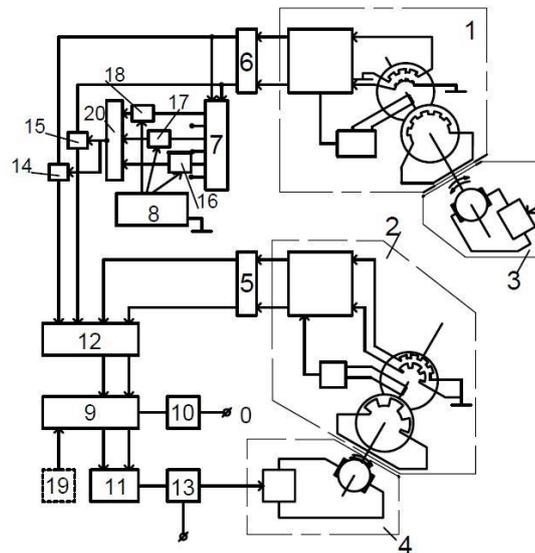


Рис. 1 - Схема цифро-аналоговой САУ электроприводами драглайна

В зависимости от того, на каком из четырех положений установлена ручка задатчика крутизны траекторий 8, подключается определенная группа ячеек «И» (в положении 0 опорное напряжение не подается ни на какую ячейку; в положении I опорное напряжение подается на ячейку «И₁», в положении II— на ячейку «И₁» и «И₂», в положении III— на все три ячейки «И»). Импульсы датчика I поступают на вход блока синхронизации 5 только в том случае, если ключи K_1 и K_2 открыты, что зависит от положения ручки задатчика крутизны траекторий 8. Если ручка задатчика находится в положении 0, то ни одна из трех ячеек «И₁», «И₂», «И₃» не пропускает импульсы с распределителя 7 на входы элемента «ИЛИ-НЕ», а если ни на одном входе элемента «ИЛИ-НЕ» нет сигнала, то на его выходе имеется сигнал, следовательно, ключи K_1 и K_2 открыты и все импульсы проходят на вход блока синхронизации. Если ручка задатчика 8 находится в положении I, то каждый второй импульс из шести обеспечивает появление на выходе ячейки «И₃» сигнала, который попадает на ячейку «ИЛИ-НЕ», а следовательно ключи K_1 и K_2 закрываются. Таким образом, в этом положении ручки задатчика каждый второй импульс из шести не попадает на вход блока синхронизации. При установке ручки задатчика 8 в положение II, каждый второй и четвертый импульсы из шести обеспечивают соответственно появление сигнала на выходе ячеек «И₁» и «И₂», а следовательно запирающие ключи K_1 и K_2 . Таким образом каждый второй и четвертый импульс из шести не попадает на вход блока синхронизации 5. Если ручка задатчика 8 находится в положении III, то каждый второй, четвертый и шестой импульсы из шести обеспечивают соответственно появление сигнала на выходе ячеек «И₁», «И₂», «И₃», а следовательно, и запирающие ключи K_1 и K_2 , т.е. каждый второй, четвертый и шестой импульсы из шести не попадают на вход блока синхронизации 5. В последнем режиме половина импульсов с датчика 1 не попадают на вход блока синхронизации 5. Выходы блока синхронизации 5 соединены со входами блока суммирования, представляющего собой реверсивный счетчик импульсов 9. Реверсивный счетчик импульсов 9 предназначен для алгебраического суммирования импульсов, поступающих с датчиков 1 и 2, и имеет узел задания 10 нулевого положения, установленный в кабине на пульте управления машиниста. Узел задания 10 предназначен для задания положения траектории подъема ковша в рабочей зоне относительно стрелы, путем установки нулевого (исходного) состояния счетчика 9. Узел задания представляет собой переключатель, который целесообразно для повышения

надежности в простейшем случае для ручного управления выполнить на базе магнитоуправляемого герметизированного контакта.

Установка нулевого (исходного) состояния счетчика 9 производится подачей нулевого потенциала на его вход. Выход реверсивного счетчика 9 соединен со входом преобразователя 2 код-напряжение, предназначенного для преобразования числа импульсов счетчика 9 в соответствующее напряжение. Выходные цепи преобразователя 2 код-напряжение соединены с управляющими цепями привода тяги 12 через ключ 13.

Работает устройство следующим образом. С помощью узла задания нулевого положения 10, установленного на пульте управления в кабине, машинист исходя из условий работы задает положение траектории транспортирования ковша относительно стрелы. Для этого он ставит ковш в желаемую точку совпадения траекторий и устанавливает нулевое (исходное) состояние реверсивного счетчика импульсов 9. Крутизну траектории подъема ковша машинист задает с помощью задатчика крутизны траекторий 8, который расположен на пульте управления и имеет четыре фиксированных положения. Для задания желаемой крутизны траектории машинист устанавливает ручку задатчика крутизны траекторий 8 в одно из положений. С увеличением порядкового номера положения увеличивается крутизна выбранной траектории.

В начале цикла подъема ковша привод подъема включается на максимальную скорость, и с помощью ключа 13 замыкается цепь выхода преобразователя код-напряжение с управляющими цепями привода тяги. В процессе подъема устройство автоматически обеспечивает движение ковша по выбранной траектории без вмешательства машиниста. При отклонении ковша от заданной траектории, а это может произойти в процессе уменьшения длины подъемного каната (привод подъема обеспечивает подъем ковша) либо вследствие изменения скорости изменения длины подъемного каната, на выходе реверсивного счетчика 9 появляются выходные сигналы, которые обеспечивают появление выходного сигнала с преобразователя 2 код-напряжение. Этот сигнал поступает в управляющие цепи привода тяги, который, изменяя длину тягового каната, возвращает ковш на заданную траекторию. Чем дальше ковш уйдет с заданной траектории, тем больший по величине сигнал будет подаваться в управляющие цепи привода тяг. Система может управлять приводом тяги по определенной программе, для чего реверсивный счетчик импульсов 9 соединяется с программным устройством 14. Система характеризуется простотой эксплуатации за счет сведения к минимуму переналадочных работ, которые осуществляются простым нажатием на кнопку узла задания нулевого положения 10.

Список литературы

1. Авторское свидетельство на изобретение № 1433100, 22 июня 1988 // *Ткаченко В.Я., Гордеев М.А., Чанов Л.Г., Финагенова Ю.В., Ольховиков В.В., Березин В.В., Холкин В.А., Ермолин В.В.*
2. *Гордеев - Бургвиц М.А.* Экспериментальные исследования САУ электроприводом тяги автоматического транспортирования ковша в функции нагрузок приводов на действующем драглайне ПО «УРАЛМАШ». *Механизация строительства.* 2012. № 12 (822). С. 24 – 25.
3. *Гордеев - Бургвиц М.А.* Цифро-аналоговая САУ транспортированием ковша шагающего экскаватора // *Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: труды XV Москов. междунауч.-техн. конф., Москва, 2012г.: Изд-во МГАВТ, 2011. С. 208-211.*

05.13.06

М.А. Гордеев – Бургвиц

Московский государственный строительный университет,
факультет механизации и автоматизации строительства,
кафедра «Электротехники и электропривода», Москва, dr.gordeev@mail.ru

СПОСОБ ВЗАИМОСВЯЗАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДЪЕМА И ТЯГИ ДРАГЛАЙНА В ФУНКЦИИ НАГРУЗОК ПРИВОДОВ

В работе рассмотрен способ независимого управления группами электродвигателей, обеспечивающий позиционное управление движением по заданным траекториям ковша мощного шагающего драглайна МК «Уралмаш» в функции нагрузок приводов для повышения производительности и безопасности экскаватора ковша путем исключения захода ковша в аварийную зону растяжки ковша.

Ключевые слова: драглайн, системы управления приводами, автоматическое транспортирование, ковш.

В МГСУ ведутся работы по повышению производительности и безопасности работы мощных шагающих экскаваторов - драглайнов МК «Уралмаш» созданием систем автоматического управления рабочим циклом экскаватора [1,2,3].

Перемещение ковша драглайна в вертикальной плоскости осуществляет машинист, независимо управляя двумя приводами подъема и тяги. При подъеме груженого ковша машинист проводит его по траектории, достаточно близкой к стреле, чтобы не допустить саморазгрузки ковша и удара по близкому к ковшу отвалу. В тоже время приближение ковша к стреле должно быть ограничено во избежание возможных ударов о стрелу или возникновения недопустимых нагрузок в стреле. Известны способы автоматического управления перемещения ковша, позволяющие получить приемлемые траектории подъема груженого ковша. Все они основаны на том, что один из приводов подъема, является ведущим, а второй привод подчиняется ему. Так, например, известны способы управления перемещения ковша непосредственно по координатам, в качестве которых используют длины канатов [2,3,4]. Недостатком этих способов является необходимость использования дополнительных специальных датчиков длин канатов, что усложняет построение системы и понижает ее надежность. Наиболее прогрессивным техническим решением к описанным, представляется способ управления электроприводами в процессе транспортирования ковша, основанный на измерении нагрузок электроприводов подъема и тяги и управления электроприводом тяги в функции величины указанных нагрузок, т.к. он не требует специальных дополнительных датчиков, поскольку усилия в приводах можно получить из статической составляющей токов приводов. При этом необходимо исключить влияние загрузки ковша на точность работы системы управления.

В МГСУ разработан способ взаимосвязанного управления электроприводами подъема и тяги драглайна в функции нагрузок приводов для автоматического транспортирования ковша в рабочей зоне, цель которого – повышение надежности, производительности и упрощение управления. Поставленная цель достигается тем, что в способе взаимного регулирования электроприводов подъема и тяги экскаватора-драглайна, заключающемся в измерении нагрузок электроприводов подъема и тяги и управления электроприводом тяги в функции величины указанных нагрузок, дополнительно определяют отношение величины нагрузки привода тяги к величине нагрузки привода подъема и управляющий сигнал для привода тяги формируют как разность полученного отношения и его заданного значения. При этом заданное значение выбирают в пределах 0,3-0,65 отношения моментов нагрузок двигателей. На рис. 1 приведена схема устройства, реализующего найденный способ взаимосвязанного

управления электроприводами подъема и тяги драглайна в функции нагрузок приводов для автоматического транспортирования ковша в рабочей зоне.

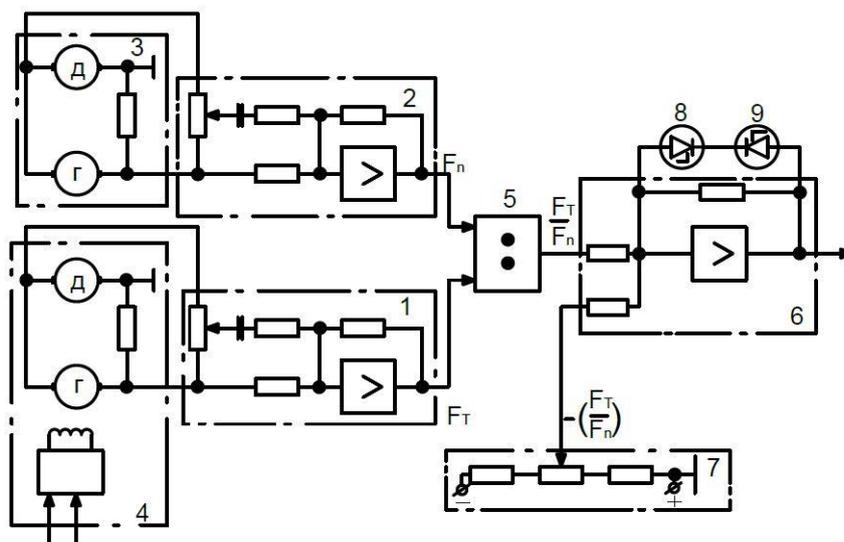


Рис. 1- Схема устройства, реализующего способ взаимосвязанного управления электроприводами подъема и тяги драглайна в функции нагрузок приводов для автоматического транспортирования ковша

Нагрузки двигателей (или механизмов) измеряют либо при помощи силоизмерительных устройств, либо косвенно, путем выделения статического тока. Затем, если необходимо, преобразуют в стандартную форму и подают на делительное устройство, где вычисляют их отношения. Это отношение сравнивают с заданием и подают в систему регулирования скорости ведомого двигателя - двигателя тяги экскаватора-драглайна. Ведущему двигателю, в данном случае двигателю подъема, задают требуемую скорость, а двигатель тяги будет изменять свою скорость так, чтобы поддерживать постоянные отношения усилий. В начале цикла подъема привод подъема включают на максимальную скорость, чем обеспечивается минимальная длительность цикла, а управление привода тяги по предлагаемому способу обеспечивает движение рабочего органа экскаватора – драглайна по заданной траектории подъема. Устройство, реализующее данный способ, состоит из датчика нагрузочных сил 1 и 2 соответственно приводов тяги 3 и подъема 4. Выход датчика 1 нагрузочной силы F_T привода тяги подключен ко входу делителя, а выход датчика 2 нагрузочной силы F_n привода подъема – ко входу делителя делительного устройства 5, выход которого соединен с одним из двух входов суммирующего операционного усилителя 6, второй вход которого соединен с выходом задатчика 7 положения траектории транспортировки груза, а выход усилителя подключен к управляющей цепи привода тяги 3. В цепи обратной связи операционного усилителя 6 включены стабилитроны 8 и 9, ограничивающие выходное напряжение усилителя допустимым значением управляющего сигнала привода тяги. Устройство работает следующим образом. Положение траектории транспортировки ковша задается с помощью задатчика 7, выходное напряжение которого соответствует заданному значению отношения нагрузочных сил приводов тяги и подъема, а знак этого напряжения противоположен знаку выходного напряжения делительного устройства 5, пропорционального действительному значению этого отношения F_T/F_n при транспортировке груза. Отношение указанных сил определяется зависимостью $F_T/F_n = \cos(\alpha+\beta)/(Y-\alpha)$, где α -угол наклона стрелы к горизонту, а Y и β – углы между осью стрелы и канатами тяги и подъема. Это отношение не зависит от веса ковша, а его постоянное значение однозначно определяет положение траектории ковша при его транспортировке. Выбором соответствующего выходного напряжения задатчика 7, пропорционального $(F_T/F_n)_z$, можно задать любую траекторию транспортировки. В начале транспортировки ковша из любой точки забоя привод включается на максимальную скорость, обеспечивая минимальную длительность транспортировки, а устройство

управления приводом тяги автоматически обеспечивает движение ковша по заданной траектории, не требуя вмешательства машиниста. При появлении отклонения ковша от заданной траектории, например, в начале транспортировки, действительное значение отношения F_T/F_P , определяемое с помощью датчиков нагрузочных сил 1 и 2 и делительного устройства 5, отличается от заданного значения этого отношения $(F_T/F_P)_3$, и на выходе суммирующего операционного усилителя 6 появляется сигнал, который изменяет скорость привода тяги так, что ковш 13 возвращается на заданную траекторию. При отсутствии дополнительных ограничений, например, близкого к стреле отвала, можно с помощью задатчика 7 задать траекторию, удаленную от стрелы, например, соответствующую $(F_T/F_P)_3 = 0,3$, а при близком к стреле отвале выбрать более близкую к стреле траекторию, соответствующую большим значениям $(F_T/F_P)_3$. Значению $(F_T/F_P)_3 = 0,5$ соответствует универсальная траектория, обеспечивающая быстрый выход ковша из узкого забоя и дальнейшую его транспортировку в зоне выше наиболее близкого реального возможного положения отвала. Таким образом, устройство обеспечивает максимальную производительность и повышает надежность управления, исключая возможность захода ковша в аварийные зоны при всех реально возможных ограничениях. Описанный способ был испытан на действующем экскаваторе [5].

Список литературы

1. Гордеев-Бургвиц М.А. Безопасность рабочего процесса мощных шагающих экскаваторов-драглайнов «Уралмашзавода». // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: труды Междун. науч.-техн. конф., посвященной 90-летию МГСУ-МИСИ 19-21 октября 2011: Изд-во МГСУ, 2011. С.402-405.
2. Гордеев-Бургвиц М.А.. Цифро-аналоговая САУ транспортированием ковша шагающего экскаватора // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: труды XV Москов. междун. науч.-техн. конф., Москва, 2012 г.: Изд-во МГАВТ, 2011. С. 208-211.
3. Гордеев-Бургвиц М.А.. Разработка САУ транспортированием ковша шагающего экскаватора в функции длин канатов // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: труды XV Москов. междун. науч.-техн. конф., Москва, 2012 г.: Изд-во МГАВТ, 2011. С.211-213.
4. Гордеев-Бургвиц М.А.. Нахождение алгоритма для управления взаимосвязанными электроприводами в режиме автоматического управления транспортированием ковша мощного шагающего экскаватора-драглайна // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: труды Междун. науч.-техн. конф., посвященной 90-летию МГСУ-МИСИ 19-21 октября 2011: Изд-во МГСУ, 2011. С. 535-538.
5. Гордеев-Бургвиц М.А. Экспериментальные исследования САУ электроприводом тяги автоматического транспортирования ковша в функции нагрузок приводов на действующем драглайне ПО «УРАЛМАШ». Механизация строительства. 2012. № 12 (822). С. 24 – 25.

05.08.00

А.Ю. Дуженко

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, кафедра маневрирования и управления судном, Санкт-Петербург, duzhenko.arthur@mail.ru

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКИХ СУДОВ, ПЕРЕВОЗЯЩИХ ОПАСНЫЕ ГРУЗЫ

Высокая рентабельность и возможность безопасной доставки различных грузов сделали морские перевозки опасных грузов широко распространенным способом доставки. Для минимизации риска от перевозки опасных грузов необходимо четко следовать и выполнять все необходимые правила и соблюдать технические условия, предъявляемые к судам, перевозящим опасные грузы. В статье рассмотрены важнейших технические характеристики, судов, перевозящих опасные грузы.

Ключевые слова: *опасный груз, транспортировка, морские суда, технические характеристики, международные перевозки, грузовое помещение, контейнеровоз, ролкер.*

Роль морского транспорта в объеме перевозок опасных грузов крайне высока. Высокая рентабельность и возможность безопасной доставки различных грузов сделали морские перевозки опасных грузов широко распространенным способом доставки. Сегодня на морских судах можно перевозить легковоспламеняющиеся и взрывчатые грузы по самым низким тарифам. Вместе с тем, для минимизации риска от перевозки опасных грузов необходимо четко следовать и выполнять все необходимые правила и соблюдать технические условия, предъявляемые к судам, перевозящим опасные грузы. Этим и объясняется актуальность исследования.

Таким образом, целью исследования является обобщение и анализирование важнейших технических характеристик, морских судов, перевозящих опасные грузы.

Каждое судно имеет свои особые характеристики грузовых помещений в зависимости от их удельной грузоместимости, места расположения, наличия и производительности вентиляционной системы и т. д.

Трюмы контейнеровозов океанского плавания, перевозящих опасные грузы по своей конструкции имеют вертикальные направляющие для установки и крепления контейнеров. Общий коэффициент раскрытия палуб составляет 80-85%, что достигается за счет устройства парных или тройных крышек люков по ширине [1]. Крышки трюмов понтонного типа позволяют удобно размещать контейнеры на палубе.

Для защиты палубных контейнеров от воздействия внешней среды на судах, где высота надводного борта не превышает 8 м, делается удлиненный полубак или специальный отбойный козырек [2].

С точки зрения обеспечения безопасности перевозки опасных грузов, наиболее сложной проблемой для контейнеровозов является обеспечение соответствующей остойчивости судна при различных вариантах загрузки. На конструкцию корпуса контейнеровоза оказывает влияние много причин. Так, ящичная форма трюмов приводит к большой потере кубатуры, поэтому удельная грузоместимость достигает 2,5-3 м³. [3]. На крупнотоннажных контейнеровозах общая вместимость топливных цистерн достигает 10-15 тыс. м³, а объем балластных цистерн — 15 тыс. м³ и более [4]. Для размещения топлива и воды используются не только танки двойного дна, но и бортовые цистерны. Расстояние между двойными бортами в районе грузовых трюмов составляет 2,5-4,5 м. [5]. Средние бортовые цистерны используются для балласта, а нижние — для балласта и топлива. Общая вместимость балластных танков на контейнеровозах составляет от 20 до 40% дедвейта[6]. На выход в рейс

заполняется от 50 до 70% вместимости балластных танков, а остальные заполняются по мере расхода топлива.

Увеличение грузоподъемности контейнеровозов происходило за счет высоты надводного борта, которая в ряде случаев достигала 12 м. [7]. Размещение контейнеров в трюмах обычно производится в 7-10 рядов по ширине и 6-9 ярусов по высоте, а на палубе — до 13 рядов по ширине и в 3-5 ярусов по высоте.

При перевозке опасных грузов широко используются океанские грузовые ролкеры. Это многопалубные грузовые лайнеры с избыточным надводным бортом и большой удельной грузоподъемностью, приспособленные для грузовой обработки методом наката через кормовую, носовую и бортовую аппарели. Как правило, это трех-, пятипалубные суда вместимостью от 30 тыс. до 60 тыс. м³. [8]. Учитывая сложную структуру обслуживаемого грузопотока, суда имеют комбинацию двух видов грузовых помещений: верхний твиндек и трюм высотой 3-3,5 м, что обеспечивает размещение контейнеров и других средств укрупнения в один ярус; грузовые помещения на главной палубе и непосредственно под главной палубой высотой 5-6,5 м. [9]. Высота этих помещений позволяет размещать в них крупногабаритные грузы.

За счет комбинации различных типов грузовых помещений по высоте от 2 до 6,5 м и оборудования подъемных палуб на ролкерах обеспечивается возможность максимального охвата грузопотока по номенклатуре и лучшего использования грузоподъемности судна. Суда зачастую строятся с двухвальной энергетической установкой, скорость судна колеблется в пределах 20-23 уз, иногда достигает 26 уз. На морских линиях используются мало- и среднетоннажные двухпалубные ролкеры вместимостью до 10-15 тыс. м³. Так как эти суда рассчитаны на перевозку дорожных трейлеров и габаритных грузов, то высота их грузовых помещений достигает иногда 7 м. [10]

В целом при перевозке опасных грузов, ролкеры получили более широкое распространение, чем узкоспециализированные контейнеровозы.

Для перевозки опасных грузов, также используются суда двойной предназначенные для перевозки двух различных категорий грузов с использованием в обоих случаях или полной грузоподъемности, или полной грузоподъемности.

Возможность или невозможность размещения опасных грузов с различными свойствами определяется специальными правилами МОПОГ [11].

Несовместимые опасные грузы в зависимости от возможных условий и результата их взаимодействия должны быть разделены на судне определенным расстоянием, одной или несколькими водонепроницаемыми огнестойкими переборками или палубами либо их комбинацией в зависимости от их конструктивных особенностей.

При загрузке опасного груза в закрытые грузовые помещения необходимо выполнить следующие условия: груз должен быть отделен от жилых, служебных и машинных помещений и источников тепла на расстояние, указанное в КТРП для данного груза; грузы класса 7 должны размещаться на максимально возможном, но не меньшем указанного в разд. 17 Правил МОПОГ расстоянии от жилых служебных и машинных помещений; опасные грузы рекомендуется размещать так, чтобы к ним оставался свободный доступ для контроля их состояния при перевозке и ликвидации аварии; грузы в картонной или другой влагонепроницаемой упаковке не должны размещаться на открытой палубе, если они не помещены в закрытые укрупненные единицы или лихтеры.

При погрузке грузов, характеризующихся дополнительными видами опасности, должны выполняться также требования для классов, соответствующих каждому из дополнительных видов опасности. В зависимости от свойств, вида и степени опасности груза технологический режим должен обеспечивать безопасность перевозки и сохранность груза.

Для предотвращения опасного повышения температуры груза должно производиться вентилирование закрытых грузовых помещений.

Для предотвращения опасного нагрева грузов в упаковке, размещенных на открытой палубе, должны применяться навесы или укрытия. Между поверхностью навеса и грузом должно оставаться свободное пространство высотой не менее 100 мм [12].

Грузовые помещения с грузами, способными выделять воспламеняющиеся или ядовитые пары, должны регулярно вентилироваться с учетом загазованности конкретного трюма.

Для предотвращения увлажнения гигроскопичных грузов в мешках, тюках и кипах грузовые помещения должны вентилироваться в соответствии с конкретными гидрометеорологическими условиями на переходе судна морем.

Список литературы

1. *Александров М.Н.* Судовые устройства. / М.Н. Александров. – Ленинград.: Судостроение, 1988. – 372 с.
2. *Очеретяный А.А.* Конструкции и техническая эксплуатация контейнеровозов. / В.А. Очеретяный. – Севастополь: Издательство Сев НТУ, 2004. – 87 с.
3. *Мельник В.Н.* Эксплуатационные расчеты мореходных качеств судна / В.Н. Мельник, В.Г. Сизов, В.В. Степанов – М.: ЦРИА "Морфлот", 1979. – 52 с.
4. *Плявин В.И.* Морские перевозки опасных грузов. // Информационный морской журнал. – СПб, 2010. – С. 76-81.
5. *Мельник В.Н.* Эксплуатационные расчеты мореходных качеств судна / В.Н. Мельник, В.Г. Сизов, В.В. Степанов – М.: ЦРИА "Морфлот", 1979. – 52 с.
6. *Балацкий Л.Т., Бегагоен Т.Н.* Дейдвудные устройства морских судов / Л.Т. Балацкий, Т.Н. Бегагоен.- М.: Транспорт, 2003. – 192 с.
7. *Баскаков С.П.* Перевозка опасных грузов / С.П. Баскаков – М.: Информ, 2001 – 152 с.
8. *Хайдуков О.П., Трусов А.С., Кузнецов Е.В.* Системы инертных газов на танкерах и их эксплуатация / О.П. Хайдуков, А.С. Трусов, Е.В. Кузнецов. – Новороссийск: НГМА, 2007. – 116 с.
9. *Донцов С.В.* Основы теории судна. / С.В. Донцов. Учебное пособие. – Одесса: Издательство мореходного училища им. А.И. Маринеско ОНМА, 2013. – 189.
10. *Белинская Л.П., Сенько Г.А.* Грузоведение и складское дело на морском транспорте / Л.П. Белинская, Г.А. Сенько.– М.: Транспорт, 1990.- 230 с.
11. Приказ Минморфлота СССР от 03.05.1989 N 56 О введении в действие Правил морской перевозки опасных грузов (Правила МОПОГ) РД 31.15.01-89 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.bestpravo.ru/federalnoje/hj-dokumenty/v3w.htm>. (дата обращения 01.08.2014)
12. *Ивановский И.П.* Некоторые аспекты перевозки опасных грузов // Информационный морской журнал. – СПб, 2008. – С. 90-93.

05.13.01

И.А. Егерова

Тверской государственной технической университет, кафедра Информационных систем,
г. Тверь, common@tstu.tver.ru

ПОДХОД К СИСТЕМАТИЗАЦИИ НАУЧНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕРВИСОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЫ

В статье приводится обоснование целесообразности использования основных принципов теории нечетких систем при выборе решений в реестрах и каталогах научно-вычислительных сервисов. Представлен алгоритм систематизации сервисов распределенной среды. Продемонстрирован результат применения практической реализации алгоритма.

Ключевые слова. Систематизация, научно-вычислительные сервисы, распределенные системы, поиск информации, теория нечетких систем.

Введение.

При инженерном моделировании процессов различной природы, конструировании исследуемых областей, автоматизации вычислительных задач, разработке проектных решений и т.д. все большее применение находят компьютерные инфраструктуры, основанные на концепции облачных вычислений. Как правило, распределенные среды ориентированы на поддержку исследований в областях, объединенных тематическими научными направлениями [1-2]. Для обеспечения доступа пользователей к сервисам и пакетам, содержащимся в распределенных средах, разработан ряд тематических информационных каталогов [3-4].

Запрос к системе часто невозможно четко сформулировать, ключевые слова могут не совпадать с заранее заданным перечнем термов в семантическом описании сервиса. Невозможно также однозначно указать критерии, на которых базируется поиск информации. Для того чтобы избежать ограничения доступа к полному объему информации, содержащейся в каталогах научно-вычислительных сервисов распределенных сред, целесообразно представлять запрос к системе в качественном виде, кроме того такая информация лучше формализуется с помощью нечетких множеств.

Постановка задачи систематизации научно-вычислительных сервисов.

Пусть имеется распределенная среда, содержащая набор научно-вычислительных сервисов, применение которых связано с решением научных и прикладных задач. Пользователь формирует запрос к системе с формулировкой подлежащей к решению задачи. Система обращается к каталогизированному набору сервисов с целью сформировать ранжированный перечень возможных альтернатив. При этом предполагается, что число шагов отбора сервисов фиксированное.

Задача состоит в разработке алгоритма функционирования системы, позволяющего формировать результатный перечень научно-вычислительных сервисов, максимально удовлетворяющий запросу за фиксированное число шагов принятия решения.

Алгоритм систематизации научно-вычислительных сервисов распределенной среды.

Пусть множество $X=\{x\}$ – каталог сервисов, содержащий сервисы $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Шаг 1. Автор, включающий в каталог информацию, регистрирует сервис с помощью каталогизационной карты. Каждому $x_n \in X$ соответствует набор характеризующих атрибутов:

$$x_j \rightarrow \begin{pmatrix} a_1(x_j) \\ a_2(x_j) \\ \dots \\ a_k(x_j) \end{pmatrix},$$

где $j=1 \dots n$.

Например, минимальный набор атрибутов при описании математического сервиса будет выглядеть следующим образом [5]: название математического сервиса; описание математического сервиса; описание вычислительной процедуры; относительная вычислительная сложность задачи и т.д.

Шаг 2. Каждому $x_n \in X$ соответствует семантическое описание сервиса, характеризуемое семантическими единицами:

$$x_j \rightarrow \begin{pmatrix} s_1(x_j) \\ s_2(x_j) \\ \dots \\ s_m(x_j) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $j=1 \dots n$.

Шаг 3. Пользовательский запрос к системе, формулируемый в неформализованном виде можно представить в следующем виде:

$$L = L_1 \cup L_2 \cup L_3 \cup L_4,$$

где L_1 – множество термов из поисковой строки, L_2 – дополнительное множество синонимов, схожих по значению и близких по смыслу слов; L_3 – дополнительное множество ассоциативных слов и словосочетаний; L_4 – множество переведенных ключевых слов в зависимости от настроек подключения словарей (при формировании множеств используются словари автоматической обработки текста).

Обозначим множество семантического описания, формируемое на основе пользовательского запроса как $L = \{l_1(s_j), l_2(s_j), \dots, l_q(s_j), j = 1 \dots m\}$.

Шаг 4. При выборе наиболее подходящего для решения поставленной задачи сервиса необходимо использовать заданное множество параметров $p_j \in P$, оценивающих содержание сервисов и их функциональность. Пользователь устанавливает приоритетные требования к сервисам $P = \{p_1(a_j), p_2(a_j), \dots, p_r(a_j), j = 1, \dots, k\}$.

Шаг 5. Для простоты обозначим пересечение нечетких множеств A и P как $Y = A \cap P$, пересечение множеств S и L как $H = S \cap L$.

Для построения функции принадлежности μ_Y множества Y каждому $y_i(x_j)$ поставим в соответствие число $\mu_{y_i}(x_j)$, где $i=1, \dots, k, j=1, \dots, n, 0 \leq \mu_{y_i}(x_j) \leq 1$. Аналогичным образом, для построения функции принадлежности μ_X множества X каждому $h_i(x_j)$ поставим в соответствие число $\mu_{h_i}(x_j)$, где $i=1, \dots, l, j=1, \dots, n, 0 \leq \mu_{h_i}(x_j) \leq 1$. При $\mu_{y_i}(x_j) = 0$ и $\mu_{h_i}(x_j) = 0$ - по данному описанию сервис точно не подходит, при $\mu_{y_i}(x_j) = 1$ и $\mu_{h_i}(x_j) = 1$ - сервис точно подходит, при $0 < \mu_{y_i}(x_j) < 1$ и $0 < \mu_{h_i}(x_j) < 1$ - промежуточные варианты.

Будем считать, что решение – это сформированное в процессе функционирования многошаговой системы поиска альтернатив множество сервисов D , максимально отвечающее поставленным в запросе условиям.

Тогда положим $\mu_Y(x_n) = \min\{\mu_{y_k}(x_n), \dots, \mu_{y_k}(x_k)\}$ и $\mu_H(x_n) = \min\{\mu_{h_l}(x_n), \dots, \mu_{h_l}(x_l)\}$.

Следуя формуле Беллмана-Заде [6] будем представлять решение как слияние целей и ограничений. Тогда результатом решения поставленной задачи является множество $D = Y \cap H$, таким образом, цель совпадает с решением. Таким образом, для поиска подходящего научно-вычислительного сервиса из множества D выбирается тот сервис, у которого функция принадлежности будет наибольшей

$$\mu_D(x) = \min\{\mu_Y(x), \mu_H(x)\}.$$

Тогда оптимальное решение сводится к отысканию

$$x^* = \arg \max_x \mu_D(x).$$

Сформированный перечень научно-вычислительных сервисов целесообразно ранжировать в соответствии с алгоритмом семантического ранжирования результатов поиска документов [7].

Пример практической реализации алгоритма систематизации

В качестве примера использования предложенного подхода к систематизации научно-вычислительных сервисов рассмотрим каталог информационных сервисов для решения задач в области дифференциальных уравнений. При запросе «Периодические и близкие к ним решения дифференциальных уравнений» система, используя словари синонимов, близких по значению и смыслу слов, осуществляет запрос по таким тематикам как «динамические системы», «непрерывные периодические системы», «дифференциальные включения», «интегральные уравнения», «уравнения в банаховых пространствах» и т.д.. Кроме того, при поиске нужной информации учитывается система параметров, устанавливаемая пользователем в качественном виде. Результат работы программной системы представлен на рисунке 1.

Заключение.

В данной работе приведено обоснование целесообразности использования основных принципов теории нечетких систем для обеспечения поиска научно-вычислительных сервисов, осуществлена постановка задачи, описаны основные шаги алгоритма функционирования каталога сервисов при решении научных и прикладных задач.

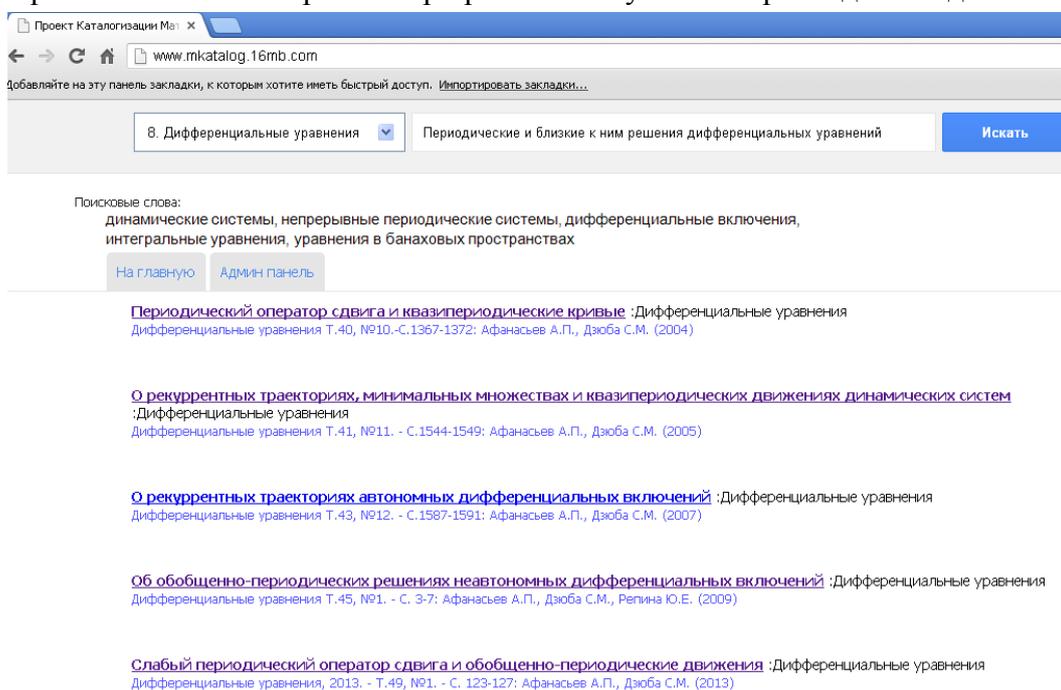


Рис.1 Пример реализации предложенного подхода к систематизации научно-вычислительных сервисов распределенной среды

Список литературы

1. Волохов В.М., Варламов Д.А., Пивушков А.В., Покатович Г.А., Сурков Н.Ф. Технологии ГРИД в вычислительной химии // Вычислительные методы и программирование. Т.11, 2010, С.42-29.
2. Проект Wolfram Mathworld <http://mathworld.wolfram.com> (дата обращения: 25.04.2014).
3. Каталог математических интернет ресурсов <http://www.mathtree.ru> (дата обращения: 25.04.2014)
4. Проект Biocatalogue <http://www.biocatalogue.org/> (дата обращения: 25.04.2014)
5. Палюх Б.В., Егерева И.А. Многошаговая система поиска альтернатив в информационном каталоге // Программные продукты и системы. 2013. №3. С.291-295.
6. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. Мир, М.: 1976, 46 с.
7. Иванов В.К., Виноградова Н.В. Эвристический алгоритм фильтрации и семантического ранжирования результатов поиска документов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика. 2013. № 3 (30). С. 97-106.

05.23.05

Д.В. Жабин, В.Н. Соков

Московский государственный строительный университет,
кафедра строительных материалов, Москва, zhabindv@bk.ru

ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ СОЗДАНИЯ ПЕНОБЕТОНА

В работе рассматривается создание пенобетона в электрогидротеплосиловом поле (ЭГТСП). Описываются управляющие факторы, позволяющие модифицировать структуру пенобетона. Освещен характер полей температур, давлений и влагосодержания внутри пеносистемы при её обработке. Проанализированы процессы, происходящие в пеномассе при воздействии на нее электрогидротеплосилового поля. Указаны граничные условия процесса.

Ключевые слова: *самоуплотнение, электрогидротеплосиловое поле, межпоровые перегородки, пенобетон.*

В условиях роста доли монолитного и малоэтажного строительства в России стеновые изделия из ячеистых бетонов являются серьезной альтернативой другим стеновым энергоэффективным материалам. Среди них можно выделить неавтоклавные пенобетоны, к преимуществам которых относятся закрытая пористость, низкое водопоглощение, малая энергоёмкость производства [1]. Несмотря на положительные качества, они характеризуются рядом недостатков, требующих инновационных решений по их устранению. Так, вследствие применения значительного количества ПАВ ему свойственно: снижение кинетики набора прочности; разрушение пеномассы при проведении форсированного прогрева традиционными способами; образование каверн и расслоений при укладке. Замедленное схватывание сырца и неконтролируемое истечение жидкости по межпоровым каналам ведет к дифференцированию плотности изделия по высоте. Наблюдается существенный недобор прочности, неоднородность показателей между партиями, а производство характеризуется низкой оборачиваемостью форм. Водоцементное отношение пеномассы должно составлять 0,5...0,9 [1,2]. Дальнейшее участие этой воды оказывает отрицательное воздействие: не задействованная в гидратации влага не позволяет получить распалубочную прочность в ранние сроки, а после её испарения контракционная пористость цементного камня не позволяет получить высокие показатели морозостойкости, водонепроницаемости и теплопроводности в естественных условиях [3]. В массиве наблюдается явление закупоривания влаги, что образует неоднородность влагосодержания и увеличивает фактическую плотность на 100...150 кг/м³ вместо предполагаемой [4]. Это снижает их теплозащитные свойства [5]. Высокое содержание воды в пеномассах вызывает большую усадку изделий (5 мм/м и более) со снижением физико-механических показателей, трещиностойкости [2]. Центральным решением указанных проблем является повышение ячеистой и снижение капиллярной пористости. По данным некоторых исследований [4] снижение $\rho_{ср}$ на 100 кг/м³ ведет к снижению теплопроводности на 20%.

Несмотря на большое количество работ, до сих пор не предложено решений по кардинальной интенсификации получения неавтоклавного пенобетона со стабильными характеристиками. В виду этого в МГСУ разработана инновационная энергосберегающая технология [3].

Совокупность управляющих параметров по этой технологии можно представить в виде поля воздействий, которые активно влияют, формируют строение пенобетона и определяют генезис. Следует отметить, что оно может быть как созидательным, так и разрушительным.

Формирование структуры пенобетона определено протеканием физико-химических процессов создания трехфазной гетерогенной системы взаимодействующих фаз и

последующей гидратации цемента. При этом основным фактором является согласованность устойчивости пены и динамики реологических и структурных характеристик цемента. В рамках исследований изучается эффективный управляющий фактор – интенсивный электропрогрев в замкнутой перфорированной форме, обеспечивающий принудительное снижение влагосодержания формуемой массы с уплотнением минерального компонента, ускорением гидратации и достижением распалубочной прочности за короткий промежуток времени, снижая тем самым влияние стойкости пены.

Баланс сил, установившийся после приготовления пеномассы, содержит два взаимоположенных комплекса воздействий: растягивающих и сжимающих давлений на межпоровую перегородку. В роли сжимающих усилий выступают давления: определяемое упруго-пластичными параметрами цементного раствора; вязкого деформирования; вышележащего столба смеси; атмосферное. Им противостоит совокупное давление Лапласа и паровоздушной смеси. Именно его предлагается принудительно увеличить, что создаст напряженное состояние и позволит реструктуризировать начальную структуру пеносистемы.

В результате комплексного воздействия электрогидротеплосилового поля (ЭГТСП) на формуемую массу в замкнутой перфорированной форме и образования напряженного состояния, в ней интенсифицируются протекающие процессы в свободном объеме и на поверхности раздела фаз. По мере разогрева смеси все большее значение носит напряженное состояние и кинетика его изменения. Объем межпоровых перегородок пронизывают поровые капиллярные каналы, и по ним мигрирует влага с последующим их сужением из-за переупаковки частиц минерального компонента. Исследовалось влияние прогрева на интенсивность влагоотжатия, изменение полей давления и влажности в материале, а также на уплотнение формуемой массы. Характер кривых отжатия влаги подтверждает предположение о том, что в ходе обработки она снижается в форсированном режиме до достаточного уровня для наиболее полной гидратации вяжущего (рис. 1).

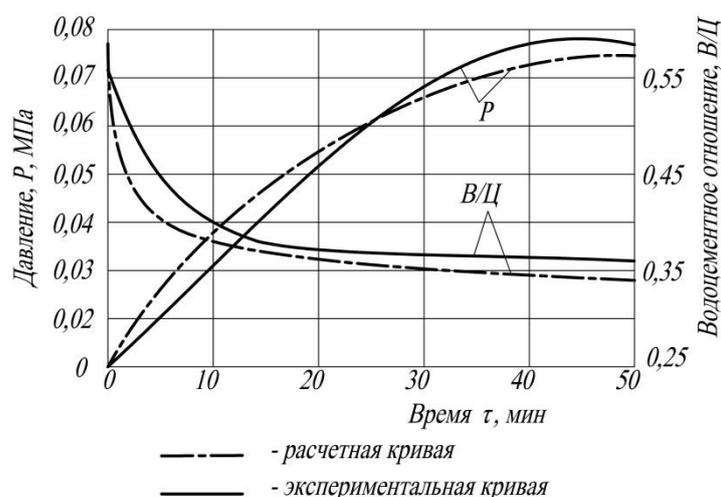


Рис. 1- Изменение влагосодержания с ростом избыточного давления внутри формы во времени

Интенсивность разогрева имеет верхнюю границу, которая должна увязываться с процессами в пеносистеме. В исследованиях изучалась различная тактика прогрева. При этом общая продолжительность составляла от 10 до 40 мин при температуре не более 60°С. Структурные нарушения при чрезмерно быстром нагреве возникают из-за интенсивного расширения воздуха и массового перехода воды в пар в ячейках. Гидратация в то же самое время еще не привела к потере пластичности растворной части пеносистемы. Вследствие этого возникают деформативные явления, разрывающие неокрепшую структуру сырца, что ведет к объединению большого количества пор с образованием пустот. При умеренных скоростях вода выжимается из системы постепенно, совокупно с уплотнением. Гидратация закрепляет модифицированную структуру. Таким образом, скорость подъема температуры

соответствует пластично-вязким изменениям пеносмеси. За счет этого достигается усреднение размера пор и минимальное отклонение от сплошности пористой системы, исключаются дефекты (рис. 2).

Изучение образцов, изготовленных из одной пеномассы по разным технологиям, установило, что уплотненный пенобетон обладает плотным контактом между частицами цемента. В контрольном же образце связь цементной матрицы имеет местные разрывы, поверхность скола имеет гладкую поверхность или слабые чешуйчатые новообразования, а в самоуплотненном - более развитую поверхность с характерными следами химической эрозии, что подтверждает активацию взаимодействия зерен цемента в более глубоких слоях и использование максимально большего потенциала вяжущего. Комплекс этих мероприятий позволит сократить цикл производства (рис.3), а в случае дальнейшей ТВО—сократить энергозатраты на нее, поскольку изделия можно прогреть без форм.

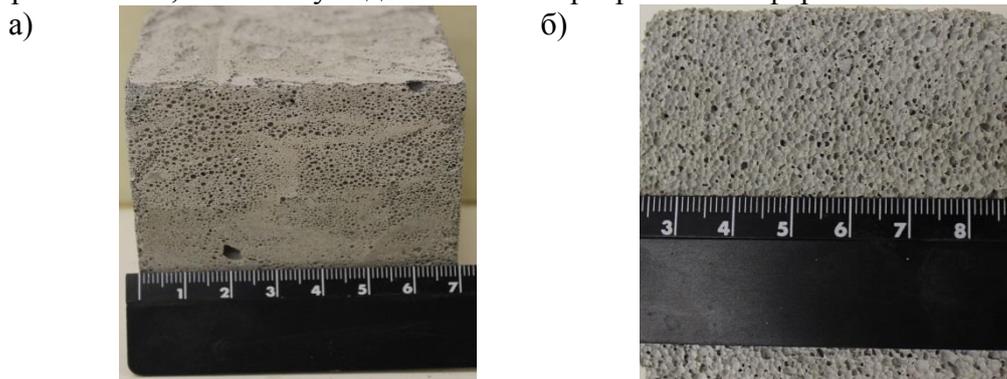


Рис. 2- Сравнение структур образцов, изготовленного по классической технологии (а) и самоуплотненного (б)

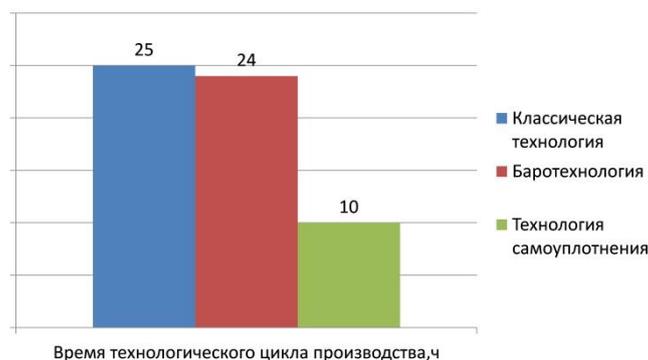


Рис. 3 Длительность производства пенобетона по различным технологиям

Проведенные исследования по изучению влияния ЭГТСП на пеносистему могут качественно объяснить технологические особенности получения неавтоклавных пенобетонов и сделать соответствующие выводы о реализации задаваемых технологических параметров, позволяющих получить продукцию с прогнозируемыми характеристиками и минимизацией энергозатрат.

Список литературы

1. *Л.Д. Шахова.* Технология пенобетона. Теория и практика. Монография/ Издательство Ассоциации строительных вузов, – М.: 2010. – 248 с.
2. *Е.М.Чернышев.* Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов/ Е.М.Чернышев и др.: ВорГАСУ, 2002.- 344 с.
3. *Д.В. Жабин, В.Н. Соков, Д.Ю. Землянушинов, В.Ф. Колесникова.* Теоретические положения о потенциальной возможности интенсификации пенотехнологии методом гидротеплосилового поля // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 75—81.
4. *Г.П. Сахаров.* Ячеистые бетоны в посткризисный период // Научно-практический Интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование». 2011. Вып. 1. Режим доступа: <http://www.nso-journal.ru>
5. *Г.П. Сахаров, В.П. Стрельбицкий.* Об оценке теплозащитных свойств ограждающих конструкций // ПГС. – 1996.-№5. С.2.

05.02.02

И.О. Жуков, А.Б. Иванченко к.т.н., А.В. Жданов к.т.н.Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир**ОСОБЕННОСТИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ
РОЛИКОВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ (РВМ)**

В статье рассматриваются особенности трехмерного моделирования планетарных роликвинтовых механизмов, предложена методика моделирования, состоящая из последовательных четырех этапов и учитывающая классификацию и геометрию механизмов.

Ключевые слова: 3D-моделирование, роликвинтовой механизм (РВМ), методика автоматизированного моделирования.

Информационные технологии в нынешнем их представлении позволили значительно повысить точность результатов исследований и облегчить процесс прогнозирования за счёт применения специализированного оборудования и CAD/CAM-систем. Целью работы является выработка методики проектирования 3D-моделей сборки РВМ в CAD модуле Pro/ENGINEER (версий Wildfire 3.0), которая позволит варьировать параметрами передачи и обеспечит при этом правильное сопряжение деталей. Объектом исследований и моделирования являются планетарные РВМ, один из типов которых представлен на рис.1.

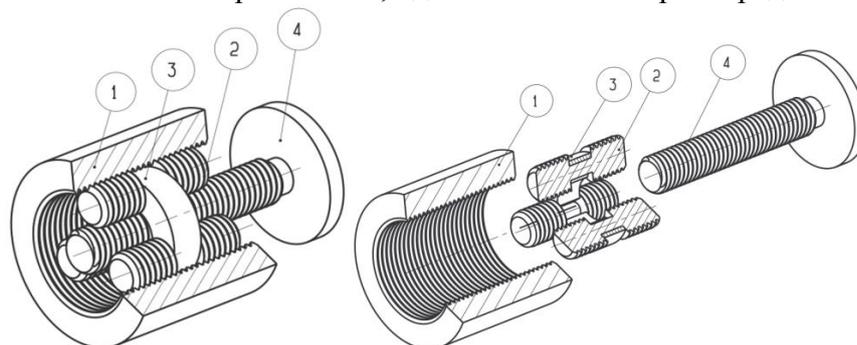
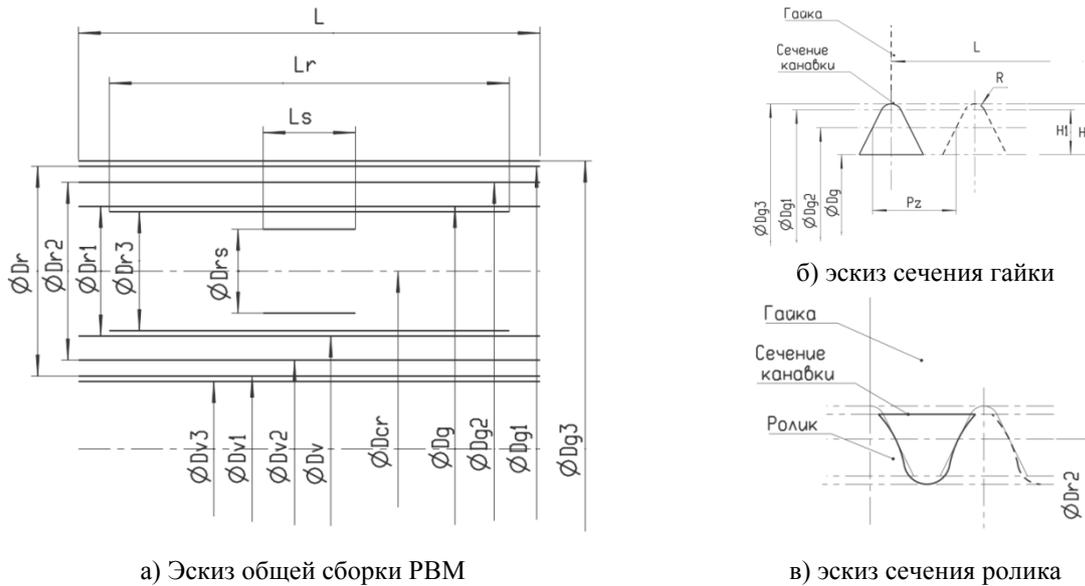


Рис. 1 Планетарный РВМ (группа 2а по классификации [1])
На рисунке обозначено: 1 - гайка, 2 - ролик, 3 - сепаратор, 4 - винт

Приступая к моделированию механизма, каждый исследователь сталкивается с непростой задачей: выбором оптимальных размеров сопрягаемых деталей исследуемого механизма, удовлетворяющие условию необходимой прочности, жесткости, стойкости, надежности. Конечно, учесть сразу все граничные условия невозможно, поэтому для экономии времени и сил необходимо спроектировать такую параметрическую модель, которая способна перестраиваться при изменении варьируемых параметров, обеспечивая необходимые выходные характеристики передачи и исключая взаимное пересечение сопрягаемых деталей.

Суть методики заключается в следующем: На *1 этапе* анализируем компоненты передачи и выделяем параметры, которыми можем варьировать. Они разделяются на два типа: (1) обеспечивающие необходимые передаточные характеристики, в данной передаче это диаметр винта 1, диаметр гайки 2, шаг резьбы винта и количество ее заходов; (2) обеспечивающие способность выдерживать предельно допустимую нагрузку, это длина гайки 2, количество роликов 3 и их длина.

На *2 этапе* прорисовываем ключевые моменты передачи эскизами в сборке, тем самым формируя скелет передачи (рис. 2).



а) Эскиз общей сборки РВМ

в) эскиз сечения ролика

Рис. 2. Основные эскизы РВМ и отдельных компонентов

На рисунке обозначено: D_v , D_g , D_r - диаметр высоты нитки резьбы (проточек); D_{v2} , D_{g2} , D_{r2} - средний диаметр резьбы; D_{v3} , D_{g3} , D_{r3} - диаметр впадин резьбы(проточек); D_{cr} -диаметр расположения оси ролика относительно оси гайки; D_{rs} -диаметр отверстий в сепараторе под ролики; L -длина гайки; L_r -длина роликов; L_s - толщина сепаратора; P_z - шаг резьбы

После создания эскиза (рис.2,а), приступаем к созданию эскиза, непосредственно профиля кольцевых канавок на гайке (рис. 2,б). Эскиз рис.2,в строим в той же плоскости что и эскиз рис.2,а,б, указывая необходимые привязки, это позволяет связать их между собой и обеспечить построение без указания лишних размеров. При построении необходимо указать справочные размеры R , H_1 , H , которые в дальнейшем будут использоваться, как базовые при построении профиля резьбы винта. Эскиз рис. 2, в строим в плоскости эскиза рис.2, а, указывая необходимые привязки к двум предыдущий эскизам. Важным условием построения является то, что профиль выступа должен быть эллипсовидной формы, а контакт с гайкой проходить на уровне средней линии. По окончанию построения всех эскизов необходимо создать соотношения, в виде параметрических уравнений между диаметрами винта, гайки, роликов, сепаратора и их взаимного расположения. Диаметры сопряжений резьбы с кольцевыми канавками рассчитываем, ссылаясь на [1, 2, 3].

Ниже на рис.3.представлена форма записи варьируемых параметров и уравнения для эскизов.

/*Входные данные

$D_{v2}=6$

$D_{g2}=18$

$P=2.5$ (Шаг резьбы)

$Z=3$ (Количество роликов)

$L=15$

$L_r=13$

$L_s=5$

$K=1.11$ (Коэффициент используемый для устранения взаимных пересечений винта с роликами)

/*Расчётные параметры эскиза

$D_v=D_{v2}+0.6495*P$

$D_{v1}=D_v-1.0825*P$

$D_{v3}=D_v-1.2267*P$

$D_g=D_{g2}-0.6495*P$

$D_{g1}=D_g+1.0825*P$

$D_{g3}=D_g+1.2267*P$

$D_{cr}=(D_{g2}-D_{v2})*0.5+D_{v2}$

$D_{r3}=D_r-1.2267*P$

$D_{rs}=D_r-1.4*P$

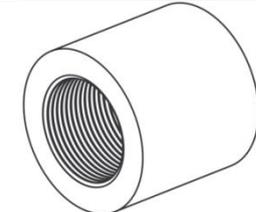
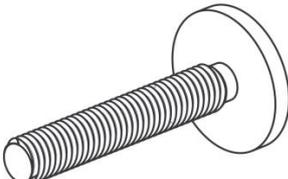
$P_z=P$

Рис.3. Форма записи варьируемых параметров РВМ

По завершению 2 этапа необходимо провести верификацию модели, меняя входные параметры. В случае успешной регенерации добавляем операцию позволяющую копировать эскизы непосредственно в дерево конкретной детали. 3 Этап. Моделируем компоненты, добавляем их в созданную ранее сборку и связываем размеры моделей с размерами эскизов.

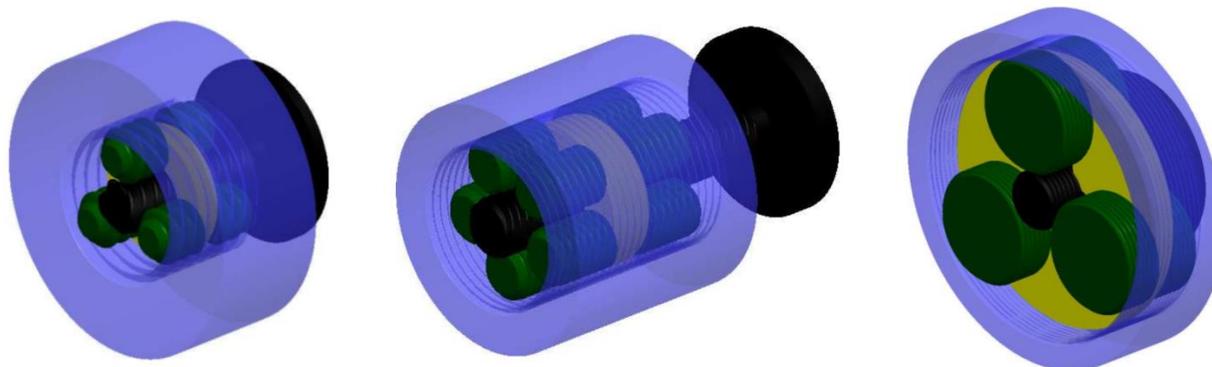
Таблица 1

Основные параметры и уравнения для моделирования РВМ

Название компонента	3D модель	Уравнения
Гайка		$Dg1:0=Dg$; $Lg:0=L$; $Dgn:0=Dg+10\cdot P$ (наружный диаметр гайки); $sht=L/P+1$ (количество кольцевых канавок)
Винт		$Dv1:2=Dv$; $Dvg:2=Dv\cdot 3$ (диаметр головки винта); $DSH:2=0.7\cdot P$; $Lv:2=1.5\cdot L$; $Lg:2=1/10\cdot L$ (длина головки винта); $f=P$ (размер фаски); $H:2=H$; $H1:2=H1$; $R:2=K\cdot R$; $Pzv:2=Z\cdot P$ (шаг резьбы); $Z:2=Z$ (количество заходов)
Ролик		$Dr:6=Dr$; $Drs:6=Drs$; $Ls:6=Ls$ (ширина проточки под сепаратор); $Lr:6=Lr$; $f:6=0.8\cdot P$ (размер фаски); $Pr1=P/2$ (смещение первой канавки относительно торца гайки); $P:6=P$ (шаг кольцевых канавок)
Сепаратор		$Dsn:4=Dg-1$ (наружный диаметр); $Dsv:4=Dv+1$ (внутренний диаметр); $Ls:4=Ls$; $Dcr:4=Dcr$; $Drs:4=Drs$; $Z:4=Z$ (количество отверстий под ролики)

4 Этап. Производим отладку модели, устраняя ненужные привязки, уравнения, параметры. Строим модели, изменяя только входные параметры и меняя поправочный коэффициент (при помощи которого устраняем взаимные пересечения винта и роликов), он будет изменяться в зависимости от шага и количества роликов в механизме.

Методика автоматизации трехмерного моделирования позволяет упростить процесс конструирования, сборки и подборки оптимальных размеров модели для проведения дальнейшего анализа НДС и расчетов на прочность и жесткость [4, 5].



а) $Dv2=6$ мм; $Dg2=18$ мм; $P=2.5$ мм; $Z=3$; $L=Lr=15$ мм; $Ls=3$ мм

б) $Dv2=6$ мм; $Dg2=18$ мм; $P=1$ мм; $Z=5$; $L=25$ мм; $Lr=20$ мм; $Ls=5$

в) $Dv2=10$ мм; $Dg2=50$ мм; $P=1$ мм; $Z=3$; $L=Lr=15$ мм; $Ls=3$ мм

Рис. 3. Примеры реализации предлагаемой методики

Список литературы

1. Морозов, В.В. РВМ. Кинематические характеристики (монография) [Текст]/ ВлГУ – Владимир, 2005. – 78 с. - ISBN 5-89368-634-9
2. Марголин, Л.В. Планетарная передача винт-гайка качения с резьбовыми роликами [Текст]// Станки и инструмент, 1970. № 1. с.42-43.
3. Shangjun, M., etc. A New Study on the Parameter Relationships of Planetary Roller Screws [Текст]// Mathematical Problems in Engineering, v.2012, doi:10.1155/2012/340437
4. Жданов, А.В. Обеспечение качества сборки РВМ фрикционного типа [Текст] / А.В. Жданов // Сборка в машиностроении, приборостроении /М: Маш-ние, 2011 - №5. С. 30-35. ISSN 0202-3350
5. Волкова, И.В. Проектирование исполнительных механизмов насосных систем ВК [Текст] / И.В. Волкова, А.В. Жданов// Научно-технический вестник Поволжья. №2 2011г. – Казань. – С. 59-63. ISSN 2079-5920.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-01199а

05.07.05

Е.С. Заикин

Тульский государственный университет,
институт высокоточных систем имени В.П. Грязева, машиностроительный факультет,
кафедра «Ракетное вооружение», Тула jackrs@rambler.ru

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ТОПЛИВНОГО ЗАРЯДА И КОРПУСА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассматриваются деформации заряда ракетного двигателя твёрдого топлива (РДТТ), скреплённого с корпусом по внешней поверхности, вызванные изменением эксплуатационной температуры. Исследуется их влияние на рабочий процесс двигателя, связанное с изменением поверхности горения.

Ключевые слова: ракетный двигатель твёрдого топлива, заряд твёрдого топлива, температурные деформации, поверхность горения, метод конечных элементов.

В современных ракетных двигателях широко используются заряды из смесового твёрдого топлива, скреплённые по внешней поверхности с корпусом. Такие заряды, как правило, получают непосредственно заполнением камеры сгорания (КС) жидким топливным составом, который в дальнейшем полимеризуется. Для формирования внутренних полостей заряда (внутренней поверхности) используются специальные вставки. При снижении температуры относительно равновесной возникают температурные напряжения и деформации заряда, следствием которых является изменение геометрии заряда, в том числе поверхности горения, которой, как правило, является поверхность внутреннего канала. Это может сказываться на характере рабочего процесса двигателя, вызывая в общем случае изменение диаграммы внутрикамерного давления.

Исследование проводилось для двигателя ракеты бикалиберной схемы с корпусом из волокнистого композиционного материала малой конусности и скреплённым зарядом смесового топлива. Внешняя поверхность заряда повторяет форму корпуса, а внутренний канал круглого сечения, образующий поверхность горения, имеет переменный диаметр по длине.



Рис. 1 – Объект исследования

Определялось напряжённо-деформированное состояние заряда вызванное лишь изменением температуры от равновесной величины 51°C до характерных значений: $+20^{\circ}\text{C}$, -50°C и $+60^{\circ}\text{C}$. Влияние других физико-химических процессов, таких как, изменение структуры топливного состава, не учитывалось.

Предварительные оценочные расчёты, проведённые по аналитическим зависимостям [3], показали, что температурные деформации в рассматриваемом диапазоне температур для корпуса двигателя весьма малы – приращение диаметра корпуса $0,02...0,07$ мм. Таким образом, можно принять допущение о малости влияния деформаций корпуса на деформации заряда для данного диапазона температур и в дальнейшем заряд рассматривать отдельно.

Расчёт напряжённо-деформированного состояния заряда проводился с помощью программы, основанной на применении метода конечных элементов (МКЭ) [2]. Исключение из расчёта тонкостенной оболочки корпуса позволило упростить дискретизацию расчётного контура заряда. При этом, согласно принятому допущению, внешняя поверхность заряда (за исключением мест раскрепления) была жёстко закреплена.

Результаты расчётов радиальных перемещений $\Delta r_{зар}$, продольных удлинений $\Delta L_{зар}$, относительных радиальных $\varepsilon_{r зар}$ и продольных деформаций $\varepsilon_{L зар}$ канала заряда представлены без учёта раскрепления (таблица 1), а также с учётом частичного (до середины хвостового участка) и полного раскрепления (таблица 2).

Таблица 1 – Температурные деформации заряда без раскрепления

	-50°C	+20°C	+60°C
$\Delta r_{зар}$, мм	3,58	1,16	-0,32
$\varepsilon_{r зар}$	0,15	0,048	-0,013
$\Delta L_{зар}$, мм	-20,03	-5,62	1,6
$\varepsilon_{L зар}$	-0,0136	-0,0038	0,0011

Таблица 2 – Температурные деформации заряда с раскреплением

	-50°C		+20°C		+60°C	
	частичное раскрепл.	полное раскрепл.	частичное раскрепл.	полное раскрепл.	частичное раскрепл.	полное раскрепл.
$\Delta r_{зар}$, мм	0,67	0,66	0,22	0,21	-0,07	-0,06
$\varepsilon_{r зар}$	0,028	0,0275	0,009	0,0088	-0,003	-0,0025
$\Delta L_{зар}$, мм	-42,35	-41,97	-11,85	-12,98	3,87	3,89
$\varepsilon_{L зар}$	-0,029	-0,0286	-0,0081	-0,0089	0,0026	0,0027

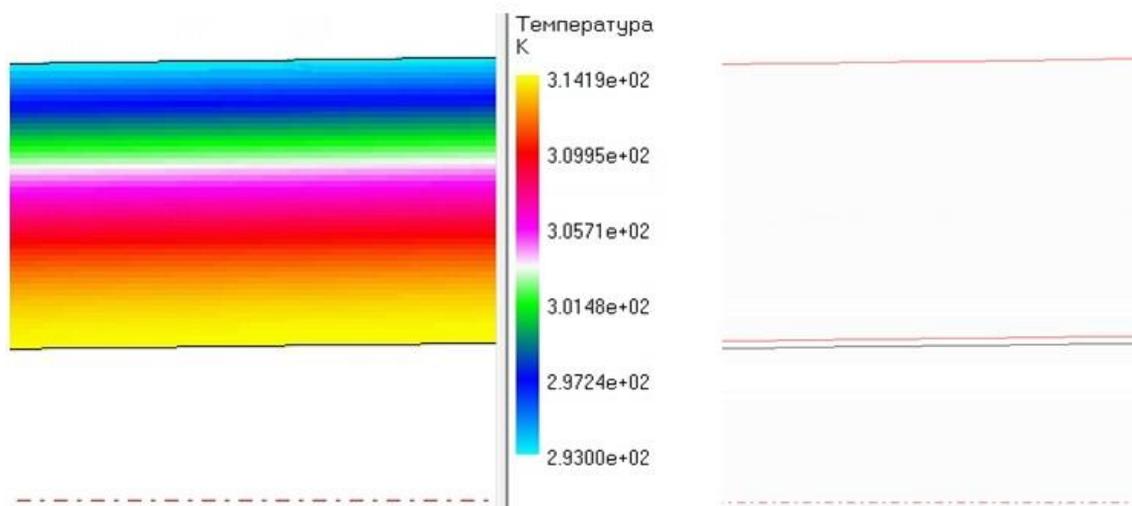


Рис. 2 – Распределение температуры по толщине свода заряда (слева) и контуры до и после деформирования (справа) в процессе моделирования охлаждения

Как следует из приведённых данных, влияние раскрепления заряда от корпуса значительно: при температуре -50 °С радиальные деформации снижаются с 15% до 2,8%, а продольные деформации немного увеличиваются с 1,4% до 2,9 %. По результатам расчётов варьирование раскрепления оказывает весьма малое влияние на итоговые деформации канала заряда (около 0,1...0,2%) (таблица 2). Отсутствие раскрепления также существенно

сказывается на характере деформаций хвостового участка заряда (рис. 3) – наблюдается резкое смещение торца, что опасно с точки зрения разрушения заряда.

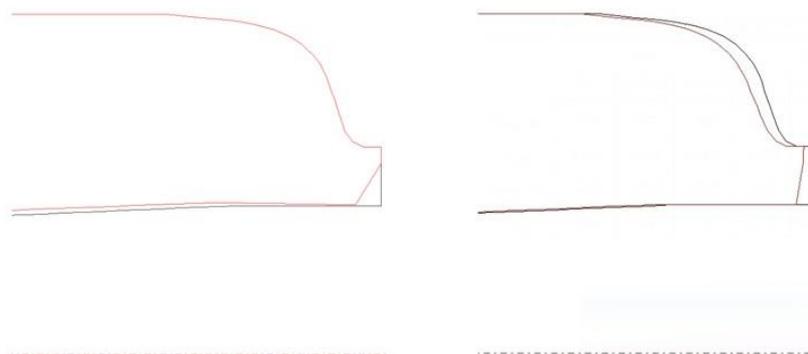


Рис. 3 – Расчётный контур до и после деформаций на хвостовом участке заряда без раскрепления (слева) и с раскреплением (справа)

Следует отметить, что наибольшие радиальные деформации канала заряда (указанные в таблице 1 и 2) наблюдаются в зонах с наиболее плотным заряданием (для которых коэффициент заполнения поперечного сечения достигает максимальных значений).

Влияние рассчитанных деформаций заряда на рабочий процесс с учётом зависимости скорости горения от начальной температуры $F_u(T_{нач})$ [1, 3] оценивалось по величине относительного давления в КС в начале квазистационарного периода $p_{отн.}$ (отношение величины с учётом деформаций к величине без их учёта), которое зависело от относительной площади поверхности горения $S_{отн.}$.

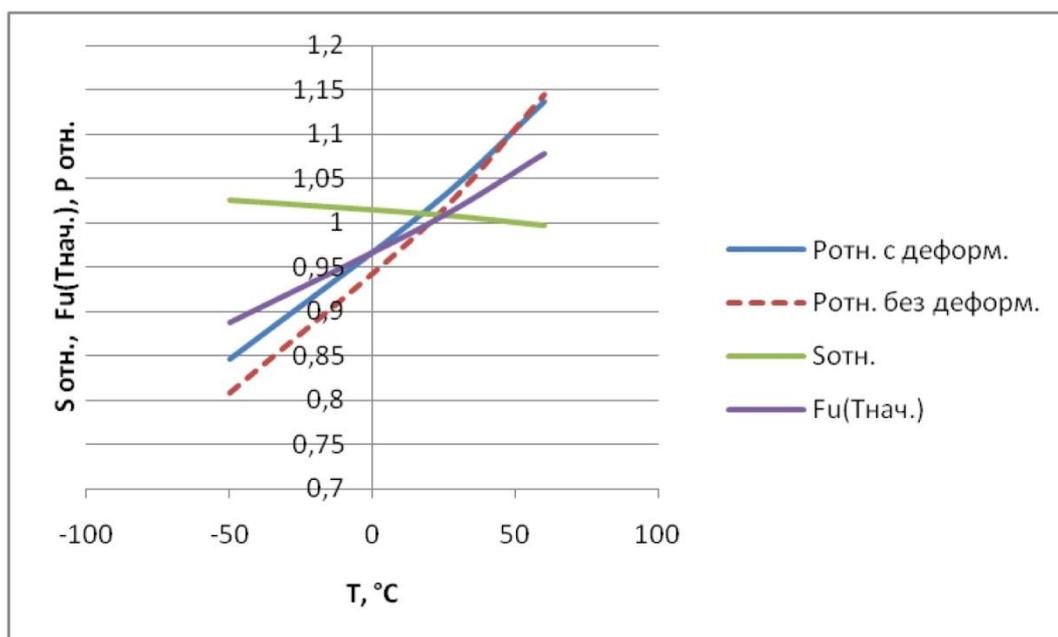


Рис. 4 – Сравнение влияния температурных деформаций

Температурные деформации заряда практически на всём диапазоне эксплуатации приводят к повышению рабочего давления в камере двигателя, в наибольшей степени до 3,8% при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. При $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ давление снижается на 0,7%, что вызвано уменьшением начальной площади поверхности горения на 0,34%.

Необходимо отметить, что рассмотренные температурные деформации не приводят к повышению максимального уровня давления в КС, так как наибольшие приросты площади поверхности горения наблюдаются при минимальной температуре, в то время как скорость горения топлива при этом мала.

Проведённое исследование позволяет сделать вывод о характере влияния деформаций заряда под действием температуры эксплуатации на рабочий процесс двигателя, что говорит о целесообразности их учёта на этапе проектирования заряда для более точного прогнозирования характеристик двигателя, а также при экспериментальной отработке.

Список литературы

1. *А.В. Алиев, Г.Н. Амарантов, В.Ф. Ахмадеев и др.; под ред. А.М. Липанова, Ю.М. Милехина. Внутренняя баллистика РДТТ. – М.: Машиностроение, 2007. – 501 с.*
2. *Дунаев В.А. Численное моделирование сопряженных процессов термомеханики в теплоэнергетических установках // Материалы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Первые Окуневские чтения», С.-Петербург, 1997. – с. 106 – 108.*
3. *Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.: ил.*

05.22.10

Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт Транспорта, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СНАБЖЕНИЕМ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ

В статье рассматривается проблема снабжения запасными частями при использовании транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче. На основе аналитических исследований предложен подход к оценке потерь от простоев автомобилей из-за отсутствия запасных частей. Определен вид целевой функции при управлении снабжением запасными частями.

Ключевые слова: поток отказов, запасные части, нефтегазодобыча, транспортно-технологические машины.

Снабжение запасными частями (ЗЧ) – необходимое условие эффективного функционирования подсистемы технологического транспорта в нефтегазодобыче [1, 2, 12, 13]. Работа системы снабжения оценивается соотношением потока требований на замену элементов автомобилей и потока поставок запасных частей [8, 14]. Поток требований на замену характеризуется ведущей функцией потока отказов $\Omega(L)$, а поток поставок – ведущей функцией потока восстановления $N(T)$. В идеальном случае должно выполняться условие

$$N(T) = \Omega(L).$$

В реальной ситуации это условие невыполнимо по следующим причинам.

1. Поток отказов $\Omega(L)$ относительно непрерывен, а поток поставок ЗЧ – дискретен. Нецелесообразно после каждого отказа поставлять требуемую запасную часть. Кроме того, это невозможно сделать мгновенно, без простоя автомобиля в ожидании поставки.

2. Если поставка запасных частей – событие относительно детерминированное, характеризуемое детерминированными величинами – дата поставки и объем поставки, которые можно спланировать заранее, то возникновение отказов – событие случайное, которое можно предсказать только для группы автомобилей с определенной ошибкой, отличной от нуля, и вероятностью, отличной от 1,0 [3, 4].

Простой автомобилей из-за отсутствия запасных частей можно оценить следующим образом:

$$\Delta T = \int_{T_1}^{T_2} (\Omega(L) - N(T)) dT, \quad \Omega(L) \geq N(T).$$

При этом потери от простоев автомобилей из-за отсутствия ЗЧ:

$$\Pi = \text{ПЧ} \cdot \Delta T,$$

где ПЧ – часовая прибыль от работы автомобилей.

Затраты на хранение запасов ЗЧ можно оценить:

$$З = C \int_{T_1}^{T_2} (N(L) - \Omega(T)) dT, \quad N(L) > \Omega(T),$$

где С – стоимость хранения единицы ЗЧ, руб./сут.

Целевая функция в общем виде запишется следующим образом:

$$\Pi + З \rightarrow \min.$$

На рис. 1 цифрой 1 обозначены области превышения количества имеющихся ЗЧ над требуемым. Цифра 2 обозначает области недостаточного для устранения наступивших отказов количества ЗЧ.

На рис. 2 и 3 показано соотношение ведущей функции потока отказов и ведущей функцией потока восстановления в случаях избыточного и недостаточного восстановления.

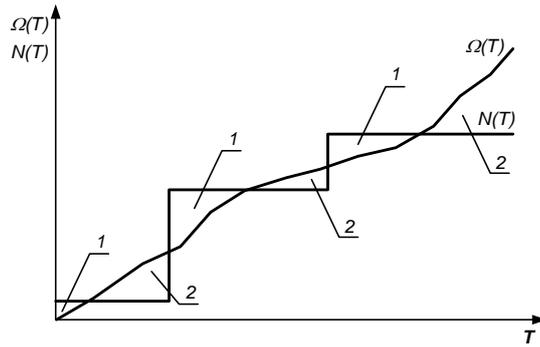


Рис. 1. Соотношение ведущей функции потока отказов $\Omega(L)$ и ведущей функцией потока восстановления $N(T)$ (общий случай)

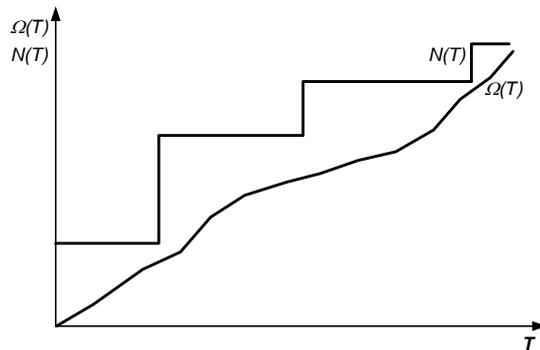


Рис. 2. Соотношение ведущей функции потока отказов $\Omega(L)$ и ведущей функцией потока восстановления $N(T)$ (избыточное восстановление)

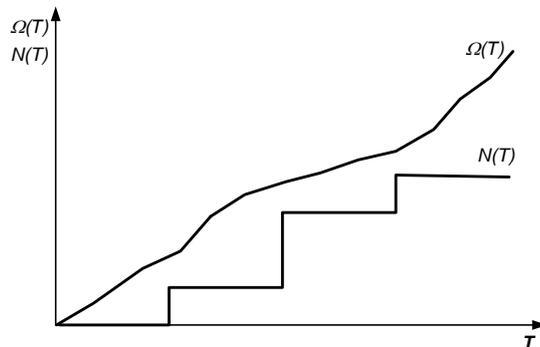


Рис. 3. Соотношение ведущей функции потока отказов $\Omega(L)$ и ведущей функцией потока восстановления $N(T)$ (недостаточное восстановление)

Для эффективного управления снабжением запасными частями необходимо создать модель, отображающую изменение компонентов целевой функции в меняющихся условиях.

При моделировании процесса восстановления необходимо учесть следующие закономерности.

1. Ведущая функция потока отказов моделируется по наработке L , а функция восстановления - по времени T [5]. Поэтому для приведения функции к одному аргументу необходимо знать зависимость $L=f(T)$ [11].

2. Для определения ведущей функции потока отказов нужно знать параметр потока отказов, на который влияет ряд факторов. Эти факторы меняются во времени, вызывая изменение параметра потока отказов [9, 10, 15].

3. Каждый фактор в общем виде включает три компонента - трендовую, периодическую и стохастическую [6, 11]. Соответственно, эти компоненты формируют аналогичные компоненты параметра потока отказов.

Учитывая сложность изучаемых процессов, для рассматриваемой системы необходимо использовать имитационные модели. На их основе можно рассчитать параметры системы материально-технического снабжения в меняющихся условиях.

Список литературы

1. *Захаров, Н.С.* Модель восстановления транспортной подсистемы производственных систем нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 6. – С. 157.
2. *Захаров, Н.С.* Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.И. Петров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1998. – № 6. – С. 107.
3. *Захаров, Н.С.* Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 3. – С. 105.
4. *Захаров, Н.С.* Программа «REGRESS». Руководство пользователя [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.
5. *Захаров, Н.С.* Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей / Н.С. Захаров : дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 525 с.
6. *Захаров, Н.С.* Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей / Н.С. Захаров : автореферат дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 40 с.
7. *Захаров, Н.С.* Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, К.В. Бугаев, Д.С. Быков, В.В. Ефимов, А.А. Панфилов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 6. С. 77-79.
8. *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.
9. *Захаров, Н.С.* Влияние сезонных условий на оптимальное количество постов технического обслуживания автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, Е.С. Шевелев // Транспорт Урала. 2008. – № 1. – С. 72-76.
10. *Захаров, Н.С.* Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. – 2012. – № 12. Ч 2. – С. 186–191.
11. *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.
12. *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.
13. *Захаров, Н.С.* Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортно-технологических машин в текущем ремонте [Текст] / Захаров Н.С., Савин С.А., Иванкив М.М., Лушников А.А. // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №4. – С. 82-84.
14. *Зиганшин, Р.* Моделирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных факторов / Р. Зиганшин, А. Зиганшина, Н. Захаров, В. Савчугов // Логистика. – 2013. – № 4 (77). – С. 50-52. 7
15. *Резник, Л.Г.* Корректирование норм пробега шин [Текст] / Л.Г. Резник, Н.С. Захаров // Автомобильный транспорт. – 1988. – № 11. – С. 29-31.

05.23.05

Д.Ю. Землянушнов, В.Н. Соков, Д.В. Орешкин

Московский государственный строительный университет,
кафедра строительных материалов, Москва, zemlyanushnov@inbox.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ОБРАБОТКИ МРАМОРА В ТЕХНОЛОГИИ ОБЛИЦОВОЧНОЙ КЕРАМИКИ

В работе рассмотрен практический подход к применению тонкодисперсных отходов обработки мрамора в технологии производства облицовочных керамических изделий методом объемного окрашивания. Выявлена зависимость изменения цвета обожженного керамического черепка.

Ключевые слова: *облицовочная керамика, объемное окрашивание, отходы мрамора, карбонаты, кальцит.*

Технология производства облицовочных керамических изделий объемного окрашивания является классической и основана на введении в сырьевую массу специальных красителей, которыми являются дорогостоящие железистые пигменты. С введением и подбором оптимального количества железистых пигментов в сырьевую массу появилась возможность получать широкую цветовую номенклатуру облицовочных керамических изделий [1,2].

Известны также способы по введению в сырьевую массу других специальных добавок, для изменения конечного цвета обожженного изделия: например, известняка (CaCO_3). В горной породе, содержащей в своём составе известняк, содержится большое количество различных примесей. Они также частично влияют на изменение конечного цвета обожженных изделий [1,2,3,6,7].

Альтернативой известняку выступает более однородная по минеральному составу метаморфическая горная порода: например, мрамор (CaCO_3). При производстве облицовочных мраморных плит и декоративных элементов крупные куски породы проходят распиловку и абразивную обработку. В процессе этих переделов на территории предприятий образуется большое количество отходов. Они представлены в виде мраморного песка, щебня, пыли и некондиционных обломков и т.п. брака. Количество отходов может достигать до 30 % от массы обработанной породы.

При оценке глинистой породы и тонкодисперсных отходов мрамора с зёрнами менее 0,1 мм было выяснено, что возможно их совместное использование на существующих технологических линиях. При тщательном химическом анализе этих компонентов состава установлено, что отходы мрамора влияют на конечный цвет обожженного изделия. Однако, с применением зёрен с размерами более 0,1 мм наблюдается появление «дутиков», которые приводят к разрушению изделия [3,4,7].

С введением тонкодисперсных отходов мрамора в сырьевую массу в различных количествах выявлена способность к изменению цвета обожженного изделия от тёмно-коричневого тона до палевого. Было выяснено, что данный эффект наблюдается за счёт изменения отношения основного красящего компонента - оксида железа (Fe_2O_3) к оксиду кальция (CaO) [7]. Изменение цвета от тёмно-коричневого тона до палевого происходит при уменьшении этого отношения от 0,65 до 0,35 соответственно.

В работе применялось сырьё Новоподрезковского карьера Московской области, тонкодисперсные отходы мрамора Коелгинского месторождения Челябинская область. В таблице 1 и 2 представлены химические составы глинистой породы и отходов мрамора соответственно.

Таблица 1. Химический состав отходов мрамора

Наименование оксида	Содержание, %
CaO	57,34 %
CO ₂	42,66 %
Итого:	100

Таблица 2. Химический состав глинистой породы

Наименование оксида	Содержание, %
MgO	1,98
Al ₂ O ₃	14,85
SiO ₂	65,08
K ₂ O	3,45
CaO	1,24
TiO ₂	1,51
MnO ₂	0,24
Fe ₂ O ₃	11,65
Итого:	100

На рисунках 1 и 2 представлены элементные составы глинистой породы и тонкодисперсных отходов мрамора.

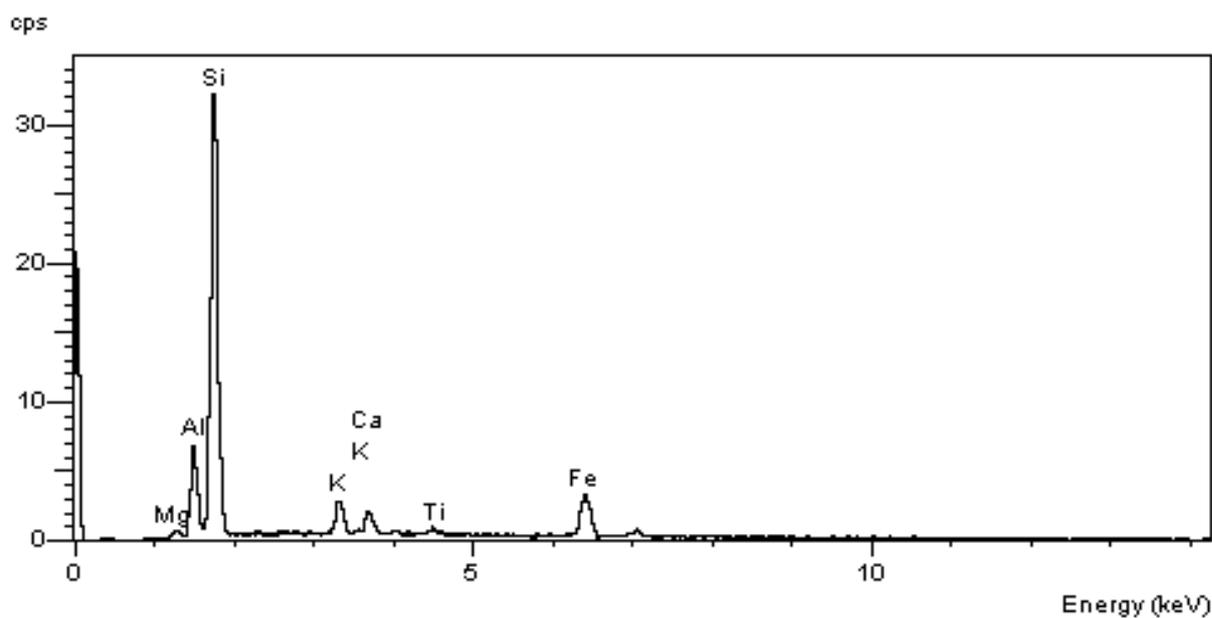


Рисунок 1. Элементный состав глинистой породы

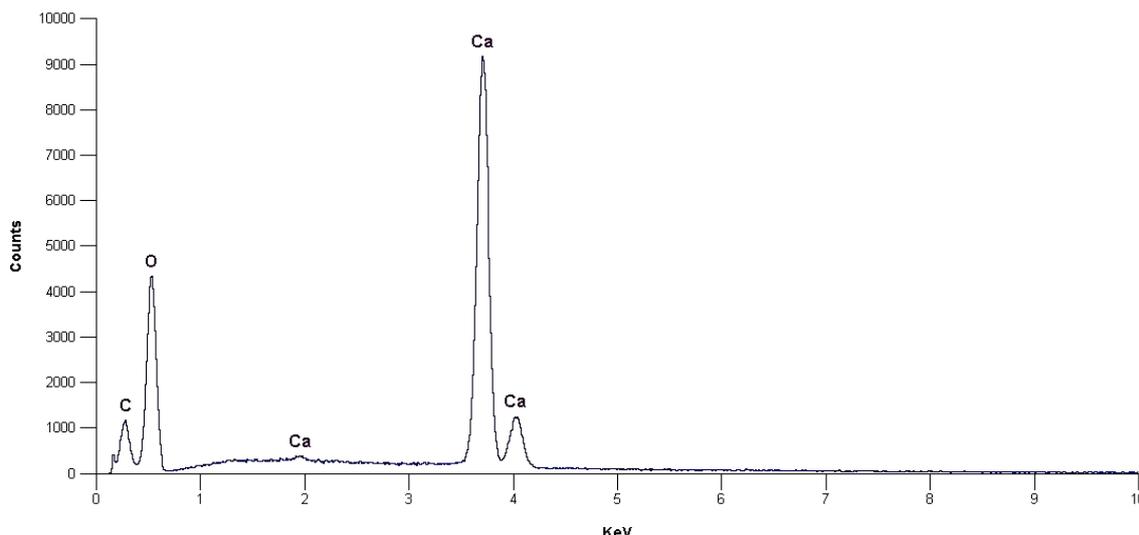


Рисунок 2. Элементный состав тонкодисперсных отходов мрамора

В работе были приняты следующие рабочие составы.

Таблица 3. Рабочие составы на 1 м³ смеси

№	Расход глинистой породы, кг	Расход тонкодисперсных отходов мрамора, кг	Содержание		Влажность, %	Отношение глинистой породы к отходам мрамора
			Вода, кг	Отходы мрамора, %		
1	2650	-	636	-	24	-
2	2053	597	636	20	24	3,4/1
3	1830	820	636	30	24	2,2/1
4	1458	1192	636	45	24	1,2/1

Технология производства облицовочных керамических изделий с применением тонкодисперсных отходов мрамора заключается в следующем.

Подготовка сырьевой смеси происходит путем дозировки сыпучих сырьевых материалов и тщательном её перемешивании. Перемешивание проводилось в два этапа: первый - 2 минуты материалы перемешивались в сухом состоянии в лопастном смесителе. После затворения водой - еще 3 минуты. Общее время перемешивания составляло 5 минут. Полученную массу укладывали в формы-кубы с размером грани 7,07 см. Уплотняли с помощью штыкования и сушили при температуре 50 °С в климатической камере. Сушку осуществляли до остаточной влажности сырца 5...8 %. Продолжительность сушки была 24 часа. После сушки образцы обжигались при температуре выдержки 900 °С по режиму: подъём температуры 3 часа, выдержка 10 часов, остывание – 11 часов. Общее время процесса обжига составляло 24 часа.

Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты испытаний

Наименование показателей	Наименование состава			
	1	2	3	4
Цвет изделий	красный	Темно-коричневый	Светло-красный	Светло-желтый
Средняя плотность, кг/м ³	1900	1790	1680	1540
Водопоглощение, %	11,95	14,3	16,8	20,2
Предел прочности при сжатии, МПа	24	27	25	20

Таким образом, с введением в состав сырьевой смеси тонкодисперсных отходов мрамора наблюдается снижение средней плотности изделий до 25 %, увеличение водопоглощения по массе при практически неизменной прочности. Введение в состав смеси тонкодисперсных отходов мрамора позволяет изменять цвет обожженных изделий в широком диапазоне. Открывается возможность утилизации тонкодисперсных отходов мрамора в технологии производства облицовочных керамических изделий.

Список литературы

1. *Микульский В.Г., Сахаров Г.П. и др.* Строительные материалы. – М.: Изд-во АСВ, 2011. 520 с.
2. *Попов К.Н., Каддо М.Б.* Строительные материалы и изделия Учеб. — М.: Высш. шк. , 2008. -367 с.
3. *Киптенко А.К., Мартынов П.Т., Никифоров В.С.* Производство кирпича — М.: Стройиздат, 1959г. -120 с.
4. Патент № 2186637 (РФ). Способ рециклинга отвалов / *Артамонов А.М.* 2000119044/03. Заявл. 19.07.2000, Оpubл. 10.08.2002, Бюл. № 2.
5. *Олюнин В.В.* Переработка нерудных строительных материалов. - М.: Недра, 1988. 232 с: ил.
6. *Калантар Г.А.* Архитектурно-строительная керамика светлой окраски из глин, применяемых для производства красного строительного кирпича. Дисс. канд. техн. наук. - М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1954. 137 с.
7. *Солопов С.В.* Лицевой керамический кирпич на основе низкосортного глинистого сырья. дисс.: канд. техн. наук. Орел, 2010. 157 с.

05.02.08

Т.Н. Иванова к.т.н., В.И. Чепкасов

ЧФ ФГБОУ ВПО Пермского НИПУ,
кафедра автоматизации, информационных и инженерных технологий,
Ижевск, rsg078829@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАСТИНАХ

Рассмотрены условия стабильности остаточных напряжений при шлифовании пластин. Исследование напряженного состояния пластины дает возможность установить взаимосвязь между технологическими параметрами процесса шлифования и характером распределения остаточных напряжений. Предложены технологические методы регулирования остаточными напряжениями в пластинах.

Ключевые слова: *остаточные напряжения, массивные и тонкие пластины, остаточные напряжения, шлифование.*

Деформация массивных и тонких пластин, в виде нестабильности формы и размеров, возникающая за счет нарушения равновесия остаточных напряжений в поверхностном слое, непосредственно влияет на их эксплуатационные и качественные показатели.

Изменение равновесия остаточных напряжений, возможно, если в микрообъеме металла протекают релаксационные процессы с возникновением пластических деформаций. Замедление скорости деформации снижает величину остаточных напряжений [1].

Установившееся равновесие остаточных напряжений нарушается и при удалении напряженных слоев металла в процессе шлифования массивных и тонких пластин. Это сопровождается значительными деформациями и требует принятия специальных мер, таких как искусственная вогнутость или выпуклость пластины, которая компенсирует прогиб, получающийся вследствие снятия напряженного слоя.

Равновесие остаточных напряжений может нарушиться и под действием нагрева, вследствие создания благоприятных условий по протеканию релаксационных процессов из-за повышения подвижности дислокаций атомов обрабатываемого металла [2]. При шлифовании выделяющее тепло в зоне контакта круга с пластиной приводит к мгновенному нагреву тонких поверхностных слоев металла, снижая его модуль упругости. Затем последующее быстрое охлаждение поверхностных слоев сопровождается их сжатием. Более холодные глубинные слои металла препятствуют сжатию нагретых поверхностных слоев. В результате в верхних поверхностных слоях металла возникают остаточные напряжения растяжения, а в нижележащих слоях – уравнивающие их напряжения сжатия. Кроме того, под действием высоких температур в тонком поверхностном слое происходят структурные превращения, обусловленные объемными изменениями металла. Мартенситная структура, формируемая при закалке, имеет максимальный удельный объем и атомную решетку объемно-центрированного куба. Аустенитная структура более плотная, имеет наименьший удельный объем и атомную решетку куба с центрированными гранями. Если пластина после закалки имела мартенситную структуру, то после окончательного шлифования под действием высоких температур в тонком поверхностном слое мартенсит может распадаться на трооститно-сорбитную структуру, и увеличивается процентное содержание аустенита. При этих условиях поверхностный слой, уменьшаясь в объеме, стремится сжаться. Однако этому сжатию препятствуют подповерхностные глубинные слои, которые имеют большой удельный объем. При таком сочетании разнообъемных структур в поверхностном слое возникают большие растягивающие напряжения, которые иногда по своей величине превышают предел прочности металла.

Деформированное состояние в каждой точке пластины характеризуется относительными

линейными деформациями $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$, в напряженное состояние при деформациях – главными напряжениями $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$. Нормаль к площадке, на которую действует напряжение, рассматривается в направлении линейной деформации.

При шлифовании пластина закреплена по краям $\varepsilon_x = \varepsilon_z = 0$ и расширяется только в направлении y . Деформация может быть найдена по выражению [3]:

$$\varepsilon = \frac{2}{3}(1 + \mu) \frac{\sigma_{0,2}}{E}. \quad (1)$$

где μ – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости; $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести обрабатываемого материала.

Глубина $y_{гр}$, до которой распространяется пластическая деформация

$$y_{гр} = 3 \sqrt{\frac{2}{\pi e^{-\frac{y^2}{4a\tau}}} \cdot \frac{\alpha_p q E}{c \rho \sigma_{0,2}(1+\mu)}}. \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности; c – удельная теплоемкость; τ – время контакта; α_p – коэффициент линейного расширения; ρ – плотность обрабатываемого материала, q – плотность теплового потока.

Анализ зависимостей (1, 2) показывает, что с увеличением глубины шлифования и твердости шлифовального круга величина $y_{гр}$ растет, и снижается с повышением скорости детали v_d и применением охлаждения. Уменьшение величины $y_{гр}$ тем заметнее, чем выше теплоотвод α_t и лучше смазывающие свойства жидкости (как, например, у масляных эмульсий). Варьирование глубиной шлифования, скоростью детали, твердостью круга, коэффициентом теплоотвода позволяет регулировать значения остаточных напряжений.

Интенсивность остаточных напряжений будет

$$\sigma_i = \left| \frac{2\sigma_{0,2}(1+\mu)}{3E} - 2 \sqrt{\frac{2}{\pi e^{-\frac{y^2}{4a\tau}}} \cdot \frac{\alpha_p q}{\rho c}} \right|. \quad (3)$$

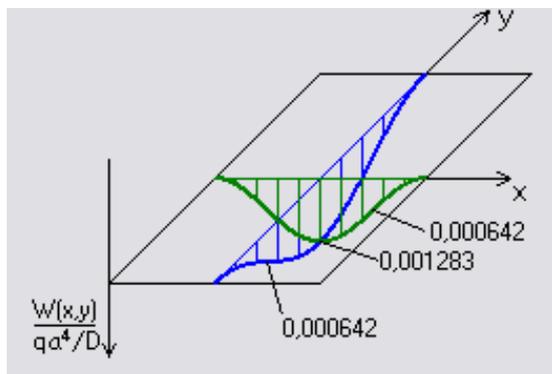


Рис. 1. Деформация плоской детали

Задавая геометрические и механические характеристики обрабатываемого материала пластины, можно рассчитать деформацию в любой точке пластины в программе, разработанной на языке *Delphi*. Например, для пластины с размерами 150x10x100 мм, с коэффициентом Пуассона 0,30, пределом текучести 650 МПа, с коэффициентом запаса прочности 2,00 закрепленной и нагруженной внешней нагрузкой, эпюра деформаций представлена на рисунке 1.

Результаты экспериментальных исследований остаточных напряжений при шлифовании инструментом со сплошной и прерывистой режущей поверхностью представлены на рисунке 2.

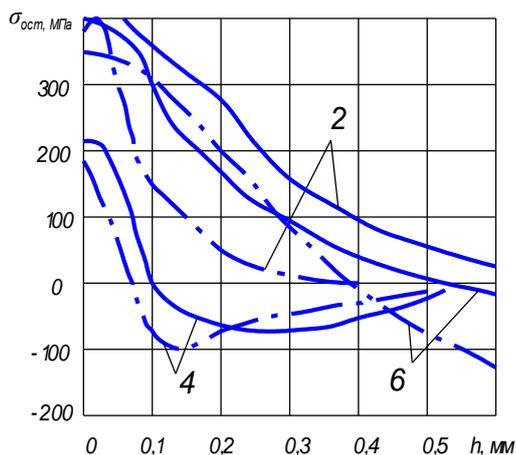


Рис. 2. Эпюры распределения остаточных напряжений по глубине после шлифования деталей из стали 12ХН3А инструментом со сплошной режущей поверхностью (сплошные линии) и прерывистой с непосредственной подачей СОЖ в зону резания (осевые, штриховые линии): 2 – $t = 0,1$ мм, $v_d = 2$ м/мин, $v_{кр} = 35$ м/с; 4 – $t = 0,02$ мм, $v_d = 1,5$ м/мин, $v_{кр} = 25$ м/с; 6 – $t = 0,06$ мм, $v_d = 3$ м/мин, $v_{кр} = 30$ м/с, h – глубина искаженного поверхностного слоя

При шлифовании инструментом с прерывистой режущей поверхностью максимальные растягивающие напряжения в интервале исследуемых скоростей детали уменьшаются, по сравнению с кругом со сплошной режущей поверхностью. Уменьшение скорости детали приводит к снижению силы резания и температуры поверхностного слоя. Поэтому глубина и величина сжимающих напряжений уменьшается настолько, что они подавляются растягивающими, которые и охватывают весь поверхностный слой (кривые 4 рис. 2).

При шлифовании пластин кругами со сплошной режущей поверхностью кривая изменения напряжений расположена над аналогичной кривой инструмента с прерывистой режущей поверхностью. Это объясняется следующим. С увеличением скорости круга возрастает интенсивность теплового потока. Но согласно выражению (2) уменьшение времени воздействия теплового источника снижает температуру в зоне контакта и глубину распространения тепла в деталь. В зависимости от того, какой из факторов сильнее влияет на температуру в зоне шлифования, она может по мере возрастания скорости перемещения теплового источника увеличиваться, оставаться неизменной или уменьшаться.

С увеличением глубины шлифования максимальные растягивающие напряжения при шлифовании увеличиваются (рис. 2). После шлифования инструментом с прерывистой рабочей поверхностью остаточные растягивающие напряжения распространяются на меньшую глубину, по сравнению со сплошным кругом. Уменьшение глубины шлифования приводит к снижению теплонапряженности процесса, что изменяет глубину и характер структурных превращений в поверхностном слое – уменьшается зона вторичной закалки, сужается зона вторичного отпуска [3], в связи, с чем уменьшается величина и глубина проникновения растягивающих остаточных напряжений (кривая 2 рис. 2). Причем максимум напряжений смещается вглубь детали, удаляя область возможного появления трещин от поверхностного слоя и, тем самым, повышая предел выносливости детали. Наличие сжимающих остаточных напряжений значительно уменьшает вероятность возникновения трещин, поскольку в процессе ее образования напряжения растяжения должны преодолеть противодействия напряжений сжатия. Эффект тем значительнее, чем больше величина напряжений сжатия и глубина их залегания.

С уменьшением толщины пластины при постоянных режимах шлифования остаточные растягивающие напряжения на поверхности постепенно переходят в сжимающие (кривая 4 рис. 2).

Напряженное состояние зависит и от времени обработки. Засаливаемость инструмента со сплошной режущей поверхностью увеличивает величину остаточных растягивающих напряжений (кривая 2 рис. 2). В отличие от него шлифовальный инструмент с прерывистой режущей поверхностью и с непосредственной подачей СОЖ в зону резания в интервале 10 - 15 минут сохраняет стабильные условия резания, не увеличивая остаточные растягивающие напряжения.

Если шлифование происходит без принудительного охлаждения, отвод тепла осуществляется только вглубь детали за счет теплопроводности металла, и поэтому, чем ближе рассматриваемый слой к поверхности, тем выше его температура, и что и приводит к созданию максимальных растягивающих напряжений на поверхности, постепенно уменьшающихся по глубине слоя по мере снижения температуры. При шлифовании с принудительным охлаждением уменьшение температуры на поверхности происходит как за счет теплоотвода вглубь металла детали, так и за счет теплообмена с охлаждающей жидкостью. Скорость охлаждения в этом случае становится настолько высокой, что через короткий промежуток времени еще при достаточно высоких температурах, когда формирование напряженного состояния продолжается, температура слоев, примыкающих к поверхности, оказывается ниже, чем более глубоких. Поэтому вблизи границы поверхностного слоя развиваются сжимающие остаточные напряжения, внутри поверхностного слоя образуются меньшие по величине растягивающие напряжения. Образование трещин не наблюдается.

Результаты исследований показали, что при шлифовании массивных и тонких пластин инструментом с прерывистой режущей поверхностью максимальная величина остаточных напряжений уменьшается на 20 - 25%. Это объясняется изменением условий формообразования режущего слоя и непосредственной подачей смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания. Уменьшение глубины шлифования, скорости детали, твердости круга, применение охлаждения обеспечивают сжимающие напряжения в поверхностном слое обрабатываемой пластины.

Список литературы

1. Долганов, А.М. / Теоретическая модель прогнозирования остаточных напряжений при шлифовании. // А.М. Долганов, В.А. Жуланов, Т.Н. Иванова, В.Ф. Юрков // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – вып. № 3 2012. – С. 110 - 113.
2. Иванова, Т.Н. Исследование обрабатываемости труднообрабатываемых сталей при шлифовании. / Т.Н. Иванова, Д.Д. Галиханов // Естественные и технические науки. – Москва: ООО «Издательство «Спутник+», 2012. – вып. № 3 (59) 2012. – С. 173 – 176.
3. Технологические остаточные напряжения. / Под ред. А.В. Подзея. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.

05.13.06

В.В. Киселев к.т.н., Н.А. Суворов

Пермский национально исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, ktei@pstu.ru

СИНТЕЗ ВСТРОЕННОГО ТЕСТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЦИФРОВЫХ СХЕМ С ПРОГРАММИРУЕМЫМИ ПЛИС

В статье предлагается метод диагностирования цифровых схем с программируемыми ПЛИС на этапе их изготовления. Метод основан на проведении самопроверки аппаратуры подачей теста, временно встроенного в существующую ПЛИС в изготовленном устройстве. Приведен алгоритм синтеза теста и анализ результатов диагностирования.

Ключевые слова: диагностика, цифровые схемы с программируемыми ПЛИС, встроенный тест, расширенный класс дефектов.

Создание современной цифровой аппаратуры на базе сверхбольших интегральных схем (СБИС) с программируемой структурой с одной стороны позволило существенно улучшить технические и функциональные характеристики оборудования, расширить область его применения, а с другой стороны значительно усложнило решение задач технической диагностирования такой аппаратуры[1].

Проведение процедуры диагностирования необходимо на всех этапах жизненного цикла изделия. На этапе изготовления контроль и диагностика являются обязательным условием получения качественной продукции. Вместе с тем именно при изготовлении в современной аппаратуре, реализованной в аппаратно-программном базисе, возникает широкий класс дефектов, включающий наряду с традиционными константными неисправностями большое количество дефектов других классов – коротких замыканий и т.д. [2].

Использование методов тестового диагностирования в большинстве случаев невозможно вследствие чрезвычайной громоздкости тестов и больших трудностей в их разработке[3].

Методы аппаратного контроля[4] требуют введения избыточной (контрольной) аппаратуры, что существенно усложняет и удорожает оборудование, объем которого резко увеличивается с расширением класса дефектов, подлежащих контролю. Вследствие изложенного использование данного подхода для этапа производственного контроля является неоправданным.

Предлагаемый в данной статье метод диагностирования цифровой аппаратуры, созданной на базе перепрограммируемых СБИС, основан на проведении процедуры самопроверки изготовленного устройства. Процедура самопроверки реализуется существующей ПЛИС, в которую на этапе контроля заносится тестовое обеспечение, называемое в дальнейшем встроенным тестом. После отладки устройства ПЛИС программируется в соответствии с рабочим алгоритмом.

Рассмотрим последовательность синтеза встроенного теста на базе ПЛИС, которую условно можно разделить на 4 этапа:

1. Определение блоков и линий проверки.

Для того чтобы диагностировать необходимое радиоэлектронное устройство нужно вычленив из всех его элементов те блоки и линии, которые возможны для проверки с помощью ПЛИС. Такими блоками могут быть передающие порты, устройства индикации и управления, выходы ПЛИС и т.п. В свою очередь, эти блоки могут быть разбиты еще на подблоки и межблочные соединения. Делается это для детализации и максимального уточнения места неисправности.

2. Определение множества дефектов.

Далее необходимо определить какие физические дефекты, которые соответствуют неисправностям в блоках, которые были выявлены на предыдущем шаге. Это могут быть различные одиночные константные неисправности, кратные константные неисправности, неустойчивые неисправности, а также дефекты компонентов, в виде нерабочих микросхем на проверяемой линии.

3. Составление общего алгоритма.

На этапе составления общего алгоритма тестирования, необходимо определиться с последовательностью диагностирования блоков. Также необходимо выбрать средства для разработки программного обеспечения для ПЛИС (обычно предоставляется производителем ПЛИС).

4. Анализ результатов диагностирования или подачи тестов.

На заключительном этапе идет интерпретация и анализ результатов диагностики. Интерпретация необходима в том случае, если нет возможности подключения к компьютеру и собственные средства индикации весьма ограничены. В этом случае создаются специальные таблицы с кодами ошибок, которые позволяют дешифровать полученные результаты. При очень сложных устройствах такие таблицы могут достигать большого размера, что ведет к замедлению и усложнению процесса диагностики. При достаточном количестве средств индикаций, пользователю, как правило, выводятся либо регистры состояния, либо различные флаги или уже расшифрованная статистика. После интерпретации необходимо произвести анализ полученных данных, который заключается в том, что анализируется тип неисправности, причина неисправности, возможности устранения или внесения корректировок в технологический процесс.

Рассмотрим общий алгоритм синтеза встроенного теста на примере платы, которая организует каналы связи по интерфейсам RS-232 и/или RS-485. Функциональная схема приведена на рисунке 2.

Данная плата содержит 4 порта передачи данных. Порты номер 1 и 2 имеют переключаемый тип интерфейса: либо RS-232, либо RS-485. Для портов 3 и 4 тип интерфейса – только RS-232.

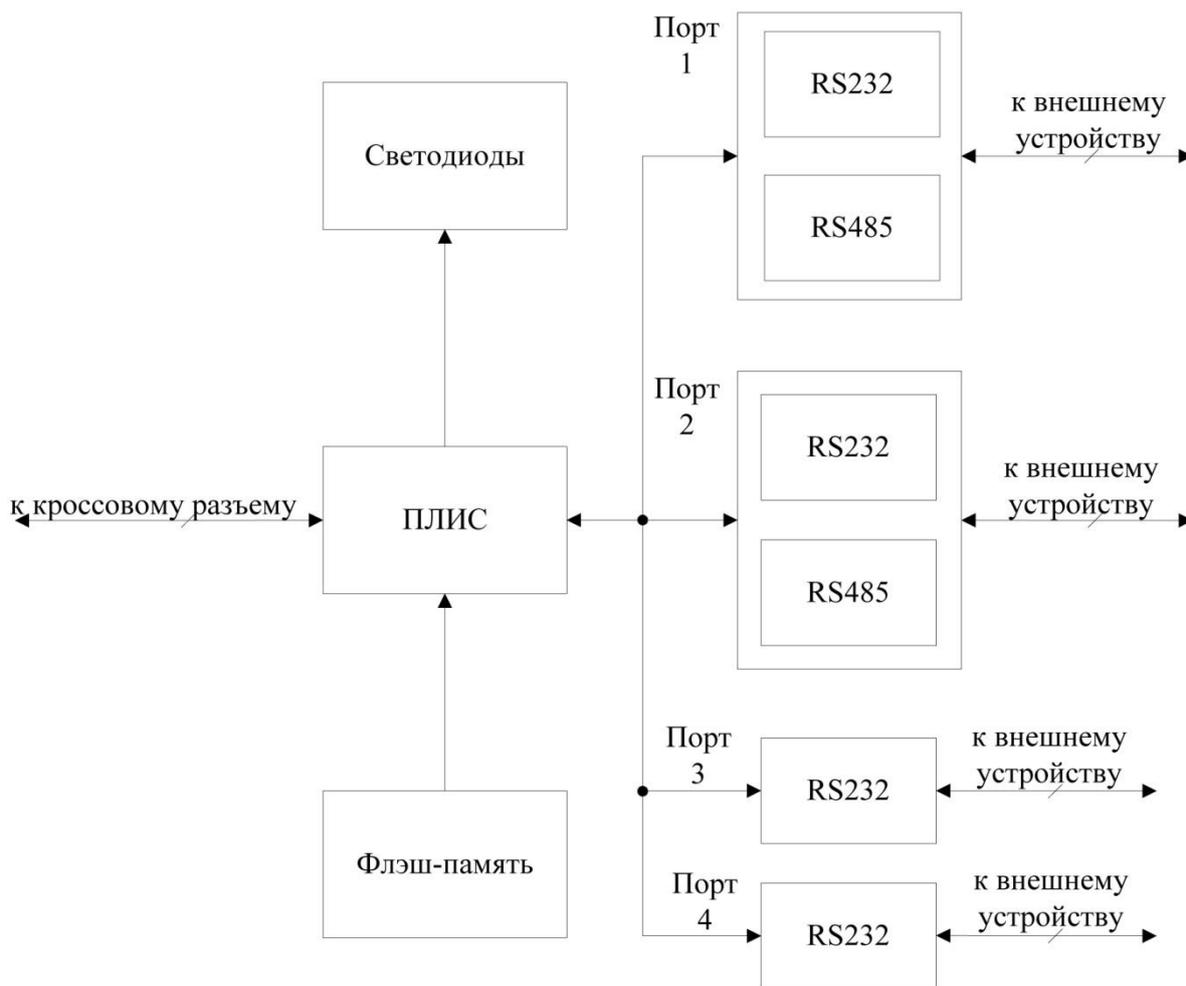


Рис. 2 – Функциональная схема

Из установленных на плате электрорадиоэлементов и функциональных блоков необходимо проверить: передающую линию RXD-TXD четырех портов RS232; линию квитирования RTS-CTS четырех портов RS232; восемь пар светодиодов; линию, ведущую к внутренней шине блока; линию кроссового разъема.

Также необходимо проверить время прихода и спада фронта сигнала на портах RS232. Это необходимо сделать для согласования со стандартами на последовательный порт RS232. Реализация данного алгоритма была выполнена в системе разработки программного обеспечения Quartus II для ПЛИС производства компании Altera на языке описания аппаратуры AHDL.

В начале теста на все последовательные порты устанавливаются перемычки, а также сама плата устанавливается в кассету через выноски (выноска представляет собой удлинитель с кроссовым разъемом под проверяемую плату и с разъемом под саму кросс-плату), на которой также напаяны необходимые перемычки. Вся тестовая информация выдается через последовательный порт путем подключения к нему персонального компьютера.

Рассмотрим последовательность проведения теста. Вначале происходит ожидание, которое необходимо для установления всех переходных процессов в ПЛИС и проверяемой плате. Далее идет проверка замыканий на выводах ПЛИС. Этот тест позволяет определить, произошло замыкание на землю или на питание. Выдача результата этого теста происходит позже, так как изначально в плату установлены перемычки для последующего теста последовательного порта. Реализуется этот тест путем назначения в ПЛИС каждого вывода двунаправленным, то есть можно как выдать, так и прочитать данные на нем. Соответственно, если выдавали логическую единицу, то должны получить единицу, если ноль, то ноль.

Тестирование последовательных портов происходит параллельно, путем выдачи тестового сообщения. Тестовое сообщение заворачивается с передатчика на приемник черезnapаянную перемычку. Выдача результата диагностики происходит на светодиод. Если горит зеленый – тест прошел успешно, если ничего не горит – то обнаружен какой-либо дефект и порт является неисправным. Затем, снимается одна из перемычек и подключается плата через порт RS232 к компьютеру и производит выбор последующих тестов через терминал. Сообщение посылается для того, чтобы устранить на пути следования сигнала неустойчивые неисправности, которые могут, как возникать, так и пропадать (например, плохой контакт).

Имеется возможность измерения времени прихода и спада фронта сигнала. Реализуется это посылкой одиночного импульса в порт через перемычку (где передатчик замкнут на приемник) с запуском счетчика. По принятию фронта происходит запоминание значения счетчика в регистр с выдачей в порт.

Тест «Бегущий огонек» позволяет визуально проверить работоспособность светодиодов, то есть все 8 пар светодиодов последовательно «зажигаются» и гаснут.

Тест «Проверка кроссового разъема» позволяет проверить замыкания на линиях, имеющих выход на кросс-плату. Выполняется этот тест также путем заворота сигнала через перемычки.

Последним действием на выбор является выдача информации о результате проверки замыканий на выводах ПЛИС.

Далее идет анализ полученных данных и их интерпретация, то есть, к примеру, в случае измерения фронта сигнала, полученное значение надо умножить на период тактовой частоты, так как выдается количество тактов, подсчитанное счетчиком и потом сравнить с технологическими условиями.

Таким образом, с помощью этого встроенного тест проверяется практически все элементы, к которым имеет доступ ПЛИС приведенной платы.

Предложенная методика позволяет диагностировать цифровые схемы с программируемыми СБИС на этапе изготовления. Метод не требует дополнительных аппаратных затрат, характеризуется простотой синтеза встроенного теста по сравнению с алгоритмическими методами и позволяет проверить большинство функциональных блоков к которым имеет доступ программируемая СБИС.

Список литературы

1. Подходы к тестовому диагностированию цифровых устройств / Е.Л. Кон, В.И. Фрейнман // Вестник ПНИПУ №6 – ПНИПУ, 2012. – С. 231-241.
2. Киселев В.В., Кон Е.Л., Шеховцев О.И. Автоматизация поиска дефектов в цифровых устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. Отделение, 1986. – 96 с.
3. Журавлев, Ю.П., Котелюк, Л.А., Циклинский, Н.И. Надежность и контроль ЭВМ. - М.: Советское радио, 1978. – 416 с.
4. Каган Б.М., Мкртумян И.Б. Основы эксплуатации ЭВМ. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 376с.
5. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Основы технической диагностики. – М.: Маршрут, 2004. – 318 с.

05.02.02

Г.Е. Кокиева к.т.н.

Бурятский филиал ФГОБУ ВПО Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, kokievagalia@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМА

В работе представлены результаты экспериментальных исследований ферментатора с трёхъярусным перемешивающим устройством (верхней, центральной и нижней). В частности, производительность ферментатора напрямую зависит от частоты вращения рабочего органа и конструктивных параметров устройства.

Ключевые слова: *ферментатор, рабочий орган ферментатора, перемешивающее устройство.*

Множество различных по конструкции ферментаторов находят своё широкое применение во всех вышеперечисленных отраслях производства.

Некоторые виды дефектов неисправимы (трещины, пережог), другие можно устранить последующими операциями механической или термической обработки.

Произведя контрольно-сравнительный системный анализ технико-эксплуатационных решений, выявили, что в большей степени снижает выход культуральной среды. А именно, средствами увеличения износостойкости деталей, вышедших из строя. Программой данной работы явилось: исследование аппарата для культивирования микроорганизмов, доработка и подготовка лабораторной установки, изготовление рабочих органов к ней, подбор измерительной аппаратуры и разработка методики экспериментов, подтверждение основных теоретических положений по выявлению роста микроорганизмов и выходу биомассы продукта на ферментаторе новой конструкции, оценка влияния перемешивающего устройства /3/.

Самым распространенным в пищевой, химической, биотехнологической промышленности привлекательными считаются процессы протекающие в системах: жидкость- газ- твердое тело. Эти процессы требуют присутствия трёх фаз в одном ферментаторе /1,2/.

Классификация оборудования приведена в таблице 1.

Таблица 1

Классификация оборудования

Типы ферментаторов (по способу подвода энергии)	Условия формирования поверхности контакта фаз
Барботажные и газлифтные	С образованием межфазной поверхности, за счёт подвода энергии.
Инжекционно - струйные	За счёт энергии насосов, осуществляющих циркуляцию жидкости.
Самовсасывающиеся, заглубленные мешалки и механические аэраторы	За энергии механического устройства, перемешивающего жидкость.
Аппараты с мешалками и принудительной подачей газа.	За счёт одновременного ввода энергии в рабочую среду мешалкой и газовой фазой.

Конструктивная особенность аппаратов для культивирования микроорганизмов зависит от производств, на которое оно нацелено.

Зависимость культивирования от конструктивной особенности приведена в таблице 2.

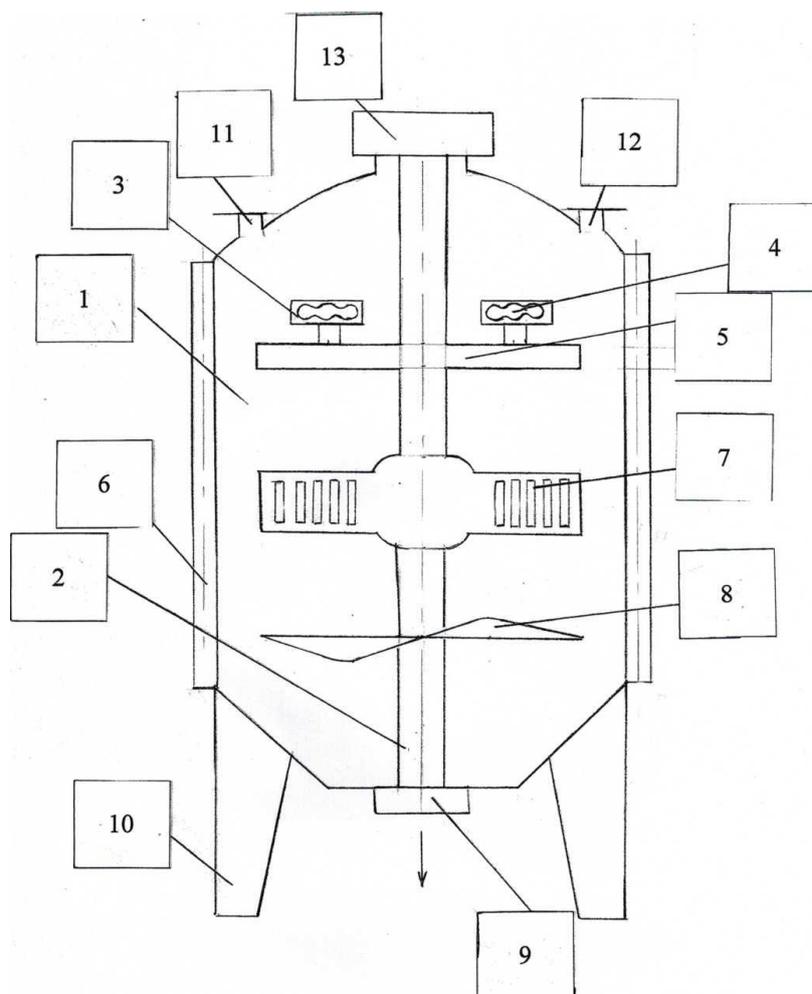
Таблица 2

Объекты	Конструктивная особенность
Грибы и бактерии	Имеют одностипную обвязку. В биотехнологическую «цепочку» входят: ферментаторы, вентиль для подачи культуральной среды, посевного материала, подпитки и т.д.
Клетки и ткани растений	Процесс размножения длится дольше, это вносит свои коррективы в конструктивную особенность ферментатора.
Клетки и ткани животных организмов	Более требовательны условия, применяются ферментаторы тихоходы.

Чаще всего с имеющейся классификацией конструктивных особенностей аппаратов, методы расчетов избираются единые, так как основные конструктивные элементы и режимы почти идентичны.

Ключевым параметром, характеризующим работу ферментатора является производительность и надёжность оборудования, коэффициент вариации, которые зависят от конструктивных параметров ферментатора и конструктивной особенности перемешиваемого устройства.

На рис.1 приведена схема ферментатора.



1-корпус; 2-вал; 3-козырёк Т-образной формы; 4-волнообразные вырезы в козырьке;

5-верхняя мешалка в форме диска с перфорированными отверстиями; 6-рубашка теплообменная; 7-мешалка центральная; 8-мешалка нижняя; 9-патрубок выгрузной;

10-основание; 11-патрубок для ввода питательной среды; 12-патрубок для отработанного воздуха; 13-электродвигатель.

Установка работает следующим образом:

Питательная смесь вместе с дрожжевым автолизатом и с солями, необходимыми для культивирования микроорганизмов вносится через питательный патрубок 12. Одновременно с вращением мешалок, которые приходят в движение от работы электродвигателя, вводится воздух через полый вал 2. Засекается время культивирования. Производятся необходимые замеры. По окончании культивирования выключается электродвигатель, и останавливается работа ферментатора. Схематично представлено перемешивающее устройство в сборке.

На валу 1 поярусно расположены верхняя 5 с радиально расположенными на ней Т-образной формы лопатками с волнообразными вырезами-4, затем центральная 7 и под ней располагается нижняя 8 мешалка.

Выполнение верхней мешалки в виде перфорированного диска со сквозными отверстиями и насаженными на неё Т-образной формы лопаток с прорезями в верхней части волнообразной формы (рис.2) позволяет исключить не только пеногаситель, но и совместить его с функциями перемешивания в ферментаторе, что позволяет упростить и облегчить конструкцию. Волнообразные прорези предназначены не только для выхода продуктов метаболизма, но и равномерного равноудаления и полного гашения пены.

Действие с пенообразованием происходит следующим образом: при вращении вала начинается вращаться и сама мешалка. Верхняя мешалка 5 выполнена в форме диска, по всей поверхности которой в радиальном направлении расположены лопатки Т-образной формы 3 с прорезями волнообразной формы 4. При вращении она равномерно распределяет внешнюю оболочку пенных пузырьков по поверхности среды, полностью устраняя её появление.

Центральная 7 мешалка выполнена в форме прямоугольника с продольными прорезями по всей поверхности, это способствует более полному перемешиванию в центральной зоне ферментатора.

Нижняя 8 мешалка выполнена в форме пропеллера, что не только не даёт оседать частицам на дно аппарата, но и максимально поднимает частицы до верхнего предела уровня культуральной жидкости в ферментаторе, что интенсифицирует процесс перемешивания по всему объёму аппарата. Предлагаемая конструкция имеет преимущества:

1. Выполнение верхней Т-образной формы мешалки с прорезями в козырьке волнообразной формы позволяет не только гасить пену, но и предотвращать её полное появление.

2. Благодаря выполнению центральной мешалки в форме прямоугольной пластины с продольными прорезями, происходит интенсивное и более полное перемешивания среды в ферментаторе.

3. Выполнение нижней мешалки в форме пропеллера не только предотвращает оседание частиц на днище аппарата, но и максимально поднимает частицы до верхнего предела уровня культуральной жидкости в ферментаторе, что интенсифицирует процесс перемешивания по всему объёму аппарата, что благоприятно сказывается не только на выходе, но и на качестве продукции.

Список литературы

1. *Билай В.И.* Основы общей микологии. - Киев: Вища школа, 1989, 390 с.
2. Биотехнология / Под ред. Егорова Н.С, Самуилова В.Д. - М.: Высшая школа, 1987. - кн.5. - 141 с.
3. *Кокиева Г.Е.* Аппарат для культивирования микроорганизмов. Патент РФ №47888. БИ №25, 2005.
4. *Кокиева Г.Е.* Аппарат для культивирования микроорганизмов. Патент РФ №58534.

05.08.01

Ю.А. Кузнецова, А.Е. Трухан

Поволжский государственный технологический университет,
факультет природообустройства и водных ресурсов, кафедра водных ресурсов,
Йошкар-Ола, KuznecovaYA@volgatech.net

ОБОСНОВАНИЕ МАСШТАБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Предложен критерий динамического подобия для моделирования циркуляционных движителей. Установлена взаимосвязь указанного критерия с иными критериями гидродинамического моделирования, получены соотношения масштабов моделирования геометрических, кинематических, динамических параметров циркуляционных движителей. Определена связь между масштабами моделирования судовых движителей.

Ключевые слова: судовые движители, критерии подобия, гидродинамическое моделирование, масштабы моделирования.

В процессе изучения требований, предъявляемых к движителям речных судов, разработан циркуляционный движитель, отличающийся простотой кинематической схемы. В циркуляционном движителе лопасти с осями, проходящими через центр длинной стороны, устанавливаются вертикально, в коридорном порядке относительно оси потока и приводятся во вращение таким образом, что индуцируемый поток направлен между рядами лопастей (рис. 1).

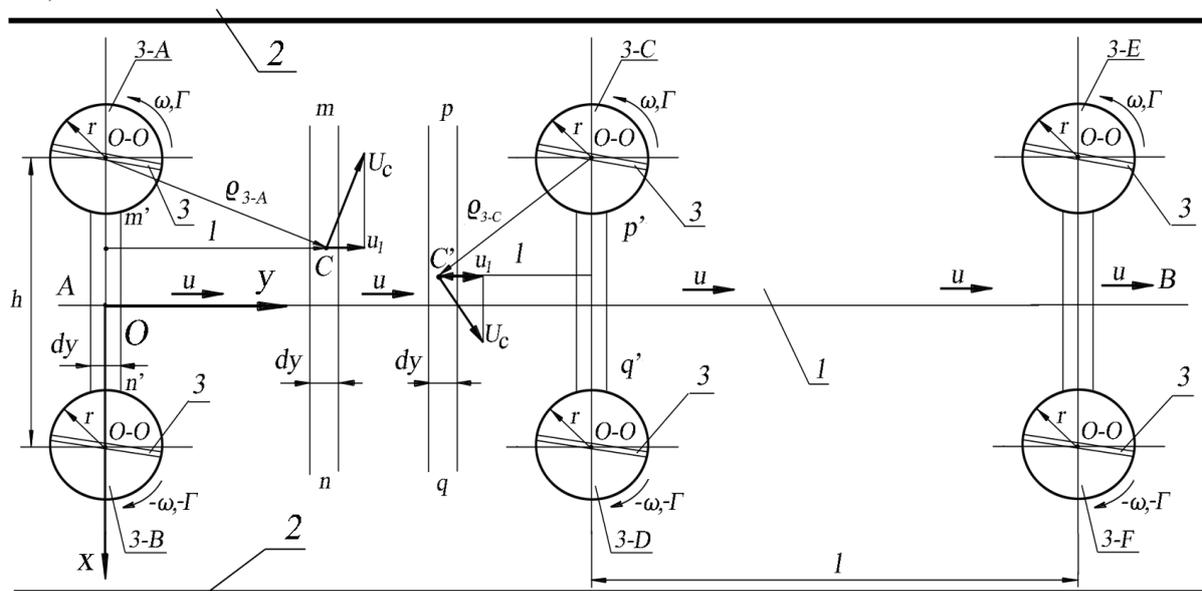


Рис. 1 – Схема работы циркуляционного пластинчатого движителя

В результате суммирования локальных скоростей, вызванных парами вихрей, эквивалентными вращающимся лопастям, найдена скорость потока

$$\bar{u}_1 = \frac{\bar{u}_0(h' - 2r)}{\ln(h'/r - 2)}, \quad (1)$$

где \bar{u}_0 – скорость между лопастями; $d_0 = h' - 2r$; h' – межлопастное расстояние; r , l – радиус и длина лопасти.

Скорость индуцированного потока

$$\bar{u}_1 = \varphi \bar{u}_0 d_0 / l, \quad (2)$$

где φ – коэффициент скорости, $\varphi = 1/\ln(h'/r - 2)$.

Поток, возбуждаемый парой вращающихся лопастей, соответствует затопленной

гидравлической струе, распространяющейся со скоростью

$$u_l = \varphi u_0 d_0 / l, \tag{3}$$

где u_0 – скорость струи в начальном сечении; d_0 – диаметр отверстия насадка; u_l – скорость на расстоянии l от начального сечения; φ – коэффициент скорости, $\varphi = 5,934$.

Струйное течение, сформированное начальными рядами тел, поддерживается за счет подвода энергии последующими рядами.

Развиваемая двигателем в потоке гидравлическая мощность

$$T = P v_s = \rho_s v_s^3 F_p - \rho \varphi_6 v_s u_\infty^2 F_p. \tag{4}$$

где P , v_s – упор двигателя и скорость потока у поверхности; F_p – площадь потока между лопастями; φ_6 – волновая функция двигателя, $\varphi_6 = Fr^2 e^{2/Fr^2}$; ρ , ρ_s – плотности невозмущенной и азрированной жидкости; Fr – число Фруда для пластины; u_∞ – скорость потока.

Для корректной экспериментальной проверки установленных теоретических положений необходимо соблюдение законов геометрического, кинематического и динамического подобия [1, 2, 3].

Для обеспечения геометрического подобия необходимо постоянство отношений между соответствующими линейными размерами модели и натуре.

Кинематическое подобие обеспечивается равенством отношения скоростей частиц жидкости на модели и в натуре при соблюдении геометрического подобия траекторий движения на обоих объектах.

Динамическое подобие требует сохранения равенства отношений между массами и силами, приложенными к частицам жидкости на модели и в натуре. Теория подобия основана на втором законе Ньютона. Чтобы сообщить частице жидкости массой m_m ускорение a_m , к ней следует приложить силу

$$F_m = m_m a_m. \tag{5}$$

Масса равна произведению плотности ρ_m на объем V_m , поэтому

$$m_m = \rho_m V_m = \rho_m K l_m^3, \tag{6}$$

где l_m – характерный размер модели; K – коэффициент формы частицы жидкости.

Ускорение равно

$$a_m = \frac{v_m}{t_m} = \frac{l_m / t_m}{t_m} = \frac{l_m}{t_m^2}, \tag{7}$$

где v_m – скорость жидкости на модели; t_m – интервал времени на приобретение жидкостью ускорения a_m .

После подстановки в формулу (5), получим:

$$F_m = K \rho_m l_m^3 \frac{l_m}{l_m^2} = K \rho_m l_m^2 v_m^2, \tag{8}$$

$$F_n = K \rho_n l_n^2 v_n^2. \tag{9}$$

Отношение между соответствующими силами для натуре и модели можно записать

$$\frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n l_n^2 v_n^2}{\rho_m l_m^2 v_m^2} = Ne = idem. \tag{10}$$

Это закон подобия Ньютона, Ne – число Ньютона.

В механически подобных явлениях отношение между двумя силами на модели и в натуре постоянно.

Когда на жидкость действуют силы различной природы, не удастся добиться одновременного подобия для всех сил. Поэтому необходимо так схематизировать изучаемое

явление, чтобы определилась главная сила, выражающая характер движения в количественном и качественном отношениях.

В рассматриваемом случае к основным законам подобия относятся законы Фруда, Рейнольдса и закон подобия, выражаемый отношением силы инерции к подъемной силе Жуковского [4].

Рассмотрим более подробно указанные законы подобия.

Закон подобия Фруда. В качестве основных сил рассматриваются силы тяжести, отношение между которыми для природы и модели равно

$$\frac{F_n}{F_m} = \frac{g_n \rho_n K l_n^3}{g_m \rho_m K l_m^3}, \quad (11)$$

где g_n и g_m – ускорения свободного падения соответственно в природе и на модели.

Сравнив это соотношение с (10), получим после сокращения

$$\frac{v_n^2}{v_m^2} = \frac{g_n l_n}{g_m l_m} \text{ или } \frac{v_n^2}{g_n l_n} = \frac{v_m^2}{g_m l_m} = \frac{v^2}{gl} = Fr = idem. \quad (12)$$

Это закон подобия Фруда, Fr – число Фруда.

Для проектирования моделей и пересчета результатов модельных испытаний в природу необходимо иметь масштабы моделирования, связывающие геометрические, кинематические и динамические характеристики.

Масштабы геометрического подобия по Фрудру имеют вид:

$$- \text{масштаб длин } \lambda_l = \frac{l_n}{l_m}; \quad (13)$$

$$- \text{масштаб площадей } \lambda_\omega = \frac{\omega_n}{\omega_m} = \frac{K l_n^2}{K l_m^2} = \lambda_l^2; \quad (14)$$

$$- \text{масштаб объемов } \lambda_w = \frac{W_n}{W_m} = \frac{K l_n^3}{K l_m^3} = \lambda_l^3. \quad (15)$$

При равенстве ускорений свободного падения на модели и в природе $g_n = g_m$ в виде и $g_m = \frac{v_m^2}{l_m}$, получим зависимость для масштабов скоростей

$$\frac{v_n^2}{l_n} = \frac{v_m^2}{l_m} \text{ или } \frac{v_n^2}{v_m^2} = \frac{l_n}{l_m}, \quad (16)$$

откуда следует

$$\lambda_v = \frac{v_n}{v_m} = \sqrt{\frac{l_n}{l_m}} = \lambda_l^{0,5}. \quad (17)$$

Масштаб времени имеет вид

$$\lambda_t = \frac{t_n}{t_m} = \frac{l_n}{v_n} \frac{v_m}{l_m} = \frac{\lambda_l}{\lambda_v} = \lambda_l^{0,5}. \quad (18)$$

Для масштаба чисел оборотов, связанных с масштабом времени обратно пропорциональной зависимостью, может быть получено выражение

$$\lambda_n = \frac{n_n}{n_m} = \frac{1/t_n}{1/t_m} = \frac{t_m}{t_n} = \lambda_l^{-0,5}. \quad (19)$$

Масштаб расходов имеет вид

$$\lambda_Q = \frac{Q_n}{Q_m} = \frac{v_n \omega_n}{v_m \omega_m} = \lambda_l^{0,5} \lambda_l^2 = \lambda_l^{2,5}. \quad (20)$$

Масштаб сил определяется выражением

$$\lambda_F = \frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n g_n K l_n^3}{\rho_m g_m K l_m^3} = \lambda_\rho \lambda_g \lambda_l^3, \quad (21)$$

что при равенстве плотности жидкости $\lambda_\rho = 1$ и ускорений свободного падения $\lambda_g = 1$ на модели и в натуре дает

$$\lambda_F = \lambda_l^3. \quad (22)$$

Для мощности можно получить следующее выражение

$$\lambda_N = \frac{N_n}{N_m} = \frac{F_n v_n}{F_m v_m} = \lambda_F \lambda_v = \lambda_l^3 \lambda_l^{0.5} = \lambda_l^{3.5}. \quad (23)$$

Закон подобия Рейнольдса. В законе Рейнольдса моделирование основано на учете сил внутреннего трения.

Силы внутреннего трения можно выразить в соответствии с законом внутреннего трения Ньютона (ньютоновские жидкости)

$$F_n = \mu_n \omega_n \frac{dv_n}{dh_n} \text{ и } F_m = \mu_m \omega_m \frac{dv_m}{dh_m}, \quad (24)$$

где h_n и h_m – координата нормальная потоку в натуре и на модели (в русловых потоках – его глубина); μ_n и μ_m – динамические коэффициенты вязкости жидкости в натуре и на модели.

Отношение этих сил в натуре и на модели равно

$$\frac{\mu_n \omega_n \frac{dv_n}{dh_n}}{\mu_m \omega_m \frac{dv_m}{dh_m}} = \frac{\mu_n l_n^2 \frac{v_n}{l_n}}{\mu_m l_m^2 \frac{v_m}{l_m}}. \quad (25)$$

Сравнение с законом подобия Ньютона дает

$$\frac{\rho_n l_n^2 v_n^2}{\rho_m l_m^2 v_m^2} = \frac{\mu_n l_n v_n}{\mu_m l_m v_m}. \quad (26)$$

С учетом выражения для коэффициента кинематической вязкости $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, получим

$$\frac{l_n v_n}{l_m v_m} = \frac{v_n}{v_m} \text{ или } \frac{l_n v_n}{v_n} = \frac{l_m v_m}{v_m} = \frac{l v}{v} = Re = idem. \quad (27)$$

По закону подобия Рейнольдса в механически подобных явлениях или процессах, протекающих под влиянием сил внутреннего трения, числа Рейнольдса для натуре и модели соответствующих элементов движения сохраняются.

При моделировании по Рейнольдсу геометрические масштабные характеристики принимаются такими же, как и при моделировании по Фрудру:

$$- \text{ масштаб длин } \lambda_L = \frac{l_n}{l_m}; \quad (28)$$

$$- \text{ масштаб площадей } \lambda_\omega = \lambda_l^2; \quad (29)$$

$$- \text{ масштаб объемов } \lambda_w = \lambda_l^3. \quad (30)$$

Однако кинематические и динамические масштабы изменяются.

Масштаб скоростей равен

$$\lambda_v = \frac{v_n}{v_m} = \frac{l_m v_n}{l_n v_m} = \frac{\lambda_v}{\lambda_l}, \quad (31)$$

где λ_v – масштаб кинематической вязкости.

При одинаковой вязкости жидкостей на модели и в натуре критерий упрощается

$$\lambda_v = \lambda_l^{-1}. \quad (32)$$

Масштаб времени имеет вид

$$\lambda_t = \frac{t_n}{t_m} = \frac{l_n v_m}{v_n l_m} = \lambda_l \frac{\lambda_l}{\lambda_v} = \frac{\lambda_l^2}{\lambda_v}. \quad (33)$$

Для жидкостей одинаковой вязкости

$$\lambda_t = \lambda_l^2. \quad (34)$$

Для масштаба чисел оборотов, связанных с масштабом времени обратно пропорциональной зависимостью, может быть получено выражение

$$\lambda_n = \lambda_l^{-2}. \quad (35)$$

Масштаб расходов имеет вид

$$\lambda_Q = \frac{Q_n}{Q_m} = \frac{v_n \omega_n}{v_m \omega_m} = \lambda_l^{-1} \lambda_v \lambda_l^2 = \lambda_l \lambda_v. \quad (36)$$

Для жидкостей одинаковой вязкости на модели и в натуре

$$\lambda_Q = \lambda_l. \quad (37)$$

Масштаб сил определяется выражением

$$\lambda_F = \frac{F_n}{F_m} = \frac{\mu_n \omega_n \frac{v_n}{l_n}}{\mu_m \omega_m \frac{v_m}{l_m}} = \frac{\mu_n l_n v_n}{\mu_m l_m v_m} = \lambda_\mu \lambda_l \lambda_v = \lambda_\mu \lambda_v, \quad (38)$$

что при равенстве динамических вязкостей жидкостей на модели и в натуре $\lambda_\mu = 1$ дает

$$\lambda_F = \lambda_l \lambda_v. \quad (39)$$

Для мощности можно получить следующее выражение

$$\lambda_N = \frac{N_n}{N_m} = \frac{F_n v_n}{F_m v_m} = \lambda_F \lambda_v = \lambda_\mu \lambda_l \lambda_v^2. \quad (40)$$

При равной вязкости это позволяет записать

$$\lambda_N = \lambda_l \lambda_v^2. \quad (41)$$

Закон подобия, выражаемый отношением силы инерции к подъемной силе Жуковского. Подъемная сила Жуковского F связана с действием циркуляции Γ линейной скорости v при вращении в жидкости плотностью ρ и определяется выражением

$$F = \rho v \Gamma \cdot l, \quad (42)$$

где l - длина тела, формирующего циркуляцию.

Образование циркуляционного течения связано с особенностью движения жидкости на криволинейных участках. Пусть поле скоростей жидкости искривлено (рис. 2).

Поместим в жидкость замкнутую трубку в виде петли постоянного сечения. При мгновенном замораживании жидкости, находящейся вне трубки, в ней сохранится количество движения. Жидкость будет двигаться и приобретет циркуляцию равную произведению средней касательной компоненты скорости на длину контура обхода.

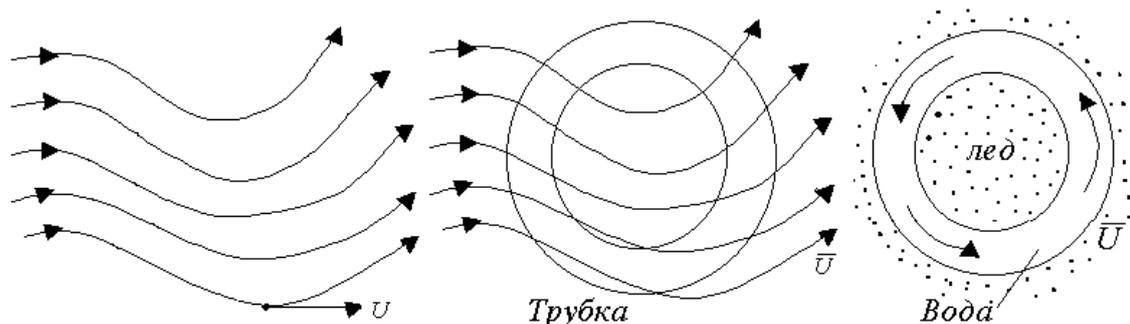


Рис. 2 – Образование циркуляции в поле скоростей жидкости

Для замкнутого контура запишем

$$\Gamma = \oint_S (u dx + v dy + w dz). \tag{43}$$

Рассмотрим вращение твердого тела (рис. 3)

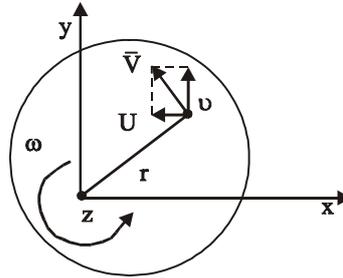


Рис. 3 – Вращение твердого тела

Если угловая скорость вращения ω_z относительно оси z , то скорость точки тела M равна $V = \omega_z r$, а ее проекции на оси x и y будут

$$u = -\omega_z y; v = \omega_z x; \omega = 0. \tag{44}$$

Определив значения $\frac{du}{dy}$ и $\frac{dv}{dx}$, получим

$$2\Omega_z = \frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy} = 2\omega_z, \tag{45}$$

т.е. $\Omega_z = \omega_z$.

Аналогично можно получить компоненты

$$\omega_x = \Omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{dw}{dy} - \frac{dv}{dz} \right);$$

$$\omega_y = \Omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{du}{dz} - \frac{dw}{dx} \right). \tag{46}$$

Вихрь вектора скорости жидкости $\bar{\Omega}$ определяется через вектор угловой скорости $\bar{\omega}$

$$\bar{\omega} = \bar{\Omega}. \tag{47}$$

Составим отношение подъемных сил Жуковского на модели и в натуре и приравняем их к отношению сил инерции из закона подобия Ньютона

$$\frac{\rho_n l_n^2 v_n^2}{\rho_m l_m^2 v_m^2} = \frac{\rho_n v_n \Gamma_n l_n}{\rho_m v_m \Gamma_m l_m}. \tag{48}$$

После сокращения получим

$$\frac{l_n v_n}{l_m v_m} = \frac{\Gamma_n}{\Gamma_m} \text{ или } \frac{l_n v_n}{\Gamma_n} = \frac{l_m v_m}{\Gamma_m} = Ju = idem. \tag{49}$$

Следовательно, в механически подобных явлениях или процессах, протекающих под воздействием сил Жуковского должны быть одинаковыми числа, названные нами числами Жуковского.

Моделирование по Жуковскому дает следующие масштабы геометрического подобия:

– масштаб длин $\lambda_l = \frac{l_n}{l_m}; \tag{50}$

– масштаб площадей $\lambda_\omega = \frac{\omega_n}{\omega_m} = \frac{Kl_n^2}{Kl_m^2} = \lambda_l^2; \tag{51}$

– масштаб объемов $\lambda_w = \frac{W_n}{W_m} = \frac{Kl_n^3}{Kl_m^3} = \lambda_l^3. \tag{52}$

Зависимость для масштабов скоростей имеет вид

$$\lambda_v = \frac{v_n}{v_m} = \frac{\Gamma_n l_m}{\Gamma_m l_n} = \frac{\lambda_\Gamma}{\lambda_l}. \quad (53)$$

Масштаб времени имеет вид

$$\lambda_t = \frac{t_n}{t_m} = \frac{l_n v_m}{v_n l_m} = \frac{\lambda_l}{\lambda_v} = \frac{\lambda_l^2}{\lambda_\Gamma}. \quad (54)$$

Для масштаба чисел оборотов, связанных с масштабом времени обратно пропорциональной зависимостью, может быть получено выражение

$$\lambda_n = \frac{n_n}{n_m} = \frac{1/t_n}{1/t_m} = \frac{t_m}{t_n} = \lambda_t^{-1} = \frac{\lambda_\Gamma}{\lambda_l^2}. \quad (55)$$

Масштаб расходов имеет вид

$$\lambda_Q = \frac{Q_n}{Q_m} = \frac{v_n \omega_n}{v_m \omega_m} = \lambda_v \lambda_l^2 = \lambda_\Gamma \lambda_l. \quad (56)$$

Масштаб сил определяется выражением

$$\lambda_F = \frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n v_n \Gamma_n l_n}{\rho_m v_m \Gamma_m l_m} = \lambda_\rho \lambda_v \lambda_\Gamma \lambda_l = \lambda_\rho \frac{\lambda_\Gamma}{\lambda_l} \lambda_\Gamma \lambda_l = \lambda_\rho \lambda_\Gamma^2, \quad (57)$$

что при равенстве плотности жидкости $\lambda_\rho = 1$ дает

$$\lambda_F = \lambda_\Gamma^2. \quad (58)$$

Для мощности можно получить следующее выражение

$$\lambda_N = \frac{N_n}{N_m} = \frac{F_n v_n}{F_m v_m} = \lambda_F \lambda_v = \lambda_\rho \lambda_\Gamma^3 \lambda_l^{-1}. \quad (59)$$

В основе формирования упора циркуляционными движителями лежит принцип воздействия на жидкость движущихся в ней твердых тел.

Жидкость полагается несжимаемой, поскольку скорости движения рабочих элементов пластинчатых движителей много меньше скорости звука в воде.

Основными силами являются силы инерции, вязкости и циркуляционная сила Жуковского. Давление в бесконечно удаленных от тела точках жидкости без учета сжимаемости не оказывает влияния на скоростное поле.

Определим характерные функции, подлежащие проверке при изучении работы пластинчатых движителей в случае установившегося движения.

Для оценки процессов формирования упора рассмотрим характеристики вихревых образований. В качестве такой характеристики может быть использована величина циркуляции скорости вязкой несжимаемой жидкости. С учетом установившегося движения тела, определяющими являются два безразмерных комплекса: угол атаки и число Рейнольдса Re , поэтому для циркуляции напомним равенство

$$\Gamma = \pi u d f(\alpha, Re),$$

где u - локальная скорость циркуляции жидкости; d - диаметр циркуляции (в случае прямоугольной пластины, вращающейся относительно своей продольной оси, диаметр циркуляции совпадает с шириной пластины); α - угол атаки, связанный с изгибом пластины или ее наклоном относительно радиального направления оси вращения; Re - число Рейнольдса, $Re = \frac{ud}{\nu}$; ν - коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Определение силовых характеристик при вращении движителя относительно вертикальной оси в установившемся режиме сводится к определению двух составляющих: циркуляционной силы F и лобового сопротивления W .

Величина циркуляционной силы может быть найдена из формулы Жуковского $F = |\rho v \Gamma|$, что позволяет записать для случая вязкой жидкости

$$F = \pi \rho u^2 d^2 f(\alpha, Re), \quad (60)$$

где ρ - плотность жидкости.

При увеличении скорости вращения или линейных размеров движителя число Рейнольдса возрастает. Для сохранения вязкости число Рейнольдса должно оставаться постоянным. Следовательно, если увеличивается произведение ud , то для сохранения динамического подобия следует увеличивать коэффициент динамической вязкости. Отсюда также следует, что при скорости вращения движителя в одной и той же жидкости эффект влияния вязкости падает с увеличением скорости вращения и размеров пластины.

При малых скоростях вращения число Рейнольдса уменьшается, а роль сил вязкости увеличивается.

Из сравнения рассмотренных соотношений (табл. 1) заключаем, что решение экспериментальных задач формирования упора P сводится к определению вида функции $f(\alpha, Re)$.

Выводы для случая установившегося движения, жидкости могут быть обобщены на случай работы пластинчатого движителя. В задаче о движителе рассматривается составное движение, включающее кроме вращения пластины относительно продольной оси еще и поступательного движения совместно с судном.

Таблица 1 – Особенности физического моделирования процессов формирования потоков

Критериальное уравнение установившегося движения	Модель жидкости	Критерии подобия				
		Re	Fr	St	Прочие	Совместимость
$\Gamma = \pi u d f(\alpha, Re)$	вязкая	+	-	-	α	+
$F = \pi \rho u^2 d^2 f(\alpha, Re)$	вязкая	+	-	-	α	+
$P = \rho u^2 d^2 f(\alpha, Re)$	вязкая	+	-	-	α	+

При движении пластинчатого движителя с постоянной скоростью v в состав определяющих параметров следует ввести угловую скорость вращения, выраженную, например, через число оборотов пластины $n = \frac{u}{\pi d}$ в единицу времени. Безразмерный параметр, добавляемый к характеристикам поступательного движения движителя, в этом случае представляет относительную поступь движителя $\frac{v}{nd} = \pi \frac{v}{u}$.

В идеальной жидкости система определяющих параметров имеет вид α, d, v, n или, в безразмерной форме, $-\alpha, S$, где используется выражение для относительной теоретической поступи движителя в виде $\frac{v}{\pi nd} = \frac{2v}{kd} = S$; k – частота вращения винта, рад/с; n – число оборотов винта, 1/с.

Циркуляционная сила Жуковского и ее коэффициент C_y в этом случае определяются по формулам

$$F = \rho n^2 d^4 f(\alpha, S); \tag{61}$$

$$C_y = f(\alpha, S).$$

Профильное сопротивление и его коэффициент C_x при этом равны

$$P = \rho n^2 d^4 f(\alpha, S); \tag{62}$$

$$C_x = f(\alpha, S).$$

Для проведения экспериментов на моделях следует минимально допустимый линейный размер модели. Одним из факторов, определяющих размер модели, является исключение влияния поверхностного натяжения. Поскольку величина поверхностного натяжения для воды при нормальных условиях равно 0,0728 Н/м, то из условий равновесия на линии контакта трех сред получим условие

$$\rho g z - \delta(1/R_1 + 1/R_2) = const, \quad (63)$$

где R_1, R_2 – радиусы кривизны поверхностей раздела при пересечении ортогональными плоскостями.

Характерный размер в этом случае определяется в виде

$$\Delta h = (\delta / \rho g)^{1/2}. \quad (64)$$

Для чистой воды этот параметр при нормальных условиях равен $\Delta h = 0,0027$ м. Из условия искажения линейного масштаба не более 5 % запишем условие $d > 0,054$ м.

Точность измерительных приборов определяет предельный линейный масштаб моделирования из динамического условия

$$k_1 \geq \left[\frac{F_n \cdot \Delta \cdot 100}{F_{max} \cdot k_{II}} \right], \quad (65)$$

где F_n – максимальное натурное усилие, Н; Δ – относительная ошибка измерения (по отраслевой норме 5%); F_{max} – предел измерения прибора, Н; k_{II} – класс точности прибора (обычно до 2,5 %).

Выбирая базисные масштабы подобия для каждой из функций, определим с их помощью производные масштабы подобия (табл. 2). С целью упрощения проведения экспериментов масштабы величин g и ρ оставляем неизменными: $\lambda_g = 1$ и $\lambda_\rho = 1$. Вязкость жидкости также принимаем постоянной и $\lambda_\nu = 1$.

Таблица 2 – Масштабы подобия для исследуемых зависимостей

Функция	Независимые масштабы	Производные масштабы	Постоянные масштабы
$f(\alpha, Re)$	λ_l	$\lambda_u = \lambda_l^{-1}$	$\lambda_\alpha, \lambda_\rho, \lambda_\nu$
$f(\alpha, S)$	λ_l	$\lambda_v = \lambda_l^{-1}$	λ_ρ, λ_t

Следовательно, программа экспериментов включает определение шести двухфакторных зависимостей.

При работе гидравлического лотка от насосной станции с насосом 3К-6 обеспечивается максимальный расход $Q_n = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ (при $n = 2900 \text{ об/мин}$, $H = 50 \text{ м}$). Скорость потока в лотке сечением $0,3 \times 0,3 \text{ м}$ и площадью живого сечения $S = 0,25 \cdot 0,3 = 0,075 \text{ м}^2$ может достигать значения $v_{max} = Q_n / S = 2,1 \text{ м/с}$. Реально достигаемая скорость составила 2 м/с . При моделировании по Рейнольдсу $\lambda_\nu = \lambda_l^{-1}$ с линейным масштабом $\lambda_l = 50$ находим $\lambda_\nu = 0,02$, и для обеспечения подобия требуется создание скоростей на модели $v_m = 0,04 \text{ м/с}$.

Моделируемая скорость при этом удовлетворяет условию $v_n > 1 \text{ м/с}$, что вполне достаточно для моделирования пластин размером $d_n = 0,03 \dots 0,04 \text{ м}$.

На основе систематических опытов с указанными зависимостями строятся регрессионные соотношения.

Анализ динамических факторов, влияющих на процесс формирования упора циркуляционными движителями, показывает, что помимо критериев Фруда и Рейнольдса необходимо учитывать силу, вызываемую циркуляцией пластин. Предложенный динамический критерий Жуковского $Ju = \frac{l v}{\Gamma} = idem$, представляющий собой отношение силы, действующей на обтекаемые потоком тела с вынужденной циркуляцией, к силам инерции, позволяет обосновать экспериментальные параметры и масштабы моделирования судовых движителей.

Список литературы

1. *Баловнев, В.И.* Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин/ В.И. Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
2. *Гухман, А.А.* Введение в теорию подобия/ А.А. Гухман. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.
3. *Седов, Л.И.* Методы подобия и размерности в механике/ Л.И. Седов. – М.: Наука, 1972. – 375 с.
4. *Жуковский Н.Е.* Собр. соч. Т.IV / Н.Е. Жуковский. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1949. – 652 с.

05.22.08

Н.В. Куклева, Д.Н. Куклев

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
кафедра «Технология транспортных процессов и логистика»,
Хабаровск, Kukleva.natalya@bk.ru, boblok@mail.ru

О МЕТОДИКАХ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ОБОСНОВАНИЕ ВВЕДЕНИЯ СКОРОСТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Увеличение скоростей движения пассажирских поездов за счет реконструкции существующих линий является весьма затратным, причем, как с экономической стороны, так и с точки зрения затрат времени. При этом возникает потребность иметь в наличии методики, позволяющие принимать необходимые решения как при рассмотрении отдельного раздельного пункта с путевым развитием, так и линии в целом. В данной статье поднимается вопрос о необходимости разработки методик, которые бы применялись для решения различных задач при обосновании подготовки раздельных пунктов железнодорожных линий к введению скоростного движения пассажирских поездов.

Ключевые слова: *скоростное движение, пассажирские поезда, методики обоснования, реконструкция, железнодорожные станции, раздельные пункты с путевым развитием, высокоскоростные специализированные магистрали.*

Введение

Повышение скоростей движения пассажирских поездов всегда было одной из приоритетных задач, как ученых-транспортников, так и специалистов-практиков. Весь мир с момента появления железных дорог идет по пути развития именно в направлении ускорения перевозочного процесса, причем как в сфере пассажирских, так и грузовых перевозок. И если резерв уменьшения времени нахождения в пути грузов находится в большей степени в повышении скорости за счет устранения «барьерных» мест, где подвижной состав (поезда, вагоны) задерживается, как принято говорить, вследствие непроизводительных простоев по тем или иным причинам, то для ускорения продвижения пассажиров требуется непосредственное повышение ходовых скоростей движения поездов. Последнее является, чаще всего, комплексным мероприятием, что несет в себе огромные людские, финансовые и временные затраты. Поэтому целесообразность повышения скоростей движения должна быть тщательно обоснована, для чего необходимо иметь методики, позволяющие решить поставленные задачи в зависимости от имеющихся исходных данных, рассматриваемого полигона и требуемой степени точности. Данные вопросы к настоящему моменту, по мнению авторов статьи, исследованы в науке недостаточно, что обуславливает несомненную актуальность данной работы.

Основная часть

Перед тем, как начать характеризовать существующие методики, необходимо пояснить, каким образом вообще могут быть повышены скорости движения пассажирских экспрессов.

В мировой практике увеличение скорости движения пассажирских поездов (в системе «колесо – рельс») идет тремя путями:

- 1) повышение скоростей на существующих железнодорожных линиях до 200 км/ч за счет модернизации инфраструктуры – в этом случае движение считается *скоростным*;
- 2) строительство новых высокоскоростных специализированных магистралей (ВСМ);
- 3) комбинирование первых двух способов, когда пассажирские поезда могут идти по ВСМ с заходом на реконструированные участки существующих железнодорожных линий.

Практика развития железнодорожных отраслей за рубежом показывает, что каждый из этих вариантов имеет право на существование в зависимости от определяющих факторов.

Так, например, в Германии было принято решение о невозможности строительства отдельной ВСМ, поскольку это бы вызвало дополнительные нагрузки на окружающую среду, проживающее вдоль железнодорожной магистрали население, необходимость устройства новых развязок в разных уровнях, мостов и т.д. В Японии – родине ВСМ, пришли к необходимости их строительства вследствие наличия достаточно больших пассажиропотоков, а во Франции успешно сочетают ВСМ и обычные линии [1].

Россия пока не может похвастаться сетью скоростных линий (эксплуатируются в настоящее время такие линии, как Санкт-Петербург – Москва, Санкт-Петербург – Буловская – Хельсинки, Москва – Нижний Новгород), а высокоскоростные пока есть только на бумаге. Стратегией развития железных дорог Российской Федерации на период до 2030 года [2] предусматривается существенное развитие скоростного движения, и даже высокоскоростного, например, Санкт-Петербург – Москва, Москва – Казань – Екатеринбург.

Толчок для развития даст, несомненно, предстоящий в 2018 году в нашей стране чемпионат мира по футболу, в рамках подготовки к которому будут сделаны шаги в данном направлении.

В статье авторы рассматривают вопросы, касающиеся введения обращения скоростных поездов, что, несомненно, несет в себе значительно больше проблем, нежели строительство абсолютно новых трасс, где будут обращаться в основном высокоскоростные пассажирские поезда.

Задачей повышения скоростей пассажирских поездов является обеспечение населения в качественных перевозках с минимальными затратами при получении максимального эффекта. Одной из проблем является определение капитальных вложений на переустройство малых отдельных пунктов с путевым развитием (промежуточных станций и обгонных пунктов). Анализ существующих немногочисленных методик по определению капитальных затрат в переустройство позволил констатировать, что они базируются именно на данных, полученных по станциям.

Постановка задачи всегда начинается от общего к частному: выбирается направление, затем линия и потом переходят к станции, и, уже имея информацию по каждому отдельному пункту с путевым развитием, принимают решение о целесообразности предлагаемого мероприятия (рис. 1). Однако данный алгоритм не отражает особенности, которые могут быть в зависимости от имеющихся исходных данных, ограничений и требуемых результатов.



Рис. 1 – Порядок рассмотрения объектов исследования

Что касается переустройства отдельных станций, то данная работа достаточно трудоемка. На рис. 2 представлен вариант реконструкции горловины промежуточной станции под скоростное движение, где видно, что для введения скоростного движения требуется выполнить разнообразные работы – по верхнему строению пути, зданиям и сооружениям и др.

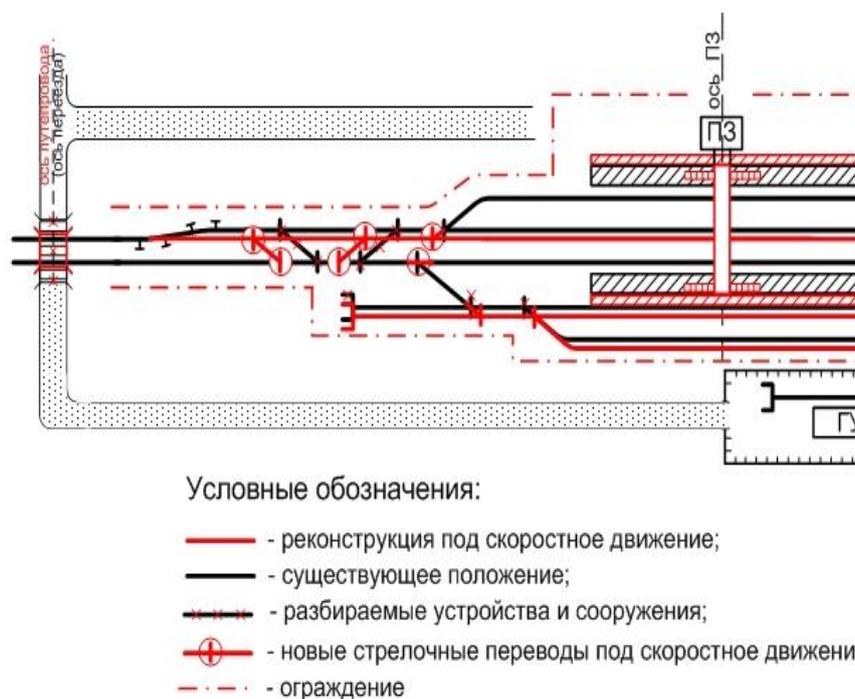


Рис. 2 – Схема переустройства горловины промежуточной станции под скоростное движение

При рассмотрении станции на стадии проекта, когда требуется рассматривать станцию детально, этот процесс достаточно трудоемок и затратен по времени. В настоящее время существует методика, позволяющая на предпроектной стадии не рассматривать станции очень подробно, а посредством сбора и анализа ряда данных приблизительно рассчитать необходимые капитальные вложения в реконструкцию [3]. Но для принятия решения о целесообразности реконструкции конкретного раздельного пункта необходимо определить эффективность данного мероприятия, что может быть сделано за счет сокращения времени хода пассажирских экспрессов по соответствующей методике [4, 5].

Что же касается методик по обоснованию эффективности введения скоростного движения на линии (направлении), то этот вопрос требует внимательного рассмотрения. Здесь многое зависит от рода решаемых *задач*, например:

- реконструкция под определенный уровень скорости всех станций;
- переустройство под заданный уровень скорости станций, дающих максимальный эффект при минимальных затратах;
- поиск рационального уровня скорости для каждого раздельного пункта в отдельности;
- получение максимального эффекта при ограниченных финансовых возможностях.

Так, например, алгоритм поиска решения задачи обоснования эффективности переустройства линий (направлений) с целью введения скоростного движения для второй задачи авторами предлагается решать в порядке, приведенном на рис. 3.

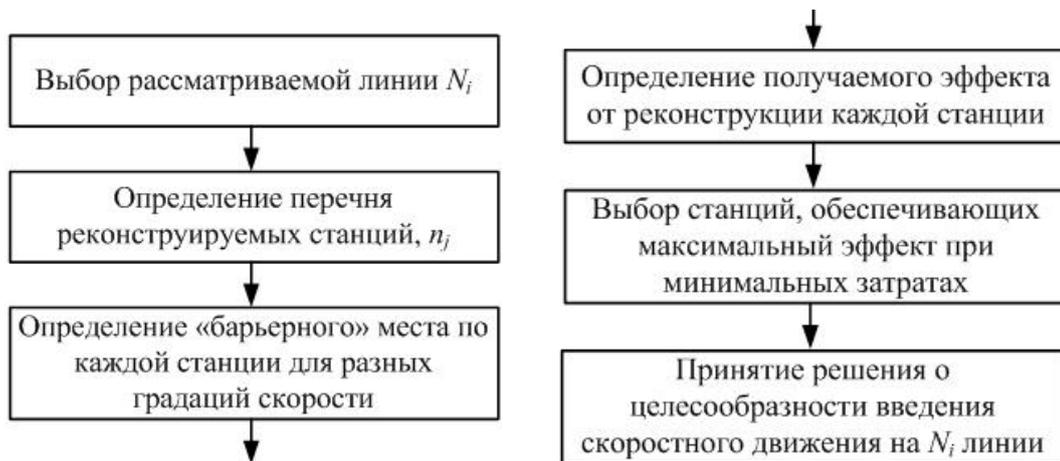


Рис. 3 – Последовательность определения эффективности переустройства линии под скоростное пассажирское движение

Заключение

К сожалению, готовых «рецептов» в данной области к настоящему моменту в науке нет, исходя из того, что слишком многие факторы влияют на результат. Первым из них, несомненно, должен рассматриваться достаточный уровень пассажиропотока, поскольку, если пассажиры не будут пользоваться скоростными поездами на данном направлении, как это случилось со скоростным поездом Санкт-Петербург – Нижний Новгород [6], то без преувеличения громадные затраты будут потрачены зря. Принимаемые в итоге решения должны иметь должный уровень обоснования, при этом по возможности быть не слишком затратными по времени и средствам.

В связи с изложенным, авторы данной статьи намерены развивать данное направление в целях разработки конкретных рекомендаций при различных исходных параметрах и требуемых выходных данных.

Список литературы

1. *Медведева, Н.В.* Перспективы совместного использования высокоскоростных специализированных магистралей и существующих линий Известия ПГУПС, СПб., ПГУПС, вып. 3 (12), – 2007. – С. 16 – 27.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение от 11 июня 2014 года №1032-р [Электронный ресурс]: <http://government.ru>
3. *Медведева, Н.В.* «Переустройство промежуточных отдельных пунктов для повышения скорости движения пассажирских поездов до 200 км/ч», автореферат дисс... канд. техн. наук – СПб.: ПГУПС, 2008. – 24 с.
4. *Костенко, В.В.* Выбор основных параметров стрелочных переводов для высокоскоростных магистралей. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 1997. – 24 с.
5. *Суходоев, В.С.* Станции специализированных железнодорожных магистралей. Часть I. Станции высокоскоростных и скоростных железных дорог / В.С. Суходоев, Ю.И. Ефименко, Г.С. Томилина, В.В. Костенко // уч. пособие. СПб.: ПГУПС, 1999. – 121 с.
6. «Российские железные дороги» отменяют маршрут поезда «Сапсан» сообщением Санкт-Петербург – Нижний Новгород [Электронный ресурс]: <http://niann.ru/?id=397087>

05.17.01

М.А. Куликов, С.Г. Козлов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, kulikov.74@list.ru

ПРОБЛЕМА ОТЛОЖЕНИЯ НЕРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАКУУМ-КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ОАО «УРАЛКАЛИЙ»

В статье кратко рассмотрена работа вакуум-кристаллизационной установки сильвинитовой обогатительной фабрики ОАО «Уралкалий». Обозначена проблема отложения нерастворимых солей на различных участках технологической схемы. Приведён состав отложений на конденсатных трубах, основным компонентом которых является карбонат кальция. Выявлены пути поступления солей кальция в циркулирующие потоки.

Ключевые слова: вакуум-кристаллизационная установка, сильвинитовая обогатительная фабрика, процесс солеотложения, цинковый комплекс ОЭДФ.

Галургический способ получения хлорида калия, реализованный на сильвинитовой обогатительной фабрике четвёртого Березниковского калийного производственного рудоуправления (СОФ БКПРУ-4) ОАО «Уралкалий», включает переработку сильвинитовой руды методом растворения с последующей кристаллизацией хлорида калия из осветлённого насыщенного раствора. Процесс кристаллизации хлорида калия осуществляется на регулируемой вакуум-кристаллизационной установке (РВКУ), состоящей из семи последовательно расположенных корпусов. Кристаллизация хлорида калия осуществляется как за счёт снижения температуры раствора, так и за счёт уменьшения количества воды в растворе в связи с её испарением.

Установка регулируемой вакуум-кристаллизации позволяет получить крупнокристаллический продукт путём регулирования числа центров кристаллизации. Это происходит за счёт кристаллизации хлорида калия на поверхности уже существующих кристаллов и ограничения образования новых кристаллов путём их растворения или удаления из зоны кристаллизации. Вакуум-кристаллизатор представляет собой сочетание вакуум-испарителя, в котором происходит испарение части воды, и кристаллорастителя, в котором происходит кристаллизация твёрдой фазы из пересыщенного раствора.

Вакуум создаётся за счёт конденсации растворного пара в поверхностных и барометрических конденсаторах, а также системой паровых эжекторов и водокольцевых вакуум-насосов. Температура, до которой охлаждается насыщенный раствор на РВКУ, определяется температурой охлаждающей воды, подаваемой на конденсацию растворного пара.

Процесс кристаллизации хлорида калия на РВКУ сопровождается рекуперацией тепла горячего насыщенного раствора. Вакуум-кристаллизаторы первой части РВКУ, в которых охлаждение насыщенного раствора происходит от 95-97 °С до 55-65 °С, а температура растворного пара составляет от 79-87 °С до 50-55 °С, связаны с поверхностными конденсаторами и работают с рекуперацией тепла растворного пара. Растворный пар первой части РВКУ, конденсируясь в поверхностных конденсаторах, нагревает оборотный маточный раствор после последней ступени вакуум-кристаллизации. Раствор проходит последовательно через поверхностные конденсаторы и нагревается от 28-40 °С до 65-75 °С. Конденсат растворного пара первой части РВКУ используется в технологическом процессе непосредственно на установке.

Рекуперация тепла растворного пара второй части РВКУ, в которой охлаждение раствора происходит от 55-65 °С до 30-40 °С, нецелесообразна. Это обусловлено тем, что растворный пар имеет низкую температуру – от 50-55 °С до 24-33 °С. В этой связи конденсацию

растворного пара второй части РВКУ проводят охлаждающей водой в барометрических конденсаторах, вторая часть установки работает с тепловыми потерями.

Для поддержания водного баланса производства осуществляется подпитка потока конденсата минерализованной либо промышленной оборотной водой. Химический состав минерализованной воды, промышленной воды и конденсата представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав минерализованной, промышленной воды и конденсата

Компонент (ион)	Состав, мг/дм ³		
	минерализованная вода	промышленная вода	конденсат
K ⁺	2435,0	1,2	30,0
Na ⁺	3116,0	8,7	30,0
Ca ²⁺	127,0	70,4	20,0
Mg ²⁺	38,0	15,6	20,0
HCO ₃ ⁻	119,0	-	22,3
CO ₃ ²⁻	отс.	-	6,0
SO ₄ ²⁻	145,0	42,1	10,0
Cl ⁻	7156,0	29,2	10,0

Постепенно на внутренней поверхности конденсатных труб РВКУ образуются отложения нерастворимых солей (рис.1), приводящие к увеличению гидравлического сопротивления трубопроводов и, как следствие, к увеличению энергозатрат на транспортировку конденсата. Кроме этого, возрастают затраты на чистку трубопроводов либо на их замену.



Рис.1 – Последствия процесса солеотложения на внутренней поверхности конденсатных труб РВКУ

Для определения химического состава отобранны и проанализированы несколько проб солеотложений с конденсатных труб, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа проб отложений

Определяемый показатель	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
MgO, %	3,3	3,8	3,9
CaO, %	44,4	43,3	42,3
SO ₄ ²⁻ , %	2,1	1,7	1,9
SiO ₂ , %	2,9	3,6	5,5
Fe ₂ O ₃ , %	0,2	0,9	0,2
CO ₃ ²⁻ , %	71,7	71,7	71,7
Цвет пробы	Тёмно-коричневый		
Расчётные данные			
CaCO ₃ , %	79,32	78,28	75,55
MgCO ₃ , %	6,89	7,95	8,08

Данные табл. 2 показывают, что основным компонентом отложений является нерастворимый карбонат кальция с примесью карбоната магния, то есть соли жёсткости. Коричневая окраска проб обусловлена присутствием оксида железа – продукта коррозии металлических материалов.

Анализируя данные табл. 1 можно сделать вывод, что именно подпиточная вода поставляет в систему основное количество солей жёсткости. При смешении подпиточной воды с горячим конденсатом растворимые гидрокарбонаты кальция и магния переходят в нерастворимые карбонаты и откладываются на поверхности конденсатных труб. Более растворимый сульфат кальция остаётся в растворе и циркулирует в системе. По мере насыщения потоков сульфатом кальция, последний начинает кристаллизоваться на теплообменных поверхностях. В этом случае состав отложений [1] кардинально отличается от состава отложений с конденсатных труб.

Для снижения интенсивности процесса солеотложения в производстве хлорида калия на СОФ БКПРУ-4 предложено использовать цинковый комплекс 1-гидроксиэтилидендифосфоновой кислоты (Zn-ОЭДФ) [1]. Этот ингибитор хорошо зарекомендовал себя в системах промышленной водоподготовки [2, 3]. В работе [1] предложена рабочая концентрация ингибитора в циркулирующих потоках, приведены необходимые расчётные формулы для определения расхода реагента.

В настоящее время на СОФ БКПРУ-4 ведётся монтаж оборудования для приготовления раствора реагента и его подачи в технологический процесс.

Список литературы

1. 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.
2. Чаусов Ф.Ф. Сравнительные испытания фосфонатоцинкатных ингибиторов солеотложений и коррозии. – Сантехника. Отопление. Кондиционирование, 2008. № 5. С. 16 – 25.
3. Павлухина Л.Д., Ракчеева Л.В., Дружинская О.М. Вопросы реагентной обработки воды в системах водооборотных циклов предприятий по производству минеральных удобрений. – Сборник докладов IV Конференции «Современные методы водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования», Москва, 25-26 октября 2011. С. 71 – 74.

05.07.09

М.В. Курчанов

Тульский государственный университет, институт высокоточных систем им. В.П. Грязева,
машиностроительный факультет, кафедра «Ракетное вооружение»,
Тула, maxkurchanov@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТДЕЛИВШЕГОСЯ СТАРТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА МАРШЕВУЮ СТУПЕНЬ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА БИКАЛИБЕРНОЙ СХЕМЫ

Статья посвящена определению воздействия отделившегося стартового двигателя на маршевую ступень (МС) летательного аппарата (ЛА) бикалиберной схемы.

В работе получены распределение параметров воздушного потока за донным срезом МС при отделении стартового двигателя, определены силы действующие на разделяемые части ЛА бикалиберной схемы. На основании полученных результатов исследования сделан вывод о возможности неустойчивого движения ЛА при разделении ступеней.

Ключевые слова: бикалиберная схема, маршевая ступень, разделение, стартовый двигатель, угол атаки.

В конструкциях многих ракет (преимущественно, зенитных) для придания им высокой скорости полета на начальном участке траектории применяют стартовый двигатель, обычно отделяющийся от ракеты после выгорания стартового топлива, имеющий тандемное заднее расположение и, в ряде случаев, больший калибр (бикалиберная схема), как, например, в ракете Wolverine фирмы ВАС Великобритании (ЗУР 9М311 зенитного ракетно-пушечного комплекса (ЗРПК) «Тунгуска», ЗУР 57Э6-Е ЗРПК «Панцирь-С1»).

После интенсивного разгона и отделения стартового двигателя подкалиберная маршевая ступень имеет слабо торможенный полет и не требует дополнительного маршевого двигателя.

При проектировании таких ракет следует исходить из того, что:

- калибр маршевой ступени должен быть минимальным и определяется в основном возможностями научно-технической базы по минимизации объема блоков аппаратуры управления;

- длина маршевой ступени определяется составом бортовой аппаратуры управления и опять же возможностями научно-технической базы по ее минимизации;

- общая длина ракеты и ее масса должны быть минимальными для уменьшения инерционно-массовых характеристик ракеты, влияющих на ее управляемость в полете, а также на быстроту реакции комплекса (для уменьшения мощности приводов).

Одним из основных требований, предъявляемых к конструкции ракеты, является жесткое соединение маршевой ступени с двигателем на разгонном участке и отсутствие возмущений, действующих на маршевую ступень управляемой ракеты в процессе их разделения.

Недостатком указанной конструкции являются значительные возмущения, действующие на маршевую ступень управляемой ракеты при разделении. Это связано с наличием управляющего сигнала на стартовом участке, вызывающего отклонение органов управления (рулей) и, соответственно, появление управляющего момента, передаваемого на кормовую часть маршевой ступени, взаимодействующую с посадочным диаметром гнезда в стартовом двигателе. При этом радиальное усилие взаимодействия парируется стартовым двигателем, выполняемым, как правило, стабилизированным за счет своего хвостового оперения, во все время стартового совместного полета ступеней, а при разделении - все время относительного перемещения заднего торца кормовой части маршевой ступени по посадочному диаметру гнезда стартового двигателя, т.е. все указанное время управляющее отклонение рулей

обеспечивает управление (т.е. поворот вокруг общего центра масс на угол атаки) ракетой, имеющей большую массу и запас устойчивости, что требует больших отклонений рулей. В момент же расцепления заднего торца маршевой ступени с посадочным диаметром стартового двигателя это отклонение рулей не может быть мгновенно уменьшено, поскольку процесс разделения длится миллисекунды, поэтому в момент расцепления маршевая ступень, имеющая меньшую массу и запас устойчивости, чем ракета в целом до разделения, под действием большого отклонения рулей совершает резкий угловой разворот, увеличивающий угол атаки и производимый не относительно ее центра масс, а относительно крайней точки контакта заднего торца с посадочным диаметром, что увеличивает плечо приложения управляющей силы и может вызвать увеличение угла атаки ступени за пределы допустимого, следствием чего может быть выход маршевой ступени из луча управления и, соответственно, потеря ракеты. - после разделения маршевая ступень, имеющая меньшую массу и запас устойчивости, чем ракета в целом до разделения, совершает резкий угловой поворот, увеличивающий угол атаки. Изменение положения центра масс и центра давления при разделении ступеней ракеты может привести к нутации маршевой ступени выше допустимой и соответственно к потере ракеты.

Движение ступеней ракет, в общем случае, в процессе отделения целесообразно разделить на 3 участка:

- участок кинематической связи;
- участок работы средств отделения (СО);
- участок свободного относительного движения.

Как показывает практический опыт, а также результаты натурных и численных экспериментов, для определения полного силового воздействия на маршевую ступень необходимо ввести дополнительный участок, расположенный непосредственно после участка работы средств отделения, т.е. после потери механического взаимодействия разделяемых ступеней. Данный временной интервал процесса разделения называется участком аэродинамического взаимодействия ступеней.

Рассмотрим силы, действующие в момент разделения на ЛА, при этом двигательную установку и маршевую ступень будем рассматривать как отдельно движущиеся тела, связанные между собой только скалярным значением угловой скорости ω_z , т.е.:

$$\omega_{z_1} = \omega_{z_2}$$

В дальнейшем под индексом 1 будем подразумевать обозначения, относящиеся к маршевой ступени, а с индексом 2 – к двигательной установке.

Предположим, что в момент подачи команды на разделение ступеней ЛА совершают плоское движение с угловой скоростью ω_z относительно оси Z и на нее не действуют внешние силы и моменты (рис. 1.). Определим угловые скорости разделившихся блоков. Эти скорости являются одним из начальных условий, используемых при расчете движения блоков в процессе отделения. Система CXY , относительно которой рассматривается движение, предполагается инерциальной, движущейся равномерно и поступательно со скоростью \bar{v} , которую имела ракета на момент разделения. Рассмотрим лишь вращательное движение.

На основании теоремы об изменении кинетической энергии запишем:

$$\frac{J_{C_z} \omega_z^2}{2} = \frac{m_1 \Delta v_1^2}{2} + \frac{m_2 \Delta v_2^2}{2} + \frac{J_{C_1 z_1} \omega_{z_1}^2}{2} + \frac{J_{C_2 z_2} \omega_{z_2}^2}{2}$$

где J_{C_z} – момент инерции ЛА относительно поперечной оси CZ , проходящей через ее ЦМ; m_1, m_2 – массы разделившихся блоков; $J_{C_1 z_1}, J_{C_2 z_2}$ – моменты инерции разделившихся блоков ЛА относительно поперечных осей $C_1 Z_1, C_2 Z_2$, проходящих через их ЦМ; $\omega_{z_1}, \omega_{z_2}$ – угловые скорости блоков относительно осей $C_1 Z_1, C_2 Z_2$ после разделения, $\Delta v_1, \Delta v_2$ –

приращения линейных скоростей ЦМ блоков, обусловленные угловой скоростью ω_z вращения ЛА на момент разделения.

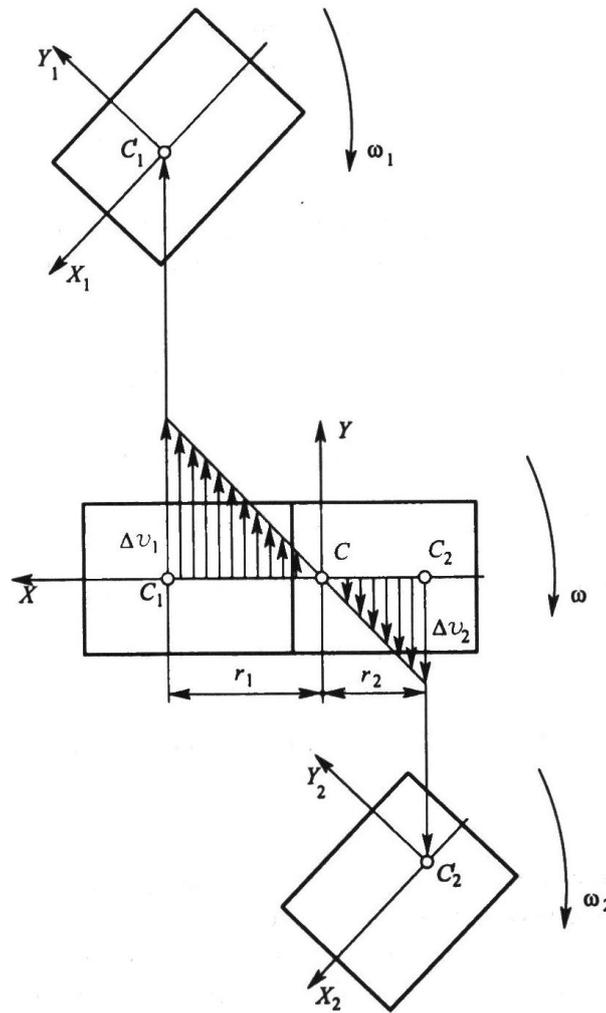


Рис. 1 – Расчетная схема для определения угловых скоростей разделившихся блоков: С – ЦМ системы до разделения; С₁, С₂ – ЦМ разделившихся блоков

Как видно из рис. 1:

$$\Delta v_1 = \omega_{z1} r_1, \quad \Delta v_2 = \omega_{z2} r_2,$$

где r_1, r_2 – расстояния от ЦМ ЛА до ЦМ соответствующих блоков в момент подачи команды на разделение.

В соответствии с теоремой Штейнера:

$$J_{C_z} = J_{C_1z_1} + J_{C_2z_2} + m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$$

Подставим данное выражение в левую часть уравнения для кинетической энергии, а Δv_1 и Δv_2 – в его правую часть. После преобразования получим

$$(J_{C_1z_1} + J_{C_2z_2}) \omega_z^2 = J_{C_1z_1} \omega_{z1}^2 + J_{C_2z_2} \omega_{z2}^2$$

Воспользуемся теоремой об изменении кинетического момента:

$$J_{C_z} \omega_z - J_{C_1z_1} \omega_{z1} + J_{C_1z_1} \omega_{z1} + m_1 r_1 \Delta v_1 + m_1 r_1 \Delta v_1$$

Преобразовав это соотношение, будем иметь

$$(J_{C_1z_1} + J_{C_2z_2}) \omega_z = J_{C_1z_1} \omega_{z1} + J_{C_2z_2} \omega_{z2}$$

Выразив ω_z из предыдущего уравнения и подставив его значение, получим:

$$\omega_z = \omega_{z1} = \omega_{z2}.$$

Данное выражение справедливо для момента времени, соответствующего потере механического взаимодействия между разделяемыми ступенями, т.е. является начальным условием для участка аэродинамического взаимодействия.

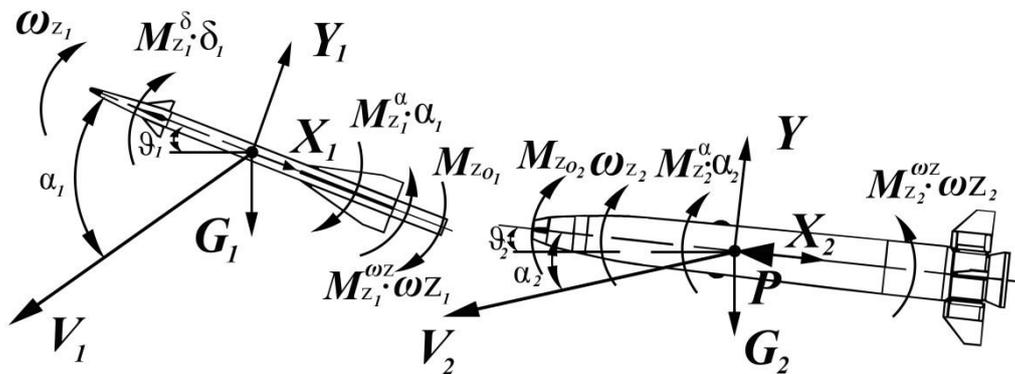


Рис. 2 – Схема приложения сил и моментов на разделяемые ступени на участке аэродинамического взаимодействия ступеней

На рис. 2 представлена схема приложения сил и моментов, действующие на ступени ЛА при разделении на участке аэродинамического взаимодействия. Как видно из рисунка, помимо сосредоточенных сил (G_1, G_2 – силы тяжести, X_1, X_2, Y_1, Y_2 – аэродинамическая продольная и нормальная сила, соответственно, P – сила тяги), приложенных к центрам масс ступеней ЛА, и моментов ($M_{z_1}^\alpha \cdot \alpha_1, M_{z_2}^\alpha \cdot \alpha_2$ – аэродинамический момент, вызванный наличием угла атаки, $M_{z_1}^\delta \cdot \delta_1, M_{z_2}^\delta \cdot \delta_2$ – аэродинамический момент, вызванный отклонением рулей, $M_{z_1}^{\omega z} \cdot \omega_{z_1}, M_{z_2}^{\omega z} \cdot \omega_{z_2}$ – демпфирующий аэродинамический момент), вызванными распределёнными по корпусу аэродинамическими силами, на разделившиеся ступени действуют моменты ($M_{z_{o1}}, M_{z_{o2}}$ – опрокидывающий аэродинамический момент) аэродинамических сил, вызванных интерференцией движущихся тел на малом расстоянии друг от друга. При этом направление этого момента направлено в сторону увеличения угла атаки ЛА независимо от углового положения, ускорения и скорости ракеты.

Для определения описанного опрокидывающего момента на участке аэродинамического взаимодействия рассмотрим программу расчета газодинамических процессов *FlowSimulation*.

Объединенный программный продукт *SolidWorks + FlowSimulation* представляет собой комбинацию полной версии системы *SolidWorks*, как графической среды, и гидрогазодинамического решателя *FlowSimulation*, препроцессор которого позволяет реализовать полностью автоматизированный или ручной метод блочного построения расчетной сетки. Трехмерная параметрическая геометрическая модель исследуемого тела создается в САД-программе *SolidWorks*. В САЕ-программе *FlowSimulation* определяются свойства среды, граничные условия, точность решения, геометрические размеры расчетной зоны и осуществляется численное решение задачи. Для численного решения задач используется метод конечных объемов (метод конечных объемов является частным, более простым, а, следовательно, более быстродействующим случаем метода конечных элементов) и нестационарные уравнения Навье-Стокса (и теплопередачи). Стационарные решения рассматриваются как предельный случай нестационарных, то есть получаются в результате установления при многократном повторении процесса решения задачи во времени.

Рассмотрим определение аэродинамического воздействия на маршевую ступень на примере перспективного высокоскоростного изделия. На рис. 3 показано распределение давления при разделении маршевой ступени и стартового двигателя при скорости 1800 м/с и углом атаки 4° градуса.

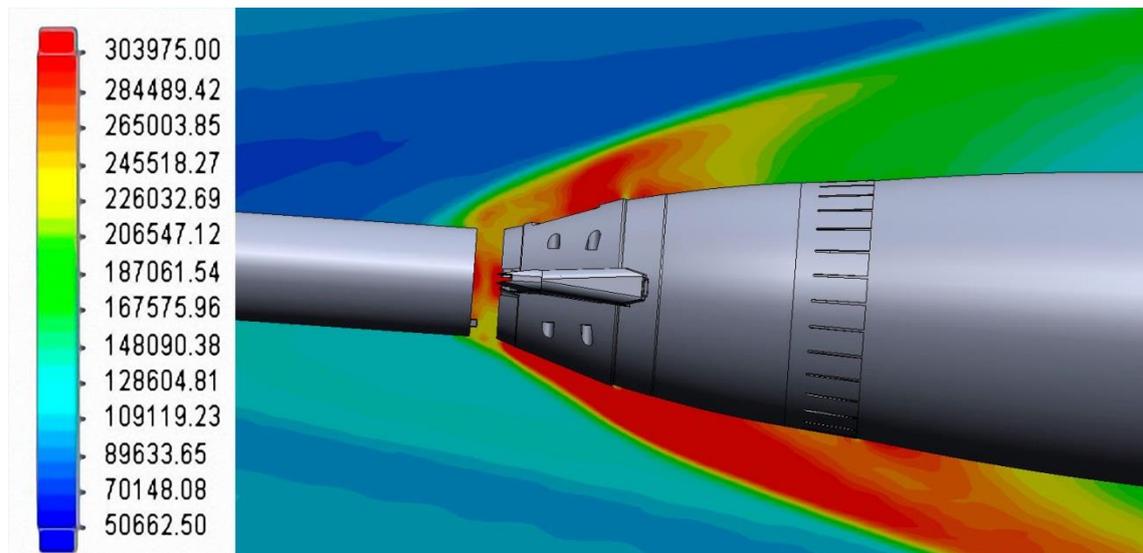


Рис. 3 – Распределение давления при разделении ступеней ЛА на участке аэродинамического взаимодействия (Скорость – 1800м/с, угол атаки – 4°, расстояние между блоками – 15мм)

Расстояние между донным срезом МС и передним торцом ДУ принято равным 15 мм. Как видно из рисунка, распределение давления между ступенями ЛА носит несимметричный характер, который вызван не только наличием угла атаки, но и асимметрией геометрии рассматриваемых моделей, а также взаимной интерференцией разделившихся блоков.

Изменение распределения давления на донном срезе МС изображено на рис. 4.

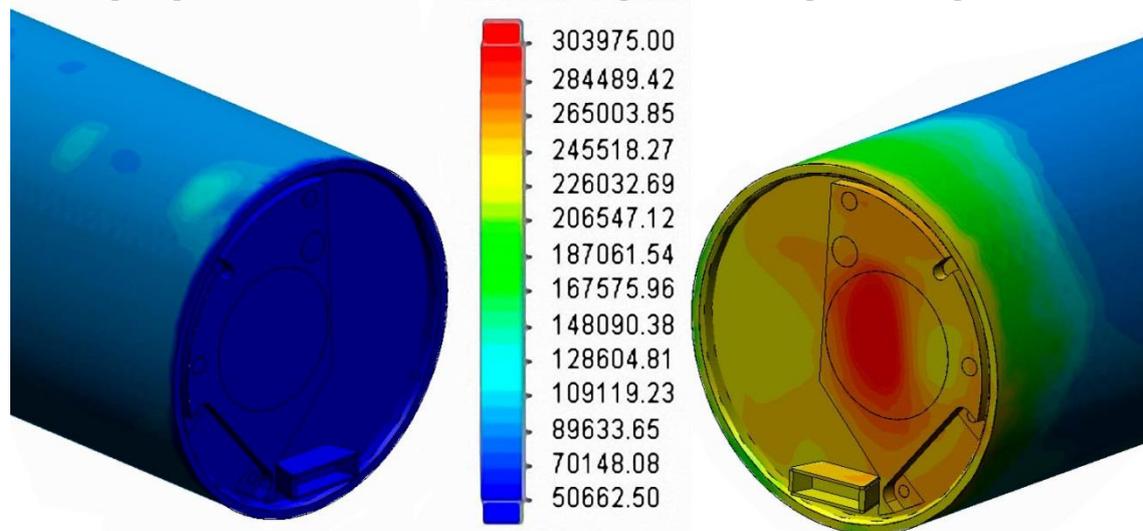


Рис. 4 – Распределение давления при обтекании МС без учета (слева) и с учетом (справа) интерференции стартового двигателя (Скорость – 1800м/с, угол атаки – 2°, расстояние между блоками – 15мм)

Как видно, кроме продольной силы приложенной к заднему торцу ЛА и снижающей лобовое аэродинамическое сопротивление, на кормовую часть ракеты также действует радиально направленная сила (как упоминалось выше направленная всегда в сторону увеличения угла атаки ЛА).

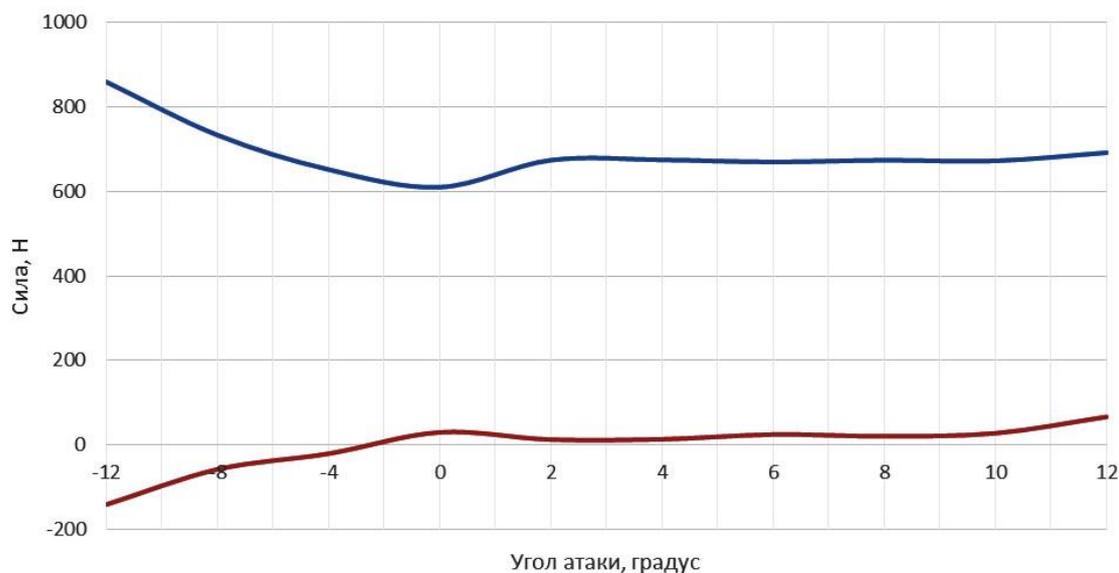


Рис. 5 – График изменения продольной (синий график) и радиальной (красный график) сил, действующих на кормовую часть ЛА при разделении (Скорость – 1800м/с, расстояние между блоками – 15мм)

Среднее значение продольной аэродинамической силы, действующей на кормовую часть ЛА при разделении составляет 650-700Н, в то время как среднее значение радиальной силы равно 20Н. Стоит отметить, что наличие продольной силы оказывает положительное влияние как на процесс разделение так и на динамику полета изделия, т.к. на участке траектории у МС резко снижается лобовое сопротивление, при этом наличие радиальной силы, может привести к значительным забросам МС по углу атаки при высоких значениях начального угла атаки и угловой скорости ЛА перед разделением. Однако, при современном уровне науки и техники возможно снижать воздействие данного явления, например, с помощью применения в контуре управления активного демпфирования.

Список литературы

1. *Абрамович Г.Н.* «Прикладная газовая динамика». В 2ч. Ч. 1: Учеб. Руководство: Для вузов – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991-600 с.
2. *Алямовский А.А.* «Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation». М.: ДМК Пресс, 2010. 464с.
3. *Дмитриевский А.А.* Внешняя баллистика. – М.: Машиностроение, 1979. – 479с.
4. *Дунаев В.А., Максимов Ф.А.* «Моделирование сверхзвуковых течений невязкого газа»; Тула: Изд-во ТулГУ, 2006 - 200 с.
5. *Калугин В.Т.* Аэродинамика / Калугин В.Т., Голубев А.Г. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 687 с.
6. *Колесников К.С.* Расчет и проектирование систем разделения ступеней ракет / Кокушин В.В., Борзых С.В., Панкова Н.В. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 376 с.
7. *Лойцянский Н.Г.* «Механика жидкости и газов»; Учеб.для вузов – 7-е изд., испр. – М.: Дрофа. 2003 – 840с.

05.23.03

Е.Г. Малявина, О.Ю. Крючкова

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
институт инженерно-экологического строительства и механизации,
кафедра отопления и вентиляции, Москва, email@list.ru, freedomsofrozen@gmail.com

ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ ЦЕНТРАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

В работе представлены результаты расчетов годового потребления теплоты, холода, электроэнергии и воды центральными системами кондиционирования воздуха, работающими в московских условиях в различное время суток, при обслуживании помещений с различной температурой внутреннего воздуха.

Ключевые слова: *теплота, холод, электроэнергия, вода, сравнение.*

Целью предлагаемого исследования является количественная оценка годового энергопотребления центральными системами кондиционирования воздуха (ЦСКВ) при поддержании в помещении в течение года различного диапазона температуры внутреннего воздуха. Сравнялось энергопотребление ЦСКВ следующих конфигураций:

- с первым и вторым подогревом, а также увлажнением воздуха в сотовом увлажнителе в холодный период года и охлаждением в поверхностном воздухоохладителе в теплый период года;

- с первым подогревом и увлажнением в сотовом увлажнителе, оборудованным обводом воздуха (байпасом) в холодный период года, и управляемым процессом охлаждения в поверхностном воздухоохладителе в теплый период года;

- с первым подогревом и пароувлажнением в холодный период года, и управляемым процессом охлаждения в поверхностном воздухоохладителе в теплый период года;

- с первым подогревом в холодный период года, и управляемым процессом охлаждения в поверхностном воздухоохладителе в теплый период года.

Во всех перечисленных ЦСКВ (кроме установки со вторым подогревом) предусмотрены управляемые процессы осушения приточного воздуха в воздухоохладителе. Преимущества и недостатки каждой из выбранных систем известны [1].

Для выполнения оценочных расчетов создана климатическая база [2], предназначенная для анализа режимов работы и расчетов энергопотребления ЦСКВ, работающими в различное время суток. Климатическая модель для отдельных отрезков суток представляет собой таблицу, в ячейках которой записаны повторяемости сочетаний температуры (с градацией через 2 °С) и относительной влажности (с градацией через 5%) и указанием среднего для этого сочетания атмосферного давления.

Кроме того разработана универсальная программа для расчета на РС энергозатрат и количества воды, расходуемых упомянутыми ЦСКВ [3]. Алгоритм расчета составлен на основе перебора сочетаний температуры и относительной влажности воздуха от минимальных до максимальных значений.

Многовариантные расчеты были выполнены для помещений с различными значениями температуры внутреннего воздуха, диапазоны которых при оптимальных и допустимых условиях по [4] указаны ниже в таблицах. Расчеты выполнены для трех временных отрезков суток: с 9 до 18 часов (с продолжительностью работы установки с учетом выходных дней 1970 часов), с 8 до 20 часов (2964 часа) часов и при круглосуточной работе (5928 часов). При оптимальных условиях в помещении относительная влажность внутреннего воздуха ограничивалась диапазоном 30 – 60 %.

При всем разнообразии внутренних параметров микроклимата рассматривались помещения с тепловлажностным отношением изменения состояния воздуха в холодный и теплый периоды, равным соответственно 5 000, 30 000, 80 000 кДж/(кг влаги). Расход наружного воздуха принят равным 10 000 м³/ч. Рабочая разность температуры внутреннего и приточного воздуха принята равной 0, 2 и 5 °С. Температура холодной воды в воздухоохладителе 7 - 12 °С.

Характеристики аппаратов обработки воздуха взяты из реальных проектов кондиционирования воздуха, в которых они определялись по расчетным точкам для холодного и теплого периодов года.

Расчеты потребления энергии и воды установкой выполняются для каждой ячейки с диапазоном в 2 °С по температуре и 5% по относительной влажности, из которых состоит климатическая модель. Формулы, по которым выполнялся расчет, известны [5].

Так как в Москве отопительный период длится 205 суток [6], затраты на подогрев приточного воздуха у нас самые значительные. На соотношение в потреблении теплоты между различными ЦСКВ влияет требуемая температура внутреннего воздуха, в большей степени оказывает влияние рабочая разность температуры между внутренним и приточным воздухом и тепловлажностное отношение обработки воздуха в помещении. Соотношение потребления теплоты мало изменяется от температуры внутреннего воздуха, незначительно изменяется от рабочей разности температуры. О величине теплотребления различными ЦСКВ при температуре притока, равной температуре внутреннего воздуха можно судить по времени работы воздухонагревателей в году, представленном в таблице 1. Видно, что с увеличением температуры внутреннего воздуха время работы воздухоохладителей растет у всех систем равномерно.

Таблица 1 Продолжительность, ч., работы воздухонагревателей в различных ЦСКВ

Диапазон температуры t_b , °С	ЦСКВ														
	со II подогревом		с байпасом	с парувлажнителем	без увлажнения.	со II подогревом		с байпасом	с парувлажнителем	без увлажнения.	со II подогревом		с байпасом	с парувлажнителем	без увлажнения.
	I подогрев	II подогрев				I подогрев	II подогрев				I подогрев	II подогрев			
	работает с 9 до 18 часов					работает с 8 до 20 часов					работает круглосуточно				
14-25	533	1697	1625	1457	1457	810	2582	2485	2220	2220	1781	5501	5399	4870	4870
16-25	671	1745	1675	1575	1575	1019	2651	2556	2398	2398	2136	5580	5481	5213	5213
17-25	726	1745	1676	1575	1575	1101	2651	2556	2398	2398	2299	5580	5481	5213	5213
18-25	801	1798	1730	1682	1682	1215	2726	2634	2558	2558	2539	5668	5572	5455	5455
19-25	868	1809	1741	1682	1682	1313	2726	2635	2558	2558	2742	5668	5572	5455	5455
20-25	903	1871	1805	1780	1780	1366	2827	2738	2701	2701	2861	5781	5688	5638	5638

Так как верхний предел температуры для всех ЦСКВ одинаков (при поддержании оптимальных условий в помещении это 25 °С) изменений в потреблении холода в течение года в зависимости от нижнего (зимнего) значения диапазона температуры не происходит. Значения холодопотребления ЦСКВ в различных условиях приведено в таблице 2.

Таблица 2 Расход холода, кВт·ч/год, различными ЦСКВ

ЦСКВ											
со II подогревом	с байпасом	с пароувлажнителем	без увлажнения	со II подогревом	с байпасом	с пароувлажнителем	без увлажнения	со II подогревом	с байпасом	с пароувлажнителем	без увлажнения
работает с 9 до 18 часов				работает с 8 до 20 часов				работает круглосуточно			
рабочая разность температуры Δt равна 0											
2917	1413	1806	1806	4189	2124	2652	2652	5515	3345	3883	3883
рабочая разность температуры равна 2, тепловлажностное отношение 5 000											
4051	2019	2858	2858	5811	3012	4147	4147	7596	4711	5886	5886
рабочая разность температуры Δt равна 2, тепловлажностное отношение 30 000											
3446	1522	2468	2468	4942	2261	3543	3543	6410	3446	4779	4779
рабочая разность температуры равна 2, тепловлажностное отношение 80000											
3409	1497	2453	2453	4888	2223	3517	3517	6336	3378	4725	4725
рабочая разность температуры Δt равна 5, тепловлажностное отношение 5 000											
7970	5371	6897	6897	11579	8028	10114	10114	16509	13392	15581	15581
рабочая разность температуры равна 5, тепловлажностное отношение 30 000											
3844	2130	4835	4835	5535	3089	6810	6810	7232	4286	8284	8284
рабочая разность температуры равна 5, тепловлажностное отношение 80 000											
3650	2029	4813	4813	5256	2940	6772	6772	6853	4040	8169	8169

Меньше всего потребляет холода ЦСКВ с байпасом, так как, во-первых, для нее суммарное время действия воздухоохладителя самое маленькое из-за того, что сочетания температуры и относительной влажности наружного воздуха, при которых нужен холод меньше, чем у других ЦСКВ, а, во-вторых, процессы сухого охлаждения и охлаждения с осушением происходят до верхней границы оптимальных параметров приточного воздуха.

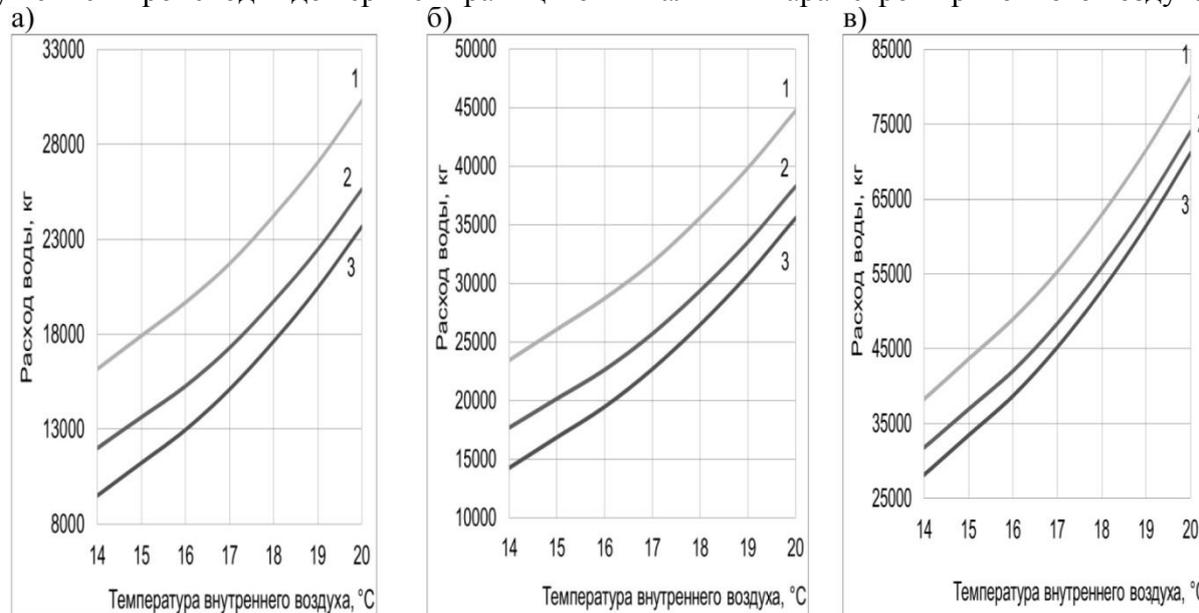


Рис. 1- Расход воды в зависимости от температуры внутреннего воздуха в холодный период времени а), б), в) - при $\Delta t=5$ °C, $\epsilon=80\ 000$ кДж/(кг влаги) различными ЦСКВ, работающими а), а) – с 9 до 18 часов; б), б) - с 8 до 20 часов, в - круглосуточно: 1 – со вторым подогревом; 2 – с байпасом при управляемом процессе увлажнения; 3 – с пароувлажнителем

Время работы в году увлажнителя для систем со вторым подогревом и с байпасом одинаково. Однако, увлажнение воздуха в ЦСКВ со вторым подогревом осуществляется до состояния относительной влажности $\phi=90\%$, а в ЦСКВ с байпасом только до верхней

границы требуемых параметров приточного воздуха. Поэтому расход воды в системе с байпасом всегда меньше расхода воды в ЦСКВ со вторым подогревом.

Для ЦСКВ с пароувлажнителем время работы в году меньше, чем для систем со вторым подогревом и с байпасом. Поэтому ЦСКВ с пароувлажнением потребляет воды меньше остальных систем.

Вопреки всеобщему мнению, что наибольший расход электроэнергии затрачивается на работу холодильных машин, расчеты показывают, что больше всего электроэнергии за год идет на выработку пара парогенератором, затем на привод вентилятора, и только потом на выработку холода.

Список литературы

1. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. - М.: Евроклимат, 2006. - 640 с.
2. Malyavina, E.G., Kryuchkova, O.Y. Analysis of annual power consumption by central air conditioning systems (using the climatic data stochastic statistics model) // 8th International Conference "Environmental Engineering", May 19-20, 2011, Vilnius, Lithuania: selected papers. Vol. 2. Water Engineering. Energy for Building. Vilnius : Technika, 2011. P. 776-780.
3. Гагарин В.Г., Крючкова О.Ю., Малявина Е.Г. Методика расчета годовых затрат энергии и воды системами кондиционирования воздуха // В кн. Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2012 году. Сборник научных трудов РААСН. - ВолгГАСУ, 2013. – С. 504-507.
4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: ФГУП ЦПП, 2012.
5. Кокорин О.Я., Варфоломеев Ю.М. Системы и оборудование для создания микроклимата помещений: Учебник / Под общ. ред. проф. М.Варфоломеева. - М.: ИНФРА-М, 2013. -273 с.
6. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23.01.99*. - М.: ГУП ЦПП, 2012.

05.22.07

В.С. Наговицын д.т.н., А.П. Буйносов д.т.н.

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, vsnagovitsyn@yandex.ru, byinosov@mail.ru

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОИСКА КРИТИЧЕСКИХ УЗЛОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

В статье разработан алгоритм поиска критических узлов подвижного состава железнодорожного транспорта. Предложена система обозначений при оценке годности с детализацией состояния подвижной единицы подвижного состава.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, подвижной состав, узел, критический, поиск, алгоритм, разработка.*

Основное оборудование железнодорожного подвижного состава, совокупность агрегатов разной физической природы и разной степени сложности [1], можно разделить на три составляющих – механическая (кузов, тележки, автосцепка и т.д.), пневматическая (компрессор, аппараты управления и торможения, воздухопроводы, арматура) и электрическая (источники питания, коммутационное оборудование, тяговые двигатели, преобразователи и т.п.) [2–3]. Функциональное назначение подвижного состава определяется техническими требованиями, а техническое состояние оценивается по критерию годности выполнять эти функции [4–6].

Оценка годности подвижного состава может определяться построением бинарного дерева и логическим исследованием диаграммы состояния объекта [7].

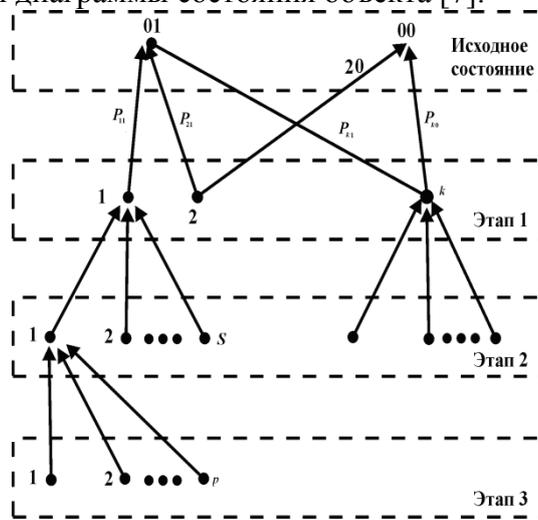


Рис. 1. Диаграмма состояния подвижного состава

Рассматривая ситуацию перехода в состояние «01» или «00», на первом этапе анализа выделяют наиболее крупные узлы и агрегаты, неисправность которых может привести к изменению состояния. Если таких узлов выделено «К», то состояние подвижного состава с возможными отказами оборудования представляется в виде графа (см. рис. 1), где каждый из выделенных на этапе 1 узлов состоит из ряда деталей, а узел 1 разделен на S компонентов, каждый из которых, в свою очередь, состоит из p деталей (этап 3). Детализацию можно продолжить до границы, которая определяется объемом ремонта или восстановления деталей, но при их замене новыми, детализация не производится [8, 9].

Диаграмма не может рассматриваться как совокупность изолированных графов, поскольку работа агрегатов взаимосвязана между собой. Декомпозиция графа на отдельные

изолированные части возможна с помощью известных приемов преобразования и замены сочленения на эквивалентные ветви [10].

Рассмотрим этап 1, когда неисправность одного из K выделенных узлов может привести объект в состояние «01» или «00». При этом необязательно, что неисправность данного узла приведет к непригодности подвижного состава. Например, неисправность дизеля допускает перемещение тепловоза в депо для ремонта. Это означает, что соответствующие дуги на графе будут отсутствовать. Например, от блока 1 к вершине «00» дуги нет [11].

Соответствующие переходы на графе могут оцениваться числовыми характеристиками, одна из которых – вероятность перехода. На рис. 2 введено обозначение: 1) P_{21} – вероятность появления неисправности блока 2, приводящая к частичной неисправности объекта; 2) P_{20} – вероятность появления неисправности блока 2, приводящая к полному выходу объекта из строя.

Возможны и другие оценки изменения состояния подвижного состава с помощью построения и анализа графа. Например, можно использовать время ремонта соответствующего узла T^p (очевидно, что для переходов в состояние «00» $T^p = \infty$), так как нормативное время ремонта каждого узла известно. Возможно применение других эквивалентных оценок, например, стоимостных, где критерием являются затраты на ремонт или время простоя подвижного состава.

Анализ, проводимый для оценивания вероятности отказа и, следовательно, ожидаемого времени безотказной работы, показывает, что в первом приближении на первом этапе соответствующие вероятности можно оценить с помощью величин $P_{\Sigma_i}(t)$, а именно:

$P_{\Sigma_1}(t) = \sum_{i=1}^k p_{i1}(t)$, $P_{\Sigma_0}(t) = \sum_{i=1}^k p_{i0}(t)$. Здесь $p_{i0}(t)$ – вероятность отказа i -го блока, приводящая подвижную единицу в состояние «00»; $p_{i1}(t)$ – вероятность безотказной работы i -го блока – состояние «11», при этом считаем, что $p_{i0}(t) + p_{i1}(t) = 1$ для всех i .

Аналогичные формулы можно получить на этапе II, дополнительно суммируя вероятность по составным компонентам: $P_{\Sigma_1}(t) = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^k p_{ij}(t)$, $P_{\Sigma_0}(t) = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^k p_{ij}(t)$, где $p_{ij,0}(t) + p_{ij,1}(t) = 1$ для всех i и j . Предполагаем, что вероятности $p_{i,r}$ и $p_{ij,r}$ описываются экспоненциальным законом, тогда при построении и анализе полученных зависимостей, можно определять критическое время эксплуатации T_0^{KP} – допустимое время работы подвижной единицы без промежуточного контроля или ремонта.

Если обозначить допустимую вероятность отказа через $P_{01}^{доп}$, тогда искомые характеристики определяются из выражений:

$$P_{\Sigma_1}(T_1^{KP}) \leq P_{01}^{доп}, \quad P_{\Sigma_1}(T_0^{KP}) \leq P_{00}^{доп}. \quad (1)$$

Зная оценку T^{KP} , можно планировать график ремонта осмотра (или контроля) каждой единицы подвижного состава T^p : $T^p < T_{1(0)}^{KP}$.

Эта же оценка может быть получена из анализа статистических данных при построении зависимости $P_{\Sigma}(t)$. На рис. 2 обозначены качественные изменения вероятности отказов подвижного состава без ремонтов (кривая 1) и с периодическими ремонтами (кривая 2). Кривая 2 имеет характерные скачки в моменты t_{p1} , t_{p2} и t_{p3} , соответствующие времени проведения текущих ремонтов ТР-1, ТР-2, ТР-3 и большой скачок в момент КР (капитальный ремонт) [12].

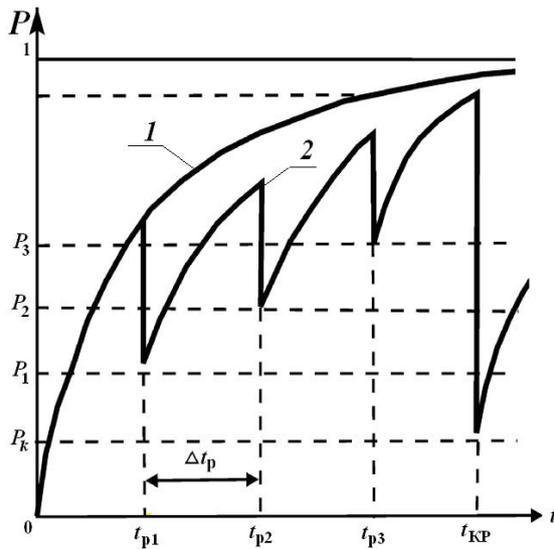


Рис. 2. Вероятности отказа в зависимости от времени эксплуатации и ремонта подвижного состава

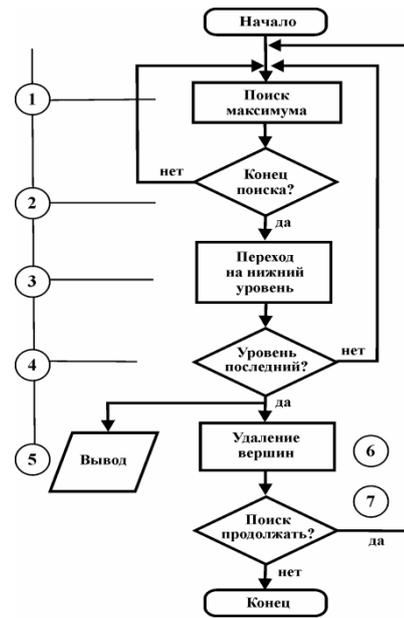


Рис. 3. Алгоритм поиска критических узлов

После очередного ремонта вероятность отказа $p(t)$ снижается, как правило, не до нуля:

$$p_1, p_2, p_3, p_k > 0. \tag{2}$$

При этом надежность оборудования после ремонта увеличивается:

$$p_k \geq p_3 \geq p_2 \geq p_1.$$

Увеличение межремонтного интервала повышает вероятность появления невосстанавливаемых неисправностей и количество unplanned repairs and stops of trains in the route (increase in transport costs) [13]. Однако, снижение Δt_p означает увеличение расходов на плановый ремонт. Задача предложенного анализа – определение оптимальных межремонтных интервалов Δt_p по критерию наименьших совокупных затрат. Описанный алгоритм является ядром общего алгоритма, изображенного на рис. 3, по которому определяется наиболее уязвимый компонент. Алгоритм можно усложнить, если наименее надежные звенья последовательно исключать из дальнейшего анализа, что будет означать удаление на графе вершины с примыкающими к ней ребрами. Оставшийся граф подвергается анализу по приведенному выше алгоритму. На рис. 3 это соответствует анализу блоков «1»–«5» и проведению исключения с помощью двух блоков «6» и «7» с последующим замыканием цикла.

В результате возможно построение ранжированного ряда вероятностей надежной работы в процессе их убывания:

$$p_e > p_k > p_m \dots > p_s. \tag{3}$$

Ранжированный ряд вида (3) рассчитывается и сопоставляется с результатами обработки статистических данных об отказах [14]. На основе этой последовательности определяется комплексная система диагностики, технического обслуживания и ремонта подвижного состава. Поскольку приведенный ряд представляет числовую последовательность, по нему можно составить граничные зоны и сгруппировать оборудование по периодам обслуживания с вероятностью отказа не ниже $P^{доп}$, определяемой из опыта эксплуатации.

Список литературы

1. *Наговицын В.С.* Совершенствование системы ремонта тягового подвижного состава железных дорог с учетом фактического технического состояния: Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. М., 2006. 250 с.
2. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
3. *Буйносов А.П., Наговицын В.С., Боярских Г.С.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
4. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Диагностика низковольтных цепей электровоза // Железнодорожный транспорт. 1996. № 9. С. 36-38.
5. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Как повысить надежность бандажей // Локомотив. 1999. № 7. С. 36-38.
6. *Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С.* Бесконтактное измерение бандажей // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.
7. *Смирнов Н.Н., Ицкович А.А.* Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. М.: Транспорт, 1987. 272 с.
8. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
9. *Наговицын В.С.* Локомотив тянет плохо, если работает на износ // Мир транспорта. 2003. № 2. С. 62-69.
10. *Наговицын В.С.* Системы диагностики железнодорожного подвижного состава на основе информационных технологий. М.: ВИНТИ РАН, 2004. 248 с.
11. *Васильев В.П.* Методы оптимизации. М.: Мир, 1997. 824 с.
12. *Наговицын В.С., Буйносов А.П.* Структурная классификация технических средств диагностики тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 326-329.
13. *Буйносов А.П., Наговицын В.С., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С., Кузьмин К.А., Ганулин В.Х.* Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. 1998. № 7. С. 36-38.
14. *Горский А.В., Буйносов А.П., Медведев Н.Ф., Наговицын В.С.* Правильно измеряйте износ бандажей // Локомотив. 1991. № 12. С. 36-37.

05.23.04

¹М.А. Неверова, ²И.И. Павлинова д.т.н., ³Е.А. Королева¹ФБГОУ ВПО Московский государственный строительный университет,
кафедра «Водоснабжения», Москва, neveramaria@yandex.ru²НИИ ВОДГЕО, Москва, i-pavlinova@mail.ru³Московский Геолого-Разведочный Институт – Российский Геолого-Разведочный
Университет, кафедра «Строительство систем и сооружений ВиВ»,
Москва, bonsay_2y@mail.ru

СИНЕРГИЗМ БАКТЕРИЙ АКТИВНОГО ИЛА В КОМБИНИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

В работе представлены результаты исследований по тестированию систем биологической очистки с использованием бактерий биомассы активного ила. Выявлены превалирующие бактерии, характеризующие эффективность биохимического окисления в комбинированных сооружениях.

Ключевые слова: *биомассы активного ила, бактерии, тест-контроль.*

Возрастающий в последнее время дефицит пресной воды неизменно заставляет задумываться о её сохранности и возобновляемости как природного ресурса. Сохранение и улучшение состояния водных источников непосредственно связано с процессами очистки сточных вод. Таким образом, совершенствование методов очистки стоков является весьма актуальной задачей. Как наиболее перспективная рассматривается возможность применения комбинации методов биологической очистки сточных вод с использованием биохимического окисления и прикрепленной микрофлоры [1,2]. В исследованиях рассматривалось сочетание анаэробных, аноксических и аэробных зон (отделений) в одном биореакторе. Во все трех зонах стоки подвергаются механическому (1 и 2 зоны) и аэрационному (3 зона) перемешиванию. В первом (неаэрируемом) анаэробном отделении реализуется процесс анаэробного сбраживания при полном отсутствии кислорода. Второе (неаэрируемое) аноксическое отделение принимает сток, выходящий из анаэробного реактора. Кроме того, в этот реактор подается рециркуляционный поток очищенной воды с выхода третьего (аэрируемого) отделения в количестве, определяемом как часть объема подаваемого из анаэробного отделения стока. Третье аэробное отделение питается стоком аноксического отделения и реализует традиционный аэробный метод очистки активным илом.

Применение комбинированного метода при оптимальном согласовании реализуемых процессов обеспечивает получение преимуществ всех трех применяемых способов сбраживания, сглаживая недостатки их использования в отдельности.

Рассмотрим комбинированную систему биологической очистки сточных вод на примере аэротенка с погружными мембранами. В первую очередь необходимо изучить состав биоценоза активного ила, с целью моделирования процесса образования прикрепленной микрофлоры. Культуральное разнообразие микрофауны активного ила зависит от количества и условия подвода органического субстрата к клеткам бактерий и является его индикатором.

Для изучения процесса синергизма бактерий биомассы активного ила были смонтированы лабораторная и полупромышленные установки на канализационных очистных сооружениях г. Подольска (рис.1 и рис. 2.). Моделирование анаэробного, аноксического и аэробного биохимических процессов и аэробного окисления с использованием погружных мембран производилось на колонках.

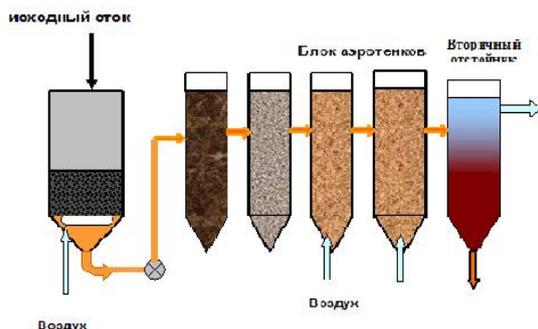


Рис. 1- Схема пилотной установки.



Рис. 2 - Лабораторная установка технологической схемы очистки.

Качественный и количественный учет представителей микрофауны и их физиологического состояния по ходу прохождения сточной воды в аэротенках позволяет получить достаточно достоверные данные о качестве очистки сточной воды.

В ходе биологической очистки сточной воды происходит смена одних видов гидробионтов другими в зависимости от технологической схемы обработки среды и условий по питанию. Этот процесс характеризуется тем, что в логарифмической фазе роста микроорганизмов имеет место преобладание амёб *Rhizopoda* и жгутиковых *Flagellata* или *Mastigophora*. Семейство жгутиковых *Flagelles coloniaux* представлены двумя группами. Жгутиковые 1-й группы свидетельствуют о высокой концентрации кислорода и достаточно хорошем качестве стока. Жгутиковые 2-й группы указывают о повышенной нагрузке по БПК, недостатке или отсутствии кислорода, при этом качество стока низкое.

В процессе дальнейшего логарифмического роста бактерий в обрабатываемой среде начинают преобладать жгутиковые (сначала зеленые, относящиеся к растительным формам, а затем бесцветные *Bodo*, *Monas*, *Hexamitus*), но появляются и свободноплавающие инфузории *Ciliata*, питающиеся отдельными бактериями. При уменьшении числа бактерий в фазе эндогенного развития в пищевой конкуренции побеждают прикрепленные к субстрату сидячие инфузории *Suctorina*.

Фаза замедленного развития характеризуется преобладанием прикрепленных инфузур, являющихся экзопаразитами. Заключительный этап биологической очистки в аэротенке, на котором проходят первая и вторая стадии нитрификации при повышенной концентрации кислорода и большом возрасте активного ила, характеризуется развитием большого количества коловраток *Rotatoria*.

Такова классическая схема изменения видового состава микрофауны при реализации в аэротенке оптимальных условий протекания процесса биохимического окисления загрязнений микроорганизмами активного ила.

При отклонении режима питания в аэротенке от классического, состав гидробионтов претерпевает изменения. При этом, степень отклонения гидробиологического состава от классического является индикатором величины отклонения качества процессов, протекающих в блоках механической и биологической очистки исходной сточной воды. Поэтому анализ гидробиологического состава иловой суспензии в аэротенке может позволить качественно оценить эффективность функционирования всей технологической схемы очистки.

Оптические и электронные микрофотографии перегруженного активного ила показывают наличие большого количества нитчатых бактерий *Sphaerotilus natans* и *Cladotrix dichotoma* в активном иле.

При оптимальном функционировании технологической схемы в составе биоценоза активного ила на всех этапах очистки имеют место флокулирующие бактерии *Zoogloea ramigera* (рис. 3).

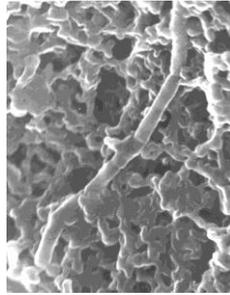


Рис. 3 - *Zoogloea ramigera*.

Таким образом, микроскопические обследования, хотя и имеют определенные ограничения, являются существенным этапом в диагностике качества очистки сточных вод и должны непрерывно совершенствоваться. Простейшие являются наиболее показательными элементами в процессе срыва работы сооружений.

Использование микрофауны как потенциального индикатора активных илов на пилотной установке (рис.1) в фазе запуска состояло в реализации метода количественного наблюдения микрофауны за несколько лет и определения возможности использования этих результатов для прогнозирования промышленного использования в фазе запуска.

В практических условиях имеет место отсутствие адаптации к экстремальным условиям. Отсюда трудности прогнозирования эволюции технологических параметров, потеря равновесия системы.

Регулярно обнаруживаемые колебания концентрации *Protozoaires* могут быть связаны с качеством стока. Микрофауна интегрирует воздействие всех параметров и это делает ее особенно чувствительной. Поэтому скорость ответа на изменение среды делает особо значимым индекс биологического контроля очистных установок с большими нагрузками, в том числе сооружений промышленных масштабов.

С научной точки зрения представляется интересным: с одной стороны, связать микрофауну с совокупностью параметров системы очистки, точно определяющих функционирование сооружений, с другой стороны, проверить и подтвердить практическую целесообразность исследованного метода микрофауны, основанного на упрощенном определении и математическом прогнозировании.

Наконец, установлено, что развитие микрофауны является функцией всей совокупности параметров. Таким образом, для оптимального использования микрофауны, как индикатора, необходимо учитывать ряд параметров. При этом важной особенностью индикации состояния системы является необходимость контроля не только изменение видового состава, но и динамики изменения концентрации вида.

Таким образом, определен тест-контроль функционирования системы очистки с помощью микрофлоры активного ила.

Микроскопические обследования необходимы и должны непрерывно совершенствоваться.

Активный ил, функционирующий в очистных сооружениях, является живым действующим консорциумом, который имеет сложную структуру взаимосвязей и взаимоотношений.

В этой связи управление смешанными культурами микроорганизмов при биологическом окислении необходимо для достижения максимальной эффективности при очистке стоков в целом.

Список литературы

1. М.Н.Козлов, А.Г.Дорофеев, В.Г.Асеева Микробиологический контроль активного ила биореакторов очистки сточных вод от биогенных элементов// М.: Наука, 2012. - 80с.
2. И.И. Павлинова, Л.С. Алексеев, М.А. Неверова Совершенствование методов биотехнологии в строительстве и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения/ Мин-во образования и науки РФ, Московский городской строительный университет. - М.: МГСУ, 2014 - 152с.

05.18.00

М.А. Никулина

ФГБОУ ВПО Астраханский Государственный Технический Университет,
институт нефти и газа, кафедра технологические машины и оборудование, mnikulina@mail.ru

ВЛИЯНИЕ АНТИМИКРОБНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ НА СРОК ХРАНЕНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОХЛАЖДЕННОЙ ГОВЯЖЬЕЙ ПЕЧЕНИ

Для увеличения срока хранения охлажденной говяжьей печени в работе исследовалась возможность использования пленкообразующего антимикробного состава на основе альгината натрия. Разработан и обоснован состав композиции, обеспечивающий снижение усушки охлажденного полуфабриката и увеличение срока хранения на 25%. Результаты подтверждены данными органолептического и микроструктурного анализов, бактериоскопического исследования.

Ключевые слова: *антимикробные покрытия, полисахариды, альгинат натрия.*

На сегодняшний день одним из актуальных направлений современной пищевой технологии является сохранение качества и продление срока хранения охлаждённого мяса и мясных продуктов. Потребитель все чаще делает выбор в пользу охлажденного мяса, так как оно обладает более высокими вкусовыми свойствами и пищевой ценностью, чем замороженное, исключены риски размораживания мяса в процессе хранения и повторного замораживания. Так же при использовании охлажденного мяса исключается значительная потеря в весе, которая происходит при размораживании мяса, хранившего при температуре -18С.

Вопрос сохранения пищевой ценности и органолептических показателей охлажденного мяса стоит особенно остро при хранении мясных продуктов, содержащих значительное количество воды, крови и обладающих высокой ферментативной активностью. Таким продуктом является говяжья печень. Это маложирное, среднебелковое сырье, содержит значительное количество воды - до 74%, незаменимые аминокислоты и минеральные вещества, такие как калий, натрий, кальций, магний, медь, хром [5]. Вследствие низкой калорийности говяжья печень является диетическим продуктом и применяется в лечебном питании. Ее включают в рацион питания больных анемией, так же она полезна при заболеваниях глаз и проблемах со зрением, так как содержит значительное количество витамина А [2]. Говяжья печень рекомендуется спортсменам и людям, занимающимся тяжелым физическим трудом, так как она содержит кератин, активизирующий метаболические процессы в организме [4].

Одной из значительных проблем использования печени для изготовления пищевых продуктов является ее горький привкус. Исследования доказали [2], что отдельные жирные кислоты и цепочки ненасыщенных жирных кислот играют важную роль в появлении у печени неприятного привкуса. Поэтому, учитывая высокую пищевую ценность говяжьей печени и ее значение в питании человека, необходимо провести исследование по уменьшению воздействия на печень факторов окружающей среды, минимизацией воздействия процессов окисления, позволяющей данному сырью сохранять органолептические и физико-химические показатели на требуемом уровне в течении всего срока хранения.

Известно, что для увеличения срока хранения мяса и мясных продуктов используют альгинат натрия. Пленкообразующими составами, включающими, в том числе и данный полисахарид, покрывают свинину для сохранения ее качества в процессе холодильного хранения [6]. Известны так же требования, предъявляемые к подобным покрытиям - они

должны обладать высокими структурно-механическими свойствами, органолептическими показателями, не только не ухудшающими, но улучшающими внешний вид сырья, подлежащего упаковке. Так же методика создания и нанесения пленок должна быть проста и легко реализуема [3].

Создание таких пленок из альгината натрия из эфирных масел позволило создать антимикробное покрытие, позволяющее снизить активность микроорганизмов мяса говядины [2,3]. Однако влияние альгинатных пленок на качество и срок хранения говяжьей печени недостаточно изучено. Основной целью данного исследования является изучения влияния антимикробного покрытия на основе альгината натрия, глюконат кальция и антиокислительных веществ в различной концентрации на срок хранения и качественные показатели говяжьей печени.

Исходная микрофлора мясного сырья состоит из разных микроорганизмов, расщепляющих белки, жиры и углеводы. Определенный уровень разложения органических компонентов мяса и, особенно, гликолитическая деятельность микробов является полезной при изготовлении мясопродуктов. Однако основную массу микрофлоры составляют вредные микроорганизмы, существенно снижающие качество мясопродуктов. Для сохранения качества мяса количество микроорганизмов на поверхности и внутри мяса необходимо ограничивать, сокращать их численность и ферментативную активность, при этом сохраняя качество мяса. Для этого используются различные методы - посол, копчение, сушка, но они не подходят для сохранения качества такого чувствительного к внешнему воздействию сырья как печень. Как утверждают исследователи из Китая [7], смешивание природного полисахарида с кислотами и может стать основой композиции для сохранения качества мяса и увеличения срока хранения.

Возможность использования полисахаридов в качестве основы для создания антимикробных композиций очень перспективна, особенно для быстро портящихся ценных мясных субпродуктов, таких как говяжья печень. В результате проведения поисковых экспериментов был обоснован оптимальный состав антимикробной композиции:

Вода очищенная

Альгинат натрия- 2,5%

Глицерин- 0,8%

Соль- 0,15%

Лимонная кислота- 0,1%

Это соотношение позволяет обеспечить хорошее смешивание компонентов, отсутствие комочков, равномерное нанесение покрытия на обрабатываемую поверхность [6].

На каждый образец печени наносился состав, композиция которого представлена выше. Определяли вес каждого образца до нанесения покрытия и после подсушивания образцов. Состав композиции наносили методом погружения в жидкий раствор. После этого образец подсушивали на воздухе 3 секунды, погружали в раствор глюконата кальция для фиксации оболочки. После фиксации производили подсушивание поверхности образцов в течение 30 секунд путем помещения в сушильную камеру с температурой 35°C и скоростью обдува 2 м/с. Далее проводилось холодильное хранение образцов печени говяжьей в течении 14 дней при температуре 3°C. Несколько образцов печени являлись контрольными, на них не наносился состав композиции. Их холодильное хранение осуществлялось в тех же условиях - при температуре 3°C.

В течение всего периода хранения образцов проводился бактериологический и микроструктурный анализ для определения показателей качества и срока хранения охлажденной печени.

Для оценки влияния состава композиции и условий хранения каждого образца, данные были проанализированы с помощью оценки погрешности измерения, корреляционного анализа, что бы всесторонне оценить результат воздействия созданной композиции.

Для проведения исследований тщательно контролировали начальную обсемененность образцов печени. Отобранные образцы имели КМАФАнМ КОЕ/1г $1 \cdot 10^3$, были предварительно охлаждены. Образец X_1 - печень говяжья свежая охлажденная. Образец X_2 -

печень говяжья с нанесенным антимикробным покрытием. Начальные показатели химического состава и пищевой ценности приведены в таблице 1.

Таблица 1-Исходное содержание воды в образцах

Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя	
		X_1 -	X_2 -
Вода	г/100	73	72

Полученные данные химического состава говорят о высоком качестве всех образцов и соотносятся с ранее известными показателями состава печени [5].

Для определения доброкачественности образцов говяжьей печени проводили бактериоскопическое исследование с приготовлением мазков-отпечатков с поверхности печени с поверхности, с глубины 2,5 см и 4 см и окрашиванием их по Граму. В течение первых 3х дней хранения бактериологические показатели свежести сырья были практически идентичными. Однако при дальнейшем хранении наблюдались значительные различия в структуре и общей обсемененности образцов (рис.1).

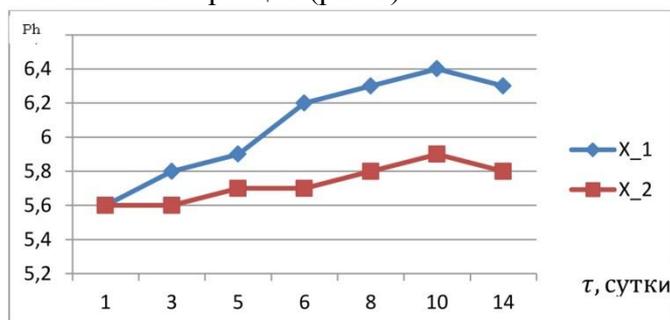


Рис. 1 Динамика повышения общей обсемененности образцов говяжьей печени

Как видно из графика, исходная степень свежести у всех образцов была одинаковой. В период хранения при заданной температуре в образцах произошел значительный скачок pH на пятый и шестой день хранения, что возможно объяснить развитием микрофлоры. В кислой среде развитие микроорганизмов замедляется, однако при повышении pH создаются условия, способствующие активному росту микроорганизмов. Так же, одним из факторов ухудшения качества, возможно назвать окисление липидов.

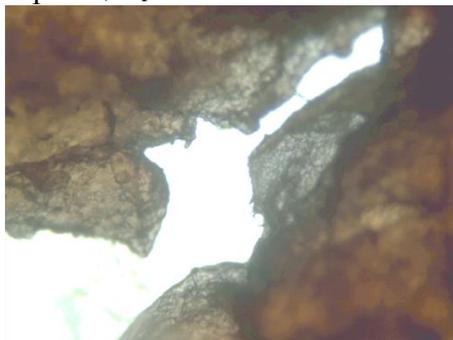
Анализ органолептических показателей показал, что при хранении образца X_1 более 3 суток, наблюдается запах несвежего мяса, поверхность печени становится плотной, образуется пигментация. После 6-7 дней хранения пигментация усиливается, наблюдаются пятна темно-бордового цвета. После 10 дней хранения запах печени практически исчезает, образец печени практически полностью теряет воду, цвет становится практически черным. Образец печени говяжьей X_2 сохраняет исходные органолептические показатели в течение 10 дней хранения. После этого периода наблюдается уплотнение поверхности образца. После 12-14 дней хранения на поверхности образуется небольшая пигментация, выраженная в образовании пятен темно-коричневого цвета. Исходя из представленных данных можно предположить, что оптимальный срок хранения образца печени X_2 - 10 суток. После 10 суток у образца понижается кислотность. Оптимальный срок хранения образца X_1 - 3 суток. При этом сроке хранения кислотность препятствует образованию избыточного количества микроорганизмов, заметно позитивное влияние деятельности собственных ферментов. Бактериологическая оценка свежести образцов печени представлена в таблице 2.

Таблица 2- Бактериологическая оценка свежести говяжьей печени

№	рН	Степень свежести	Бактериоскопическая картина образцов-срезов говяжьей печени		
			На поверхности	На глубине 2,5 см	На глубине 4 см
X ₁	6,4	Пониженной свежести	В мазках-отпечатках не более 10 клеток- кокки и единичные палочки	В мазках из глубины мяса обнаруживают 25-30 кокков и единичные палочки, распавшиеся волокна	В мазках из глубины мяса обнаруживают 20-30 кокков и единичные палочки
X ₂	5,9	Свежее	При окраске по Граму нет или имеются единичные бактериальные клетки-кокки	В мазках обнаружены единичные кокки, не более 10	В мазках нет бактериальных клеток

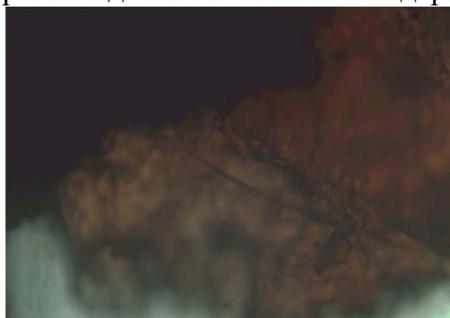
Данные бактериологического анализа подтверждаются сделанными микрофотографиями образцов срезов говяжьей печени.

На рис.2 представлено изображение среза образца печени X₁ глубиной 2,5 см. На нем видны некоторое количество распавшихся волокон мяса, что свидетельствует о начале протекания глубоких процесс автолиза, распаде сегментов волокон на миофибриллы. Органолептический анализ показал, что на поверхности этого образца печени появилась пигментация, отсутствие глянцевого блеска. Пигментация характеризуется появлением на поверхности пигментных пятен, которые появляются при накоплении пигментообразующих аэробных бактерий. Очевидно, образец X₁ пониженной свежести.

Рис. 2- Микроструктура печени говяжьей X₁

Образец X₂, хранившийся 10 дней в покрытии из разработанной композиции, с содержанием лимонной кислоты 0,1% имеет очерченные волокна, явную структуру.. Органолептический анализ показателей мяса свидетельствует о том, что после 10 дней хранения поверхность печени сохранила влажный глянцевый блеск, пигментация отсутствовала. Срез глубиной 2,5 и 4 см показал, что запах, цвет и аромат мяса соответствовали показателям свежего мяса печени.

Образец X₂ (рис.3) после 12 дней хранения показал ухудшение показателей качества, расслоение внутренней структуры вследствие понижения содержания воды и изменения рН.

Рис. 3- Микроструктура печени говяжьей X₂ после 12 и 14 дней хранения

Анализ влагосодержания после хранения в течение 10 суток выявил, что влажность различных образцов печени значительно отличается друг от друга (рис.4)

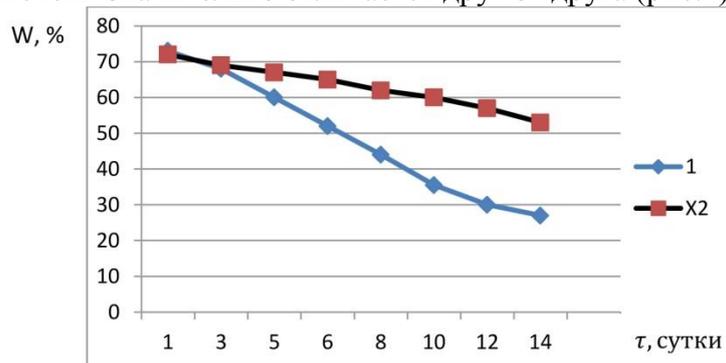


Рис.4 Изменение содержания влаги (W, %) в образцах печени говяжьей в течение времени хранения при заданной температуре

Резкое падение влагосодержания образца X₁ (не покрытого раствором альгината натрия и т.д.) объясняется испарением влаги с поверхности продукта (табл.3).

Таблица 3- Содержание воды в образцах говяжьей печени после хранения при t=3°C в течении 10 суток

Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя	
		1	2
Вода	г/100	35,5	53

У говяжьей печени, покрытой разработанным раствором, наблюдается незначительное понижение влагосодержания, благодаря созданию покрытия из альгината на поверхности. Данное покрытие позволило удержать мясной сок внутри печени, снизить усушки при хранении и подсыхание поверхности исследуемого образца.

Потеря массы у образца X₂ на 22% меньше чем у образца X₁.

Анализ свежести мяса так же проводился с помощью реакции с серноокислой медью в бульоне. Бульон из образца печени X₂, хранившейся в течении 10 суток при поддержании заданного температурного режима, оставался прозрачным. Химическая реакция с бульоном из образца X₁ показала, что бульон становился мутным, а в дальнейшем в нем выпали хлопья.

В заключении можно сказать, что разработанная композиция, состоящая из воды, альгината натрия (2,5%), глицерина (0,8%), соли (0,15%) и лимонной кислоты (0,1%) позволяет хранить говяжью печень при температуре 3°C до 12 суток. Образец говяжьей печени, покрытый тонким слоем данной композиции в течении всего периода хранения имеет очерченные волокна, явную структуру. Органолептический анализ показателей мяса свидетельствует о том, что после 10 дней хранения поверхность печени сохранила влажный глянцевый блеск, пигментация отсутствовала. Срез глубиной 2,5 и 4 см показал, что запах, цвет и аромат мяса соответствовали показателям свежего мяса печени. Микробиологические показатели мяса так же соответствуют свежему мясу. Наблюдается устойчивое сохранение влаги в образце говяжьей печени, хранящейся в течении рекомендованного срока хранения. Покрытие на основе альгината натрия позволило удержать мясной сок внутри печени, снизить усушку на 22% и увеличить срок хранения на 25% по сравнению с говяжьей печенью, не покрытой разработанной композицией. Исходя из полученных результатов, можно рекомендовать полимерную композицию на основе альгината натрия, для сохранения качественных и количественных показателей свежести говяжьей печени в процессе длительного хранения.

Список литературы

1. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.- P. 142-143
2. Jenschke B.E., Hodgen J.M., Meisinger J.L. Unsaturated fatty acids and sodium affect the liver-like off-flavor in cooked beef / B.E. Jenschke, J.M. Hodgen, J.L. Meisinger// Journal of animal science.-2007. Vol. 85 №11 3072-3078.- P. 421-422
3. Mounia. O., Salmiéri S. Saucier Antimicrobial Effects of Alginate-Based Film Containing Essential Oils for the Preservation of Whole Beef Muscle / O. Mounia, S.Salmiéri //Journal of Food Protection.-2006.Vol.10.- P. 2320-2566, P. 2364-2369.
4. Rouser G., Kritchevsky G. Lipid composition of beef brain, beef liver, and the sea anemone: Two approaches to quantitative fractionation of complex lipid mixtures / G. Rouser, G. Kritchevsky// Journal of the American Oil Chemists Society.-2003. Vol.40 №9.- P. 425-454
5. Shelef L.A. Microbial Spoilage of Fresh Refrigerated Beef Liver / L.A. Shelef // Journal of Applied Bacteriology.-1975. Vol. 39, №3.- P. 273–280
6. Yu X.L., Li X.B., Xu X.L. Coating with sodium alginate and its effects on the functional properties and structure of frozen pork / X.L Yu., X.B. Li, X.L. Xu // Zhou Journal of Muscle Foods .-2005. Vol.19, №4.- P. 333–351
7. Yue Q., Zhihong Z. Method for preserving meat products / Q.Yue, Z. Zhihong// CHENG Chunsheng, Hou Yuyan Pat. CN 102511539., Aug.28,2011

05.02.02

Е.А. Новикова, Д.В. Штых

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, механико-технологический факультет, кафедра технологии машиностроения, Владимир, tms@vlsu.ru

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ОПТОМЕХАНИКИ

В статье рассматриваются особенности механизмов поступательного движения, которые обеспечивают микроперемещения с большими усилиями на выходном штоке. Дан краткий обзор известных конструкций зарубежных фирм и предложены направления реализации микроперемещений в рассматриваемой области.

Ключевые слова: *оптомеханика, актуатор, микроперемещение, роликвинтовой механизм (РВМ), анализ конструкций.*

В связи с интенсивным развитием оплотехники и микромеханики растёт необходимость в электромеханических устройствах для перемещения различных объектов, в том числе и миниатюрных, с микронной и субмикронной точностью, а также совершения над ними каких-либо операций (например, микросборки) [1]. Для перемещения рабочего органа с заданной точностью и плавностью применяют специальные микродвигатели и исполнительные механизмы (ИМ). По возможности элементы устройств соединяют в единую систему механических, электронных и электромеханических частей в соответствии с принципами мехатроники [2]. Основные преимущества мехатронных систем оптомеханики заключаются в компактности модулей и улучшении динамических характеристик вследствие упрощения кинематических цепей, а также высокой надежности и помехозащищенности. Как правило, такие устройства комплектуются датчиками положения, скорости, ускорения и системами управления с обратной связью. Множество различных по назначению, конфигурации и принципу действия устройств можно разделить на две группы: (1) актуаторы, работающие в ключевом режиме (перемещение рабочего органа осуществляется из одной точки в другую, при этом промежуточные положения не рассматриваются), примером таких механизмов могут служить микрозеркала, микронасосы, микромеханические ключи; (2) актуаторы перемещения, функцией которых является движение выходного звена с заданной точностью на длине рабочего хода либо в пределах рабочего угла поворота, например, приводы перемещений сканирующей микроскопии.

Для соответствия предъявляемым требованиям актуаторы должны обладать высокой точностью и плавностью движения, быстродействием, высоким КПД и др. В зависимости от функционального назначения устройства используют различного типа преобразователи энергии, а если необходимо, то и механические передачи. Электромеханические преобразователи (ЭМП) энергии, используемые в актуаторах, можно разделить по реализуемому физическому принципу (см. рис. 1, табл.1).

Большинство ЭМП являются нелинейными, поэтому и их передаточные функции – соотношения между электрическими параметрами (напряжением или током) и механическими величинами (силой и перемещением) – также являются нелинейными. Эта нелинейность вносит искажения в управляющий сигнал и может явиться причиной снижения точности

Области применения миниатюрных двигателей и ИМ довольно обширны – это и приводы для измерительных устройств, таких как электронные и туннельные микроскопы, приводы манипуляторов различных сборочных роботов, оптические ключи в каналах связи, а также ИМ в технологическом оборудовании и специальной технике. В качестве микромоторов

могут использоваться коллекторные и бесколлекторные электромагнитные микродвигатели, пьезомоторы и интегральные приводы MEMS.

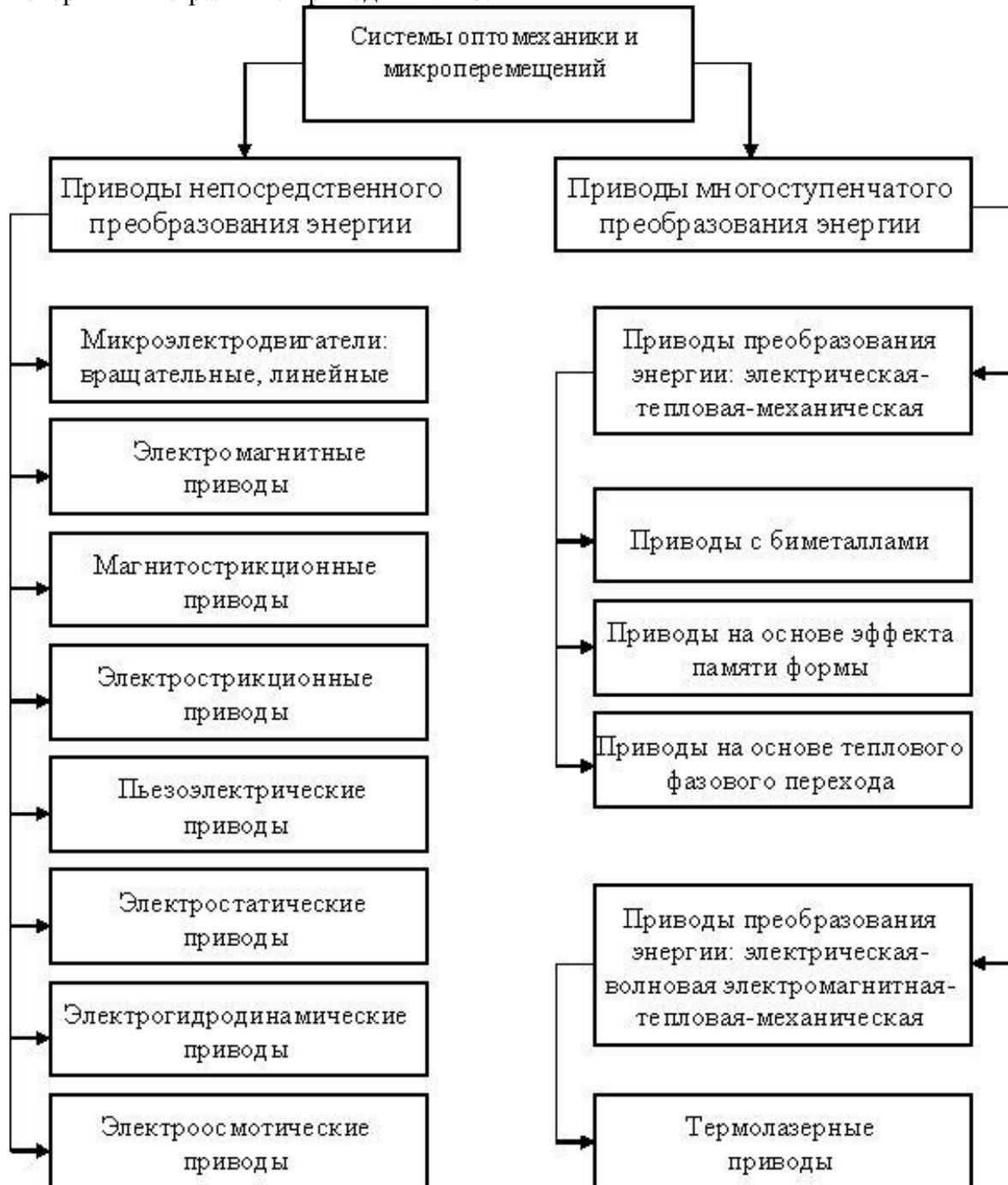


Рис.1 Классификация физических принципов, используемых в устройствах оптомеханики

Таблица 1 – Сравнение электромеханических преобразователей для оптомеханики

Преобразователь	Относительное перемещение, %	КПД	Быстродействие, мс
Электростатический	32	Высокий	0,01-0,1
Электромагнитный	50	Низкий	1-20
Пьезоэлектрический	0,2	Высокий	0,1-1
Магнитострикционный	0,2	Низкий	0,5-10
Электрострикционный	4	Высокий	1-10
Термический	50	Низкий	100-500

В зависимости от степени миниатюризации используются различные типы микромоторов. Для макроуровня, где требуется большая мощность при относительно малых размерах, применяются электромагнитные двигатели и соленоиды. Для микроустройств используются интегральные приводы, созданные по MEMS-технологии. Пьезоприводы проигрывают электромагнитным двигателям по мощности, а MEMS микромоторам — по степени микроминиатюризации. Таким образом, выбор двигателя зависит от поставленной задачи. Большинство решаемых задач требует точных и плавных линейных перемещений. Примерами могут служить линейные перемещения в сканирующей зондовой микроскопии, при выращивании монокристаллов, в приводах технологического оборудования, перемещения рабочих органов сборочных автоматов в процессе микросборки и др.

Как правило, линейные перемещения получают путём преобразования вращательного движения двигателя посредством разного рода передач (кулачковые, зубчатые, ремённые, винтовые), исключение составляют приводы на базе пьезоэлектрических преобразователей. В настоящее время широкое распространение получили приводы, использующие в качестве преобразователя электрической энергии в механическую шаговые двигатели и сервомоторы. Они позволяют довольно точно реализовывать заданный закон вращательного движения выходного вала. В зависимости от предъявляемых требований по скорости движения, необходимому усилию на выходном звене линейного актуатора, точности движения и позиционирования, выбранный двигатель комплектуют механической передачей и системами слежения и управления движением. Для линейных перемещений на небольшие расстояния (0,1...1 мм) применяют пьезоэлектрические двигатели. Они обеспечивают точное позиционирование (~ 0,1 нм), высокую нагрузочную способность (тянущие усилия – до 3,5 кН, толкающие – до 30 кН). Имеют небольшую нелинейность функциональной зависимости перемещения от управляющего напряжения (0,2...1%). Для перемещения на большие расстояния (до 150 мм) пьезоэлектрические двигатели оснащают различными передачами. Такие передачи являются фрикционными и имеют соответствующие недостатки: низкая нагрузочная способность (~ 10 Н), пониженная (по сравнению с актуаторами без передач) точность и повторяемость (~ 50 нм). Однако при этих недостатках такие механизмы имеют большую скорость и ускорение перемещения выходного звена (~ 800 мм/с), высокую жёсткость и небольшие габариты.

При необходимости получить большее перемещение выходного звена и большую нагрузку не обойтись без механических передач. Подавляющее большинство производителей линейных актуаторов применяют в своих устройствах шариковинтовые механизмы (ШВМ) [5–9]. Такие передачи в паре с шаговыми электродвигателями обеспечивают большие усилия (статическая нагрузка ~10кН), длина хода до 2000 мм, высокие скорости перемещения. Использование тел качения в передаче обуславливает высокий КПД. Однако повышенные силовые показатели компенсируются пониженной точностью и плавностью (~20 мкм). Для повышения точности применяют устройства выборки зазора (как правило, составные гайки).

В последнее время зарубежные производители стали активнее применять роликовинтовые механизмы (РВМ), которые по сравнению с ШВМ позволяют достичь более высоких параметров по точности, жёсткости и рабочей нагрузке [3]. В отличие от ШВМ в РВМ применяются в качестве промежуточных тел качения резьбовые ролики. Комбинацией шагов нарезки резьбы на винте, роликах и гайке можно добиться более широкого диапазона редукиции. Увеличенное количество точек контакта между рабочими телами позволяет получить повышенную жёсткость. По этой же причине, а также за счёт устранения проскальзывания путём полного кинематического замыкания посредством зубчатого зацепления между валом, роликами и гайкой достигается постоянство передаточной функции и более высокая точность перемещений (~ 50...100 нм) [4]. Сравнение характеристик приводов линейных перемещений приведено в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристики приводов линейных перемещений [1, 5–9]

Производитель	Модель	Тип двигателя	Тип ИМ	Усилие, кН	Скорость, мм/с	Точность, нм
PI	PICA P235-90	ПД	нет	3,5	—	1,8
	NEXLINE N-216	ПД	ВГС	0,6	1,0	5,0
	NEXACT N-310	ПД	ВГС	0,01	10	1,0
	PIline M-674K	ПД	ВГС	0,007	800	200
	M-235.52S	ШД	ШВМ	0,12	30	2000
NetMotion, Inc	LDC-50	ШД	ШВМ	0,10	—	5000
Newmark systems inc	MSL Series	ШД	ШВМ	0,045	2,0	4000
CEDRAT Group	CAL-12	ЛД	нет	1,5	—	300
Piezosystem jena GmbH	HPA 260/45/10	ПД	нет	70	—	0,5
Aerotech	ANT 110-130-XY	ЛД	нет	0,100	—	300
Marzhauzer	MT mot 100-100	ШД	ШВМ	0,130	—	5000
	SKAN IM	ШД	ШВМ	0,065	—	3000

В таблице обозначено: ШД – шаговый двигатель, ЛД – линейный двигатель, ПД – пьезодвигатель, ВГС – винт-гайка скольжения

Таким образом, в зависимости от поставленной задачи выбирается конфигурация привода (тип электродвигателя или преобразователя и, по необходимости, тип исполнительного механизма). Сравнивая характеристики предлагаемых производителями приводов, можно сделать вывод, что для перемещений на малые расстояния (до 1 мм) с большой точностью (~ 0,1 нм) целесообразно применять пьезоэлектрические актуаторы. Для перемещения на средние расстояния (20...200 мм) с малыми усилиями (до 10Н) и средней точностью (~20 нм) подходят пьезоэлектрические двигатели с фрикционными передачами. Для того чтобы обеспечить высокие передаваемые усилия на большие расстояния с высокой скоростью и точностью (до 0,1...1 мкм) необходимы шаговые или серводвигатели в комплекте с ШВМ или РВМ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-00772.

Список литературы

1. Marquardt, F., Girvin, S.M. Trend: Optomechanics / F. Marquardt, S.M. Girvin // *Physics* **2**, 40 (2009), doi:10.1103/Physics.2.40
2. Новикова, Е.А. Синтез мехатронных модулей по критериям плавности / Е.А. Новикова // Научно-технический вестник Поволжья. №6 2011г. – Казань. – С. 230-233. ISSN 2079-5920.
3. Морозов, В.В. РВМ. Кинематические характеристики (монография) / ВлГУ – Владимир, 2005. – 78 с. - ISBN 5-89368-634-9
4. Шинаков, И.В. Обеспечение зубчатого замыкания в планетарных РВМ / И.В. Шинаков, А.В. Жданов // Изв.ТулГУ. Серия: Технические науки. 2010. № 2-1. С. 93-98.
5. <http://www.aerotech.com/>
6. <http://www.marzhauzer.com/de/>
7. <http://www.maxonmotor.com/>
8. <http://www.physikinstrumente.com/en/products/nanopositioning/index.php>
9. <http://www.servotechnica.ru/catalog/type/brand/index.pl?id=18>

05.21.05

А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова

Поволжский государственный технологический университет,
факультет природообустройства и водных ресурсов,
кафедра водных ресурсов, Йошкар-Ола, PozdeevAG@volgatech.net

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

На основе программной среды MathCad разработано информационно-технологическое обеспечение расчета процесса сушки пиломатериалов. Тестирование программного обеспечения произведено на примере расчета параметров процессов, осуществляемых в малогабаритной лесосушильной камере. В состав расчетных параметров входят продолжительность сушки при заданных геометрических характеристиках штабеля сосновых пиломатериалов, параметров агента сушки, объемы удаляемой влаги, расходы теплоты на прогрев древесины, испарение влаги, а также потери теплоты через ограждения камеры. Табличные значения исходных данных заменены регрессионными функциями, полученными в пакете Curve Expert. Выбор расчетного параметра осуществляется на основе логических операторов из матриц значений или функций.

Ключевые слова: *сушка древесины, пиломатериалы, сушильная камера, автоматизированные расчеты, программная среда MathCad.*

Расширение ряда типоразмеров малогабаритных лесосушильных камер для предприятий малого бизнеса в лесной отрасли, вызванное потребностями рынка и отсутствием крупных производителей лесной продукции требует широкого внедрения информационных технологий в проектно-конструкторскую практику.

В этой связи совершенствование процесса сушки древесины должно основываться на разработке средств автоматизированного расчета параметров лесосушильных камер, адаптированных к условиям деятельности предприятий лесного комплекса.

Применение автоматизированных расчетов на всех этапах проектирования позволяет мобильно перестраивать производство лесосушильных камер в соответствии с динамично изменяющимися запросами рынка и предприятий малого бизнеса.

При проектировании современных камер для сушки хвойных и пиломатериалов других быстросохнущих пород с влажностью более 30% скорость сушильного агента по штабелю рекомендуется выбирать в пределах от 2 до 3 м/с. Категория качества сушки связана с допустимой нормой максимальных отклонений скорости сушильного агента.

Все основные расчеты выполнены в прикладной программной среде MathCad. Это, в частности, относится и к приведенному в настоящей работе расчету производительности лесосушильных камер на материале заданной характеристики.

Исходные данные для расчета:

Толщина пиломатериалов, мм $S_1 := 40$

Ширина пиломатериалов, мм $S_2 := 180$

Длина пиломатериалов, м $L_n := 6.5$

Зазор между штабелем пиломатериалов и стенкой камеры, м $\Delta := 0.5$

Функции табличной зависимости $\tau_{\text{исх}} = f(S_1)$ построены в пакете Curve Expert в виде линейной регрессии со стандартной ошибкой не более $S = 5\%$ при корреляционном коэффициенте не менее $r = 0,993$.

Исходная продолжительность сушки $\tau_{\text{исх}}$, час

$$\tau_{уцх.1} := 6.6 + 1.93 \cdot S_1 - \frac{3282.36}{S_1^2} \quad \tau_{уцх.2} := \frac{-720 \cdot S_1}{-390 + S_1} \quad \tau_{уцх.3} := S_1^{1.22} \quad \tau_{уцх.4} := 5.32 \cdot 1.02^{S_1} S_1^{0.516}$$

$$\tau_{уцх} := \begin{cases} \tau_{уцх.1} & \text{if } 80 < S_2 < 100 \\ \tau_{уцх.2} & \text{if } 100 < S_2 < 130 \\ \tau_{уцх.3} & \text{if } 130 < S_2 < 180 \\ \tau_{уцх.2} & \text{if } S_2 > 180 \\ \tau_{уцх.1} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\tau_{уцх} := 81.749$$

Начальная влажность древесины, %

$$W_H := 100$$

Конечная влажность древесины, %

$$W_K := 6$$

Режим сушки имеет следующие категории: 0 – сушка до транспортной влажности $W_{ср.к} = 19\%$ (пиломатериалы экспортные); I – сушка пиломатериалов до $W_{ср.к} = 6-8\%$ (точное машиностроение, производство музыкальных инструментов и лыж); II – сушка пиломатериалов до $W_{ср.к} = 6-10\%$ (мебельное производство); III – сушка пиломатериалов до $W_{ср.к} = 8-15\%$ (машиностроение, производство строительных изделий).

Коэффициент, зависящий от начальной W_H и конечной влажности W_K

$$A_{B.1} := -1.823 + 0.611 \cdot \ln(W_H)$$

$$A_{B.2} := -1.7 + 0.616 \cdot \ln(W_H)$$

$$A_{B.3} := -1.53 + 0.618 \cdot \ln(W_H)$$

$$A_{B.4} := -1.43 + 0.621 \cdot \ln(W_H)$$

$$A_{B.5} := -1.29 + 0.621 \cdot \ln(W_H)$$

$$A_{B.6} := -1.11 + 0.621 \cdot \ln(W_H)$$

$$A_{B.1} \text{ if } 20 > W_K \geq 16$$

$$A_{B.2} \text{ if } 16 > W_K \geq 12$$

$$A_{B.3} \text{ if } 12 > W_K \geq 10$$

$$A_B := A_{B.4} \text{ if } 10 > W_K \geq 8$$

$$A_{B.5} \text{ if } 8 > W_K \geq 6$$

$$A_{B.6} \text{ if } W_K < 6$$

$$A_{B.1} \text{ otherwise}$$

$$A_B = 1.57$$

Коэффициент жесткости режима сушки для нормального режима

$$A_p := 1$$

Коэффициент, учитывающий интенсивность и характер циркуляции воздуха в камере определяется при нормальном режиме сушки и реверсивной циркуляции в диапазоне скоростей, м/с

$$\omega_{mat} := 1...3.5$$

На основе параметров P и P_1

$$P := \tau_{уцх} A_p$$

$$P = 81.749$$

$$P_1 := (20 \ 40 \ 60 \ 80 \ 100 \ 140 \ 180 \ 220)$$

коэффициент циркуляции определяется из матрицы

$$A_{\text{ц}} := \begin{pmatrix} 1 & 0.78 & 0.63 & 0.54 & 0.49 & 0.46 \\ 1 & 0.81 & 0.67 & 0.59 & 0.54 & 0.53 \\ 1 & 0.84 & 0.71 & 0.64 & 0.60 & 0.58 \\ 1 & 0.85 & 0.76 & 0.72 & 0.68 & 0.67 \\ 1 & 0.88 & 0.81 & 0.79 & 0.78 & 0.77 \\ 1 & 0.92 & 0.91 & 0.90 & 0.89 & 0.88 \\ 1 & 0.96 & 0.95 & 0.94 & 0.93 & 0.92 \\ 1 & 0.99 & 0.98 & 0.97 & 0.96 & 0.95 \end{pmatrix}$$

$$A_{\text{ц}2.2} := 0.71$$

$$A_{\text{ц}} := A_{\text{ц}2.2}$$

Коэффициент, учитывающий длительность влаго- и теплообработки кондиционирования древесины в камере, для II категории качества $A_K := 1.15$

$$\text{Коэффициент длины для пиломатериалов} \quad A_D := 1$$

Общая продолжительность сушки в камерах с принудительной реверсивной циркуляцией средней интенсивности, час

$$\tau := \tau_{\text{исх}} \cdot A_p \cdot A_{\text{ц}} \cdot A_K \cdot A_B \cdot A_D \quad \tau = 104.781$$

$$\text{Период определения производительности, сут.} \quad T := 365$$

$$\text{Планируемое время работы камеры в год, сут.} \quad T_n := 335$$

$$\text{Коэффициент времени загрузки камеры} \quad k_3 := 1.1$$

$$\text{Продолжительность оборота камеры, сут} \quad \tau_K := \frac{k_3 \cdot \tau}{24} \quad \tau_K = 4.802$$

$$\text{Число оборотов камеры} \quad n_T := \frac{T}{\tau_K} \quad n_T = 76.003$$

$$\text{Коэффициент технического использования камер} \quad C := \frac{T_n}{T} \quad C = 0.918$$

$$\text{Реальное число оборотов камер} \quad n := C \cdot n_T \quad n = 69.756$$

$$\text{Число штабелей в камере} \quad m := 1$$

$$\text{Длина камеры, м} \quad L := L_n + 2 \cdot \Delta \quad L = 7.5$$

$$\text{Длина штабеля, м} \quad L_{\text{ш}} := L_n$$

$$\text{Ширина штабеля, м} \quad B := 1.8$$

$$\text{Высота штабеля, м} \quad H := 1$$

Линейный коэффициент заполнения штабеля по длине

$$\beta_D := \frac{L_n}{L} \quad \beta_D = 0.867$$

$$\text{Объемная усушка древесины, \%} \quad Y_0 := 7$$

$$\text{Размер прокладок, мм} \quad S_{\text{пр}} := 25$$

Линейный коэффициент заполнения штабеля по высоте

$$\beta_B := \frac{S_1}{S_1 + S_{\text{пр}}} \quad \beta_B = 0.615$$

$$\text{Пиломатериалы обрезные} \quad O = 1, \text{ пиломатериалы необрезные} \quad O = 0 \quad O := 1$$

$$\text{При укладке со шпациями} \quad \text{Ш} = 1, \text{ при укладке без шпаций} \quad \text{Ш} = 0 \quad \text{Ш} := 1$$

$$\beta_{\text{Ш}1} := 0.9 \quad \beta_{\text{Ш}2} := 0.65 \quad \beta_{\text{Ш}3} := 0.6 \quad \beta_{\text{Ш}4} := 0.43$$

Линейный коэффициент заполнения штабеля по ширине

$$\beta_{Ш} := \begin{cases} \beta_{Ш1} & \text{if } O = 1 \wedge Ш = 0 \\ \beta_{Ш2} & \text{if } O = 1 \wedge Ш = 1 \\ \beta_{Ш3} & \text{if } O = 0 \wedge Ш = 0 \\ \beta_{Ш4} & \text{if } O = 0 \wedge Ш = 1 \\ \beta_{Ш1} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\beta_{Ш} = 0.65$$

Объемный коэффициент заполнения

$$\beta := \beta_{д} \cdot \beta_{Ш} \cdot \beta_{в} \cdot \frac{(100 - Y_0)}{100} \quad \beta = 0.322$$

Габаритный объем штабелей, м³

$$\Gamma := L \cdot B \cdot H \cdot m \quad \Gamma = 13.5$$

Вместимость камеры в плотных кубометрах, м³

$$E := \beta \cdot \Gamma \quad E := 4.352$$

Годовая производительность камеры в плотных кубометрах в год, м³/год

$$П := \frac{T_n}{\tau_K} \cdot \beta \cdot \Gamma \quad П = 303.605$$

Вычислим скорость сушильного агента.

Категория качества сушки

$$K := 1..3$$

Средняя скорость, м/с

$$v_{cp} := (1.0 \quad 1.5 \quad 2.0 \quad 3.0)$$

$$D := \begin{pmatrix} 0.25 & 0.3 & 0.4 \\ 0.4 & 0.5 & 0.7 \\ 0.7 & 0.8 & 1.0 \\ 1.2 & 1.5 & 1.8 \end{pmatrix}$$

$$D_{2,2} = 1$$

Определим массу испаряемой влаги.

Условная плотность расчетного материала, кг/м³

$$\rho_{усл} := 400$$

Масса влаги, испаряемой из 1 м³ пиломатериалов, кг

$$M_{1куб} := \rho_{усл} \cdot \frac{W_H - W_K}{100} \quad M_{1куб} = 376$$

Рассчитаем массу влаги, испаряемой из камеры за секунду.

$$\tau_{конВТО1} := 2 \quad \tau_{конВТО2} := 3 \quad \tau_{конВТО3} := 6 \quad \tau_{конВТО4} := 9 \quad \tau_{конВТО5} := 14 \quad \tau_{конВТО6} := 24$$

$$\tau_{конВТО} := \begin{cases} \tau_{конВТО1} & \text{if } S_1 > 30 \\ \tau_{конВТО2} & \text{if } 30 \geq S_1 > 40 \\ \tau_{конВТО3} & \text{if } 40 \geq S_1 > 50 \\ \tau_{конВТО4} & \text{if } 50 \geq S_1 > 60 \\ \tau_{конВТО5} & \text{if } 60 \geq S_1 \leq 80 \\ \tau_{конВТО6} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\tau_{конВТО} = 14$$

Продолжительность начального прогрева для мягких хвойных пород составляет 1,5 ч на каждый сантиметр расчетного материала.

Для сосны продолжительность начального прогрева, ч

$$\tau_{np} := 0.15 \cdot S_1 \quad \tau_{np} = 6$$

Продолжительность сушки для сосны, ч

$$\tau_{собсуш} := \tau - (\tau_{np} + \tau_{конВТО}) \quad \tau_{собсуш} = 84.781$$

Масса влаги, испаряемой за время одного оборота камеры, кг/оборот

$$M_{обкам} := E \cdot M_{1куб}$$

$$M_{обкам} = 1.637 \times 10^3$$

Масса влаги, испаряемой из камеры в секунду, кг/с

$$M_c := \frac{M_{обкам}}{3600 \cdot \tau_{собсуш}}$$

$$M_c = 5.362 \times 10^{-3}$$

Коэффициент неравномерности скорости сушки, k при $W_K < 12\%$ $k := 1.3$

Расчетная масса испаряемой влаги, кг/с

$$m_p := k \cdot M_c \quad m_p := 6.97 \times 10^{-3}$$

Режимы низкотемпературного процесса по степени жесткости делятся на три категории: мягкие (м), нормальные (н) и форсированные (ф).

Значения низкотемпературных режимов при влажности древесины $W_H > 30\%$ даны в таблице. В таблице приведены значения температуры по сухому термометру t_1 , психрометрическая разность Δt_1 , степень насыщенности ϕ_1 .

Таблица - Режимы процесса сушки при влажности $W_H > 30\%$

Режим	1	2	3	4	5	6	7
	$t_1 / \Delta t_1 / \phi_1$						
А	90/4/0,85	82/3/0,88	75/3/0,87	69/3/0,87	63/2/0,91	57/2/0,90	52/2/0,90
Б	90/5/0,81	82/4/0,84	75/4/0,84	69/4/0,83	63/3/0,86	57/3/0,85	52/3/0,84
В	90/7/0,75	82/6/0,77	<u>75/5/0,80</u>	69/6/0,76	63/4/0,82	57/4/0,81	52/4/0,80
Г	90/9/0,65	82/8/0,71	75/7/0,73	69/6/0,76	63/5/0,78	57/5/0,76	52/5/0,75
Д	90/11/0,63	82/10/0,65	75/9/0,66	69/8/0,68	63/7/0,70	57/6/0,72	52/6/0,71

Из таблиц находим, что для сосны при $t_1 = 75^\circ C$, $\Delta t_1 = 5^\circ C$ и $\phi_1 = 80\%$ режим сушки 3В.

Температура по сухому термометру, $^\circ C$

$$t_1 := 75$$

Психрометрическая разность, $^\circ C$

$$\Delta t_1 := 5$$

Степень насыщенности, %

$$\phi_1 := 80$$

Вычислим параметры агента сушки на входе в штабель.

Парциальное давление водяного пара, Па

$$p_{H1} := 889854.98 \cdot e^{\frac{-(t_1 - 22432)^2}{259.6^2}}$$

$$p_{H1} = 3.858 \times 10^4$$

Атмосферное давление воздуха, Па

$$p_{атм} := 10^5$$

Влагосодержание со стороны входа в штабель, г/кг

$$d_{1в} := 622 \cdot \frac{p_{H1}}{p_{атм} - p_{H1}}$$

$$d_{1в} = 390.628$$

Парциальное давление пара при относительной влажности $\phi_1 = 80\%$, Па

$$p_1 := \frac{\phi_1 \cdot p_{H1}}{100}$$

$$p_1 = 3.086 \times 10^4$$

Влагосодержание, г/кг

$$d_1 := 622 \cdot \frac{p_1}{p_{атм} - p_1}$$

$$d_1 = 277.631$$

Теплосодержание воздуха на входе, Дж/кг

$$J_1 := t_1 + 0.001 \cdot d_1 \cdot (1.93 \cdot t_1 + 2490)$$

$$J_1 = 806.488$$

Плотность воздуха, $кг/м^3$

$$\rho_1 := \frac{349 - 132 \cdot \frac{d_1}{622 + d_1}}{273 + t_1}$$

$$\rho_1 = 0.886$$

Приведенный удельный объем сухого воздуха, $кг/м^3$

$$U_{нр1} := 4.62 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + t_1) \cdot (622 + t_1)$$

$$U_{нр1} = 1.121$$

Вычислим объем циркулирующего воздуха.

Живое сечение штабеля, м² $F_{жс} := L_{ш} \cdot H \cdot (1 - \beta_B \cdot \beta_D)$ $F_{жс} = 3.033$

Скорости циркуляции воздуха, м/с $v_u := 1$

Расход циркулирующего воздуха, м³/час

$V_u := 3600 \cdot v_u \cdot F_{жс}$ $V_u = 1.092 \times 10^4$

Масса испаряемой влаги, кг/кг

$M_u := \frac{V_u}{3600 \cdot m_p \cdot U_{np1}}$ $M_u = 388.337$

Параметры влажного воздуха могут быть также определены по Jd-диаграмме.

В результате применения диаграммы при $t_1 = 75^\circ C$ и $\phi_1 = 0,8$ получаем значения: $d_1 = 285$ г/кг; $J_1 = 810$ кДж/кг; $\rho_1 = 0,88$ кг/м³; $V_{np.1} = 1,5$ м³/кг.

Диаграмма процесса лежит на линии J_1 , а параметры воздуха на выходе из штабеля на ее пересечении с линией влагосодержания d_2 , г/кг

$d_2 := \frac{100}{M_u} + d_1$ $d_2 = 280.206$

Энтальпия на входе в штабель, кДж/кг

$J_1 = 806.488$

В соответствии с диаграммой процесса сушки, энтальпия на выходе, кДж/кг

$J_2 := J_1$ $J_2 = 806.488$

Температура воздуха на выходе из штабеля, °C

$t_2 := \frac{J_2 - 2.49 \cdot d_2}{1 + 0.00193 \cdot d_2}$ $t_2 = 70.597$

Температурный перепад равен, °C

$\Delta t := t_1 - t_2$ $\Delta t = 4.403$

Определение объема свежего и отработавшего воздуха.

Влагосодержание свежего воздуха летом, г/кг

$d_0 := 10$

Масса свежего воздуха на 1 кг испаряемой влаги, кг/кг

$m_0 := \frac{1000}{d_2 - d_0}$ $m_0 = 3.701$

Приведенный удельный объем, м³/ч

$U_{np2} := 4.62 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + t_2) \cdot (622 + d_2)$ $U_{np2} := 1.432$

Объем приточного воздуха, м³/ч

$V_n := 3600 \cdot m_p \cdot m_0 \cdot U_{np1}$ $V_n = 104.069$

Объем отработавшего воздуха, м³/ч

$V_0 := 3600 m_p \cdot m_0 \cdot U_{np2}$ $V_0 = 133.003$

Определим расход теплоты на начальный прогрев древесины.

Низшая температура воздуха, °C

$t_0 := -31$

Относительное содержание незамерзшей влаги, %

$W_{эж} := 34.785714 + 1.1107143 \cdot t_0 + 0.0111071429 \cdot t_0^2$ $W_{эж} = 11.028$

Плотность древесины при начальной влажности, кг/м³

$\rho_1 := 571.119 + 417.37 \cdot \cos(0.00628 \cdot W_H + 3.652)$

$\rho_2 := 689.575 + 413.144 \cdot \cos(0.00788 \cdot W_H + 3.295)$

$\rho_3 := 752.575 + 413.144 \cdot \cos(0.00877 \cdot W_H + 3.295)$

$\rho_4 := 798.7 + 515.68 \cdot \cos(0.00628 \cdot W_H + 3.836)$

$$\rho_5 := 460.9 \cdot e^{0.005W_H} \quad \rho_6 := \frac{1842.3}{1 + 2.07 \cdot e^{-0.0093W_H}}$$

$$\rho := \begin{cases} \rho_1 & \text{if } \rho_{\text{усл}} = 200 \\ \rho_2 & \text{if } \rho_{\text{усл}} = 250 \\ \rho_3 & \text{if } \rho_{\text{усл}} = 300 \\ \rho_4 & \text{if } \rho_{\text{усл}} = 350 \\ \rho_5 & \text{if } \rho_{\text{усл}} = 400 \\ \rho_6 & \text{if } \rho_{\text{усл}} = 450 \\ \rho_6 & \text{if } \rho_{\text{усл}} = 500 \\ \rho_1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\rho = 759.896$$

Условная плотность древесины расчетного материала, кг/м³

$$\rho_{\text{усл}} = 400$$

Среднегодовая температура древесины, °C

$$t_{0cp} := 3.3$$

Температура древесины при прогреве, °C

$$t_{np} := t_1 + \Delta_1$$

$$t_{np} = 80$$

Скрытая теплота плавления льда, кДж/кг

$$r := 335$$

Средняя удельная теплоемкость для зимних условий, кДж/(кг град)

$$W_{31} := -170 - 6 \cdot t_0 \quad W_{32} := -155 - 8.5 \cdot t_0 \quad W_{33} := -45 - 8.75 \cdot t_0 \quad W_{34} := -30 - 13 \cdot t_0$$

$$C_3 := \begin{cases} 1.7 & \text{if } |W_H - W_{31}| > 0.1 \cdot W_H \\ 1.9 & \text{if } |W_H - W_{32}| > 0.1 \cdot W_H \\ 2.1 & \text{if } |W_H - W_{33}| > 0.1 \cdot W_H \\ 2.3 & \text{if } |W_H - W_{34}| > 0.1 \cdot W_H \\ 3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$C_3 = 1.9$$

Расход теплоты на начальный прогрев 1 м³ древесины, кДж/м³
- для зимних условий

$$q_{np1куб} := -\rho \cdot C_3 \cdot t_0 + \frac{W_H - W_{зж}}{100} + \rho \cdot C_3 \cdot t_{np}$$

$$q_{np1куб} = 1.603 \times 10^5$$

Удельный расход теплоты при начальном прогреве на 1 кг испаряемой влаги, кДж/кг

$$q_{npз} := \frac{q_{np1куб}}{M_{1куб}}$$

$$q_{npз} = 426.231$$

Общий расход теплоты на камеру при начальном прогреве, кВт

- для зимних условий

$$Q_{npз} := \frac{q_{np1куб} \cdot E}{3600 \cdot \tau_{np}}$$

$$Q_{npз} = 32.293$$

Вычислим расход теплоты на испарение влаги.

Удельная теплоемкость воды, кДж/(кг °C)

$$C_6 := 4.19$$

Теплосодержание свежего воздуха, кДж/кг

$$J_0 := 46$$

Удельный расход теплоты на испарение влаги, кДж/кг

$$q_{исп} := 1000 \cdot \frac{J_2 - J_0}{d_2 - d_0} - C_6 \cdot t_{np}$$

$$q_{исп} = 2.479 \times 10^3$$

Общий расход теплоты на испарение влаги, кВт

$$Q_{исп} := q_{исп} \cdot m_p$$

$$Q_{исп} = 17.282$$

Рассчитаем потери теплоты через ограждения камеры.

Суммарная площадь поверхности ограждений, м²

$$F_{oz} := 2 \cdot L \cdot H + 2 \cdot B \cdot H + B \cdot L$$

$$F_{oz} = 32.1$$

Площадь пола, м²

$$F_{пол} := B \cdot L$$

$$F_{пол} = 13.5$$

Коэффициент теплоотдачи внутренних поверхностей ограждений, Вт/(м²·°C)

$$\alpha_{вн} := 25$$

Коэффициент теплоотдачи наружных поверхностей ограждений, Вт/(м²·°C)

$$\alpha_{н} := 12$$

Толщина ограждений, м

$$\delta := 0.4$$

Коэффициент теплопроводности материала ограждений, Вт/(м·°C)

$$\lambda := 1.45$$

Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C)

$$k_{oz} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{н}}}$$

$$k_{oz} = 2.505$$

Температура среды в камере, °C

$$t_c := \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$t_c = 72.798$$

Величина теплопотерь через ограждения камеры зимних условий, кВт

$$Q_{озз} := F_{оз} \cdot k_{оз} \cdot (t_c - t_0) \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{озз} = 8.347$$

Коэффициент теплопередачи пола, Вт/(м²·°C)

$$k_{пол} := 0.5 \cdot k_{оз}$$

$$k_{пол} = 1.253$$

Потери теплоты через пол, кВт

$$Q_{пол} = F_{пол} \cdot k_{пол} \cdot (t_c - t_{0cp}) \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{пол} = 1.175$$

Суммарные теплопотери через ограждения и пол для зимних условий, кВт

$$\sum Q_з := Q_{озз} + Q_{пол}$$

$$\sum Q_з = 9.522$$

Удельный расход теплоты через ограждения для зимних условий, кДж/кг

$$q_{озз} := \sum Q_з / M_c$$

$$q_{озз} = 1.776 \times 10^3$$

Таким образом, общая продолжительность сушки определяется с учетом начального прогрева исходных сосновых пиломатериалов, собственно сушки материалов заданной породы, их толщины и ширины в нормальном режиме в камерах с реверсивной циркуляцией при скорости воздуха 1 м/с, ширине штабеля от 1,5 до 2 м при снижении влажности от 60 до 12%.

В результате учета необходимых параметров для сосны на основе информационно технологической модели, реализованной в среде MathCad, определен период цикла сушки продолжительностью 4,8 суток.

С учетом условий сушки и габаритов штабеля вычислена годовая производительность камеры – 303,6 м³ при 70 оборотах камеры в год.

В процессе теплового расчета лесосушильной камеры определена масса испаряемой влаги (0,00697 кг/с) и выбран режим сушки сосновых пиломатериалов при начальной (75 °C) и конечной (5 °C) температурах сушки при начальной влажности 80% (режим нормального типа).

Определены параметры агента сушки на входе в штабель и вычислен объем циркулирующего воздуха – 10920 м³/час и объем отработавшего воздуха выбрасываемого из камеры – 133 м³/час.

Расход теплоты на начальный прогрев 1 м³ древесины для зимних условий составил 160,3 МДж/м³, а для среднегодовых - 180,7 МДж/м³. Удельный расход теплоты на испарение влаги 247,9 МДж/кг.

В автоматизированном режиме вычислены потери теплоты через ограждения камеры. Удельный расход теплоты через ограждения составил для зимних условий 177,6 МДж/кг, а для среднегодовых – 126, 1 МДж/кг.

По совокупности затрат теплоты суммарная тепловая мощность источника составила 69,5 кВт для зимних условий.

Список литературы

1. Альбом. Лесосушильные камеры и оборудование. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1983. – 86 с.
2. *Болдырев, П.В.* Сушка древесины/ П.В. Болдырев. – СПб.: Профи-Информ, 2005. – 168 с.
3. *Пейч, Н.Н.* Сушка древесины/ Н.Н. Пейч, Б.С. Царев. – М.: Высшая школа, 1971. – 220 с.
4. *Богданов, Е.С.* Справочник по сушке древесины/Е.С. Богданов, В.А. Козлов, В.Б. Кунтыш. Под ред. Е.С. Богданова. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 304 с.

05.14.03

А.П. Пустовгар, П.А. Лавданский, А.В. Есенов, А.О. Адамцевич, А.Д. Веденин

Московский государственный строительный университет,
НИИ строительных материалов и технологий,
Москва, advedenin@yandex.ru

АНАЛИЗ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА В СЕРПЕНТИНИТОВОМ БЕТОНЕ

В статье рассматриваются вопросы применения серпентинитового бетона «сухой защиты» ядерного реактора АЭС с водяным охлаждением. Анализируется возможность исключения термообработки «сухой защиты» за счет введения минеральной добавки, повышающей тепловыделение при гидратации цемента, входящего в состав серпентинитового бетона. В работе представлены результаты экспериментального исследования теплового эффекта гидратации образцов смеси на основе портландцемента с добавкой оксида кальция, полученные с использованием метода изотермической калориметрии.

Ключевые слова: *радиационно-защитный бетон, «сухая защита» ядерного реактора, гидратация цемента, тепловыделение.*

Первостепенной проблемой развития атомной энергетики является повышение радиационной безопасности персонала АЭС и окружающей среды. Безопасность персонала АЭС с реакторами водяного охлаждения обеспечивает «сухая» радиационно-тепловая защита (СЗ), которая представляет собой самонесущую цилиндрическую конструкцию с металлически армированными стенками, заполненными радиационно-защитным бетоном с серпентинитовым наполнителем [3,6].

Строители накопили богатый опыт применения серпентинитового бетона в биологической защите объектов ядерной энергетики. Тем не менее в настоящее время возникает ряд задач по повышению технологичности и снижению затрат создания СЗ без ухудшения её защитных свойств. Прежде всего, это касается наиболее дорогостоящей и ответственной операции монтажа СЗ - термообработки радиационно-защитного бетона.

С одной стороны для технологичности укладки бетона требуется достаточное количество воды затворения, но ее удаление связано с большими энергетическими и временными затратами, а также с риском ухудшения прочностных свойств СЗ. С другой стороны, снижение количества воды затворения приведет к нарушению технологичности укладки бетона и, как выше отмечалось, снижению защитных свойств СЗ.

Снизить количество воды затворения бетонной смеси, а также увеличить долю химически связанной воды возможно при использовании различных методов, таких как: подбор оптимальной дисперсности минеральных наполнителей [7,10], активация воды затворения воздействием электрического тока и магнитного поля [4], механоактивация вяжущего и минеральных наполнителей [6], применение пластифицирующих и других модифицирующих добавок [5,9].

Использование указанных подходов не только сохраняет, но и улучшает строительно-технологические и физико-механические свойства бетона. Однако ни один из них не решает проблему снижения затрат на термообработку СЗ. Поэтому недостаточная эффективность известных технологий сушки бетона СЗ заставляет искать новые методы снижения содержания в бетоне свободной (химически несвязанной) воды, сохраняя при этом его строительно-технологические свойства.

Одним из таких методов может стать использование собственного тепловыделения бетона, возникающего в процессе его твердения под воздействием экзотермического

эффекта гидратации цемента [1,2]. Это предположение подтверждается результатами экспериментальных исследований, проведенных в НИИ СМиТ МГСУ, которые наглядно отражают возможность регулирования интенсивности тепловыделения бетона за счет введения в его состав минеральных добавок – например, оксида кальция.

Исследование тепловых эффектов при гидратации образцов с добавлением оксида кальция осуществлялось с использованием восьмиканального изотермического калориметра ТАМ AIR. Рецептуры всех исследуемых образцов представлены в таблице 1, а графики теплового потока и полного суммарного тепловыделения - на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

Таблица 1. Рецептуры исследуемых образцов

Название образца	Цемент, массовых долей	СаО, массовых долей	Вода, массовых долей
Образец 1	100	0	50
Образец 2	100	5	50
Образец 3	100	10	50
Образец 4	100	15	50

Как видно из таблицы 1, все исследуемые образцы испытывались при постоянном водоцементном соотношении ($V/C = 0.5$), а численные значения тепловыделения пересчитывались на один грамм цемента в составе смеси.

По результатам проведенного исследования установлено, что при введении негашеной извести суммарная тепловая энергия образцов увеличивается, особенно в начальный период времени. Неизбежным следствием роста тепловой энергии является повышение температуры бетона.

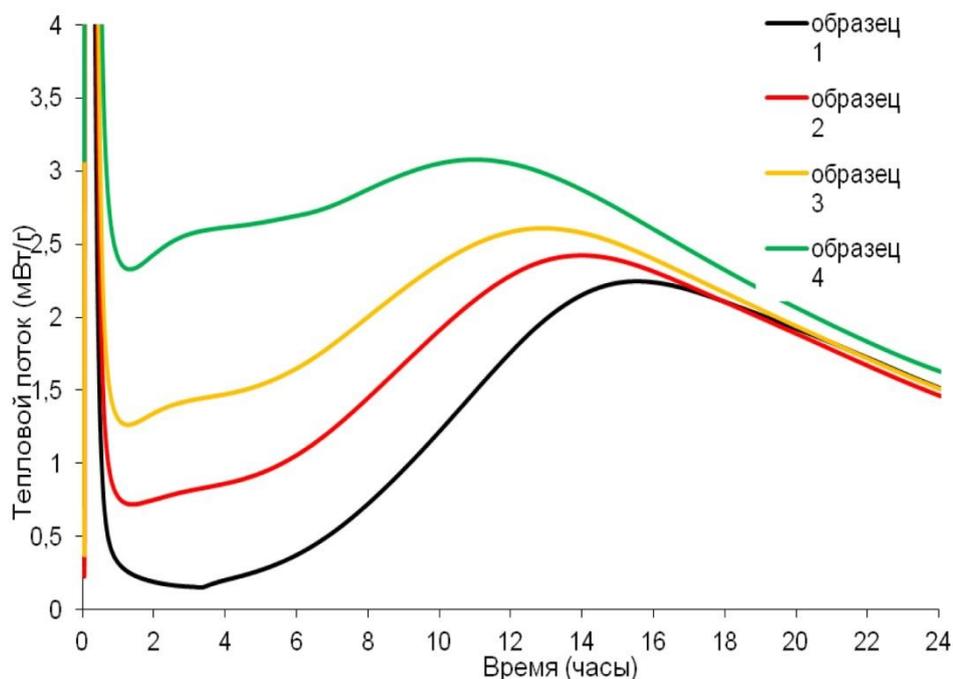


Рис. 1. Графики теплового потока при гидратации исследуемых образцов

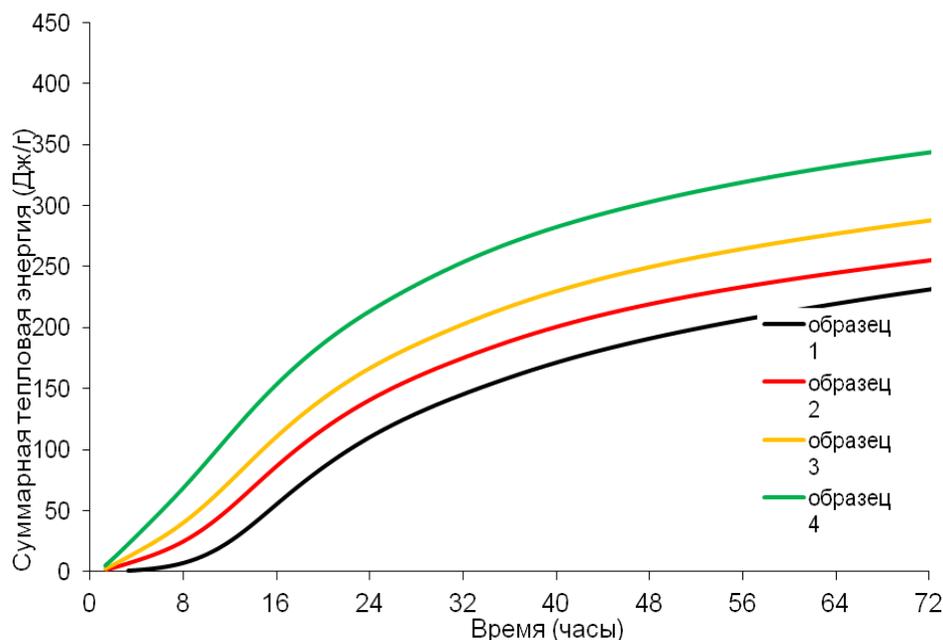


Рис. 2. Графики суммарной тепловой энергии при гидратации исследуемых образцов

Таким образом, проведенное исследование подтверждает возможность использования минеральных добавок для регулирования тепловыделения реакции гидратации портландцемента в составе серпентинитового бетона «сухой защиты» реактора АЭС с целью удаления остаточного содержания химически несвязанной воды без необходимости последующей сушки готовой конструкции.

Список литературы

1. *Адамцевич А.О., Пашкевич С.А., Пустовгар А.П.* Использование калориметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №3(38). – с. 36–42.
2. *Адамцевич А.О., Пустовгар А.П., Еремин А.В., Пашкевич С.А.* Влияние формиата кальция на гидратацию цемента с учетом фазового состава и температурного режима твердения // Строительные материалы. – 2013. – №7. – с. 59–62.
3. *Аришинов И.А., Васильев Г.А., Егоров Ю.А.* Под общей ред. Ю.А. Егорова // Серпентинит в защите ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1973. – 240 с.
4. *Ерофеев В.Т., Фомичев В.Т., Емельянов Д.В., Родин А.И., Еремин А.В.* Влияние активированной воды затворения на структурообразование цементных паст // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. – 2013. – Вып. 30(49). – с. 179–183.
5. *Ефимов П.А., Пустовгар А.П., Соловьева И.А.* Способ изготовления модифицирующих добавок // Патент России № 2211205, 28.03.2002.
6. *Жолдак Г.И., Пергаменщик Б.К., Лавданский П.А., Есенов А.В.* Сухая защита реактора ВВЭР-1000 // Вестник МГСУ. – 2011. – № 8. – с. 316–319.
7. *Маева И.С., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П.* Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // Строительные материалы. – 2009. – № 6. с. 4–5.
8. *Пустовгар А.П.* Эффективность применения активированного диатомита в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – с. 62–65.
9. *Пустовгар А.П., Бурьянов А.Ф., Василик П.Г.* Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2010. – № 12. – с. 62.
10. *Пустовгар А.П., Веденин А.Д.* Теплоизоляционные нанокompозиты на основе аэрогеля кремнезема // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №1. – с. 252–254.

05.21.05

С.И. Рощина, М.В. Лукин, А.В. Лукина, М.С. Лисятников

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Архитектурно-строительный факультет, кафедра Строительных конструкций, г. Владимир, rsi3@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ БИОПОВРЕЖДЕНИЕМ, ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

В статье изложена схема планирования эксперимента для определения оптимального состава клеевой композиции. Определены прочностные показатели композиции и предложена технология усиления деревянных элементов, ослабленных биоповреждениями, путем модификации древесины.

Ключевые слова: *планирование эксперимента, клеевая композиция, усиление деревянных элементов, технология восстановления работоспособности древесины.*

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к традиционным, экологически чистым материалам, к числу которых относится древесина. Объясняется это не только экологичностью древесины, но и тем, что современные технологии позволяют значительно улучшить её эксплуатационные свойства. Древесина становится более технологичным материалом и, следовательно, область её применения значительно расширяется.

В процессе эксплуатации их надежность, несущая способность под действием неблагоприятных факторов (биоповреждения, атмосферные воздействия, агрессивные среды) неминуемо снижается. Деструкция деревянных элементов обычно сопровождается растрескиванием и расслоением древесины [1].

Для усиления несущих деревянных конструкций, имеющих биоповреждения, дефекты или обладающих недостаточной несущей способностью и недопустимой деформативностью, за рубежом и в нашей стране используются различные строительные материалы: металл, бетон, железобетон, древесно-плитные материалы и полимеры.

Усиление полимерами в нашей стране находит все более широкое применение. Для улучшения эксплуатационных и физико-механических свойств древесины применяют пропиточные полимеры и мономеры. (Например, феноло-альдегидные, резорцино-формальдегидные, мочевино-формальдегидные, фурановые, эпоксидные и другие полимеры).

Восстановить несущую способность конструкции можно пропиткой высокоподвижными твердеющими растворами. В качестве таких растворов авторы статьи предполагают компауды на основе эпоксидной смолы. Для её отверждения требуются отвердители для эпоксидных смол (ПЭПА, ТЭТА, и т.д.). Однако не рекомендуется использовать составы, содержащие только эпоксидную смолу и отвердитель, так как в большинстве случаев получаются весьма жесткие материалы подверженные трещинообразованию с высокой степенью вязкости [2]. Для понижения вязкости смолы добавляют к ней разбавитель. В качестве разбавителя клеевой композиции предполагается использовать ацетон.

Определив составляющие исследуемого клеевой композиции: эпоксидная смола, отвердитель, пластификатор, растворитель, необходимо определить оптимальное их соотношение.

Для решения поставленной задачи требуется исследовать различные факторы для последующего использования найденных зависимостей в управлении исследуемыми процессами. Однако можно так спланировать сочетание различных факторов, чтобы при минимальном числе опытов наиболее равномерно охватить всю площадь таблицы

возможных сочетаний влияющих факторов. Для этого можно развить далее идею так называемого «латинского квадрата» [3]. Развивая дальше метод латинского квадрата, предлагаем искать зависимость результата от трех факторов (процентное содержание разбавителя, пластификатора и отвердителя к 100% ЭД-20).

разбавитель, %		0					5					10					15					20				
пластификатор, %		0	4	8	12	16	0	4	8	12	16	0	4	8	12	16	0	4	8	12	16	0	4	8	12	16
отвердитель, %	10																									
	12																									
	14																									
	16																									
	18																									

Рис. 1- Схема планирования эксперимента для трех факторов

На рис. 1 показан один из возможных планов такого сочетания трех факторов, каждый из которых может принимать пять значений. Такое планирование эксперимента сужает количество проводимых опытов с 125 до 25 при незначительном снижении точности интересующих нас зависимостей вторичных факторов прочности и деформативности от первичных факторов: о (отвердитель), р (пластификатор), г (разбавитель).

В результате получим следующие зависимости:

$$f(r) = -0,0003r^3 + 0,0092r^2 - 0,08777r + 1,251 \tag{1}$$

$$f(o) = -0,0012o^3 + 0,0516o^2 - 0,6875o + 3,9451 \tag{2}$$

$$f(p) = 0,0003p^3 - 0,006p^2 + 0,0451p + 0,8336 \tag{3}$$

Таким образом, по найденным частным уравнениям каждой переменной получена эмпирическая зависимость, учитывающая влияние каждого конструктивного фактора на прогиб балок:

$$f = \Delta c p f(r) f(o) f(p) \tag{4}$$

Полученная многофакторная формула предназначена для определения разрушающей нагрузки в зависимости от любого сочетания трех вариативных факторов: г, р, о. Подставляя соответствующие параметры факторов, получим соответствующее значение разрушающей нагрузки.

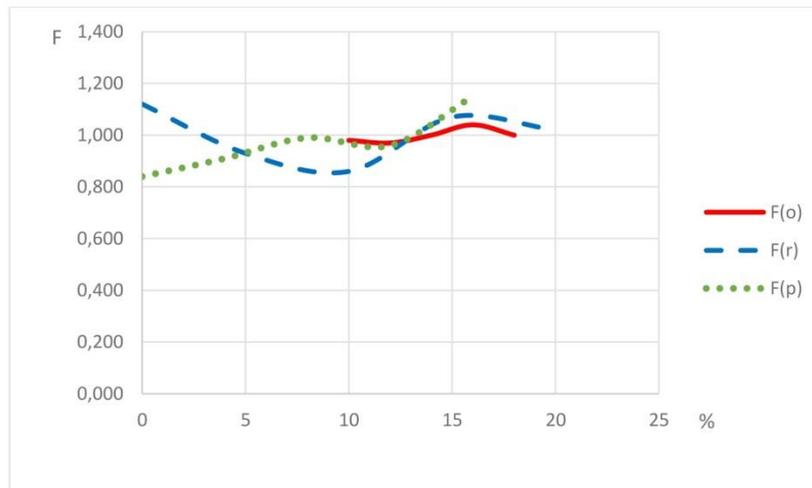


Рис. 2 - Влияние факторов г, р, о на прочность клеевой композиции

Таким образом, на основе экспериментально-теоретических исследований, определен состав клеевой композиции: разбавитель- 5%; пластификатор- 16%; отвердитель- 10% по отношению к 100% эпоксидной смолы.

Таблица 1- Прочностные показатели укрепляющей клеевой композиции

Разрушающая нагрузка на сжатие, кН	Модуль упругости, кН/см ²	Предел прочности на сжатие, кН/см ²	Адгезионная прочность при сдвиге ¹ , кН/см ²	Адгезионная прочность при изгибе ¹ , кН/см ²
58,021	238,018	5,028	0,37 / 0,451	2,062 / 2,619

Примечание: ¹В числителе указано значение для здоровой древесины, а в знаменателе для древесины, ослабленной биоповреждением, соответственно.

Разрушение деревянных образцов при испытании на адгезию происходило по древесине. Различные значения адгезионной прочности здоровой древесины и древесины, ослабленной биоповреждением, объясняется, изменением структуры древесины в процессе эксплуатации. Деструктивная древесина более «рыхлая», что увеличивает способность к поглощению композиции.

Направленное регулирование эксплуатационных свойств и возможности модификации эпоксидных смол обусловили их широкое применение при восстановлении и усилении деревянных конструкций. Области применения разработанной клеевой композиции: усиление и восстановление несущей способности строительных деревянных конструкций, ослабленных биоповреждением; ремонт и омоноличивание строительных деревянных конструкций, получившие различные повреждения; реставрации памятников архитектуры; устройство защитно-конструкционных покрытий.

Технологический процесс восстановления работоспособности древесины, ослабленной биоповреждениями включает в себя следующие этапы: подготовительный, основной и заключительный. Этапы технологического процесса представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Этапы технологического процесса восстановления работоспособности древесины

I Этап. Подготовительный	II Этап. Основной	III Этап. Заключительный
<ul style="list-style-type: none"> - Подготовительные работы (обследование объекта, обеспечение температурно-влажностного режима древесины, доставка, монтаж и опробование механизмов и приспособлений и т.д.) - Разгрузка балок (вывешивание, установка подкосов, поддерживающих конструкций и т.п.) - Демонтаж конструкций пола (щитов наката, утеплителя, звукоизоляции) для проведения ремонтных работ. - Сушка опорных зон балок, ослабленной биоповреждением; - Опалубочные работы 	<ul style="list-style-type: none"> - Разбивка деревянной балки на хватки; - Монтаж опалубки; - Сверление отверстий для инъектирования и вклеивания арматуры; - Приготовление модифицирующей клеевой композиции; - Нагнетание укрепляющей клеевой композиции в заранее просверленные отверстия при помощи инъекторов под необходимым давлением; - Вклеивание арматурных стержней в тело балок; - Промывка оборудования; - Выдержка конструкции в течение 14 суток для набора необходимой прочности элементов усиления. 	<ul style="list-style-type: none"> - Распалубливание; - Снятие разгружающих элементов; - Контроль качества работ.

Таким образом, в ходе исследований разработана схема планирования трехфакторного эксперимента для определения оптимального укрепляющего состава клеевой композиции, определен оптимальный клеевой состав на основе эпоксидной смолы, представлены основные прочностные характеристика клеевой композиции, разработана технологическая последовательность и основные принципы по лечению и усилению деревянных балок, ослабленных биоповреждениями, методом инъектирования укрепляющей клеевой композиции.

Список литературы

1. http://www.lifesciencesite.com/ljsj/life1109s/037_25152life1109s14_192_195.pdf
2. ГОСТ 10587-93. Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия. Москва. 1993.-19 с.
3. *Протодьяконов М.М., Тедер Р.И.* Методика рационального планирования эксперимента.- М., изд-во «Наука», 1970. - 78 с.

05.22.07

А.Г. Русаков, И.М. Пышный

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
электромеханический факультет, кафедра электрической тяги,
Екатеринбург, An96Ru@bk.ru, igorkz45@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ ПРИ ПОМОЩИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПАСПОРТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЧАСТКА ПУТИ

В данной статье рассмотрена методика определения ТЭР на тягу поездов при помощи энергетического паспорта, а так же проведено сравнение удельного расхода между новыми и устаревшими локомотивами.

Ключевые слова: Энергоэффективность, энергетический паспорт железнодорожного участка, новые локомотивы, коэффициент рекуперации, электровозы.

На сегодняшний день железнодорожный транспорт является одним из крупнейших потребителей электроэнергии и нефтепродуктов в России. Именно поэтому одним из важнейших направлений программы «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте» является решение целевых задач по снижению удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

Основным направлением действующей целевой программы «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации № 877-р от 17 июня 2008 г., является снижение стоимости эксплуатации подвижного состава и повышения надежности функционирования железнодорожного транспорта путем сокращения удельного расхода минимум на 5 процентов. [1]

На электрифицированных участках железных дорог России одним из основных источников экономии электроэнергии при эксплуатации магистральных электровозов является рекуперативное торможение. При эксплуатации магистральных тепловозов основным источником экономии является рациональное ведение поезда по участку. Самым энергоемким видом движения является маневровое. Малые пробеги, длительный простой в ожидании работы по станции, работа на малых позициях, постоянный разгон и торможение – все это описывает работу маневрового локомотива.

В связи с этим вопрос о расходе топлива, является важным среди основных направлений технических мероприятий направленных на выполнение норм удельного расхода топливно-энергетических ресурсов. В связи с вышесказанным, заказывая сегодня локомотивы необходимо четко представлять, что произойдет с объемами производства энергоносителей и соответствующей ценой на них в 2020-2030 гг., т.е. в течение всего жизненного цикла локомотива. [2]

Сегодня в приписной парк дирекции тяги филиала ОАО «РЖД» поступает новый подвижной состав с асинхронным и гибридным приводом, а так же локомотивы, работающие на сжиженном природном газе.

Так, взамен выработавших свой срок электровозов серии ВЛ10 и ВЛ11 в приписной парк Свердловской, Западно-Сибирской и Южно-Уральской дирекции тяги поступают локомотивы серии 2ЭС10 с асинхронным тяговым приводом.

В целях снижения удельного расхода топлива и снижения себестоимости грузоперевозок в замен магистральных тепловозов в приписной парк локомотивов Свердловской дирекции тяги структурного подразделения Центральной дирекции тяги поступил инновационный

локомотив серии ГТ1h-001 с гибридным приводом, работающий на сжиженном природном газе.

Опытные поездки ГТ1h-001 подтвердили высокую экономическую эффективность данного типа тяги - расходы на топливо (сжиженный природный газ) на 30% ниже, чем при использовании дизельного топлива.

14 мая 2013 года в городе Сочи под председательством Президента Российской Федерации В.В.Путина состоялось совещание по вопросу расширения использования газа в качестве моторного топлива. По итогам совещания президент ОАО «РЖД» В.И. Якунин и Председатель Правления ОАО «НК «Роснефть» И.И. Сечин подписали Меморандум о взаимопонимании и о совместной реализации проекта использования газа на железнодорожном транспорте. [3]

Чтобы понять насколько энергоэффективны инновационные локомотивы в сравнении с уже имеющимися, необходимо и достаточно сравнить данные полученные статистическим и аналитическим путем на одном полигоне обращения.

Для определения статистических данных необходимо провести анализ путем обработки данных полученных с маршрутов машиниста. Аналитическое определение конкретного значения удельного расхода топливно-энергетических ресурсов напрямую зависит от профиля пути железнодорожного участка.

С целью более точной оценки энергоэффективности локомотива необходимо принимать к учету только те показатели, которые не зависят от случайных факторов. К таким факторам можно отнести квалификацию поездного диспетчера и локомотивной бригады, погодных условий неоднородность состава поезда и т.д.

В результате получим показатели, которые в совокупности можно охарактеризовать энергетическим паспортом железнодорожного участка.

Удельный расход топливно-энергетических ресурсов и геометрический эквивалентный профиль участка, показанный на рисунке 1, являются главными показателями энергетического паспорта.

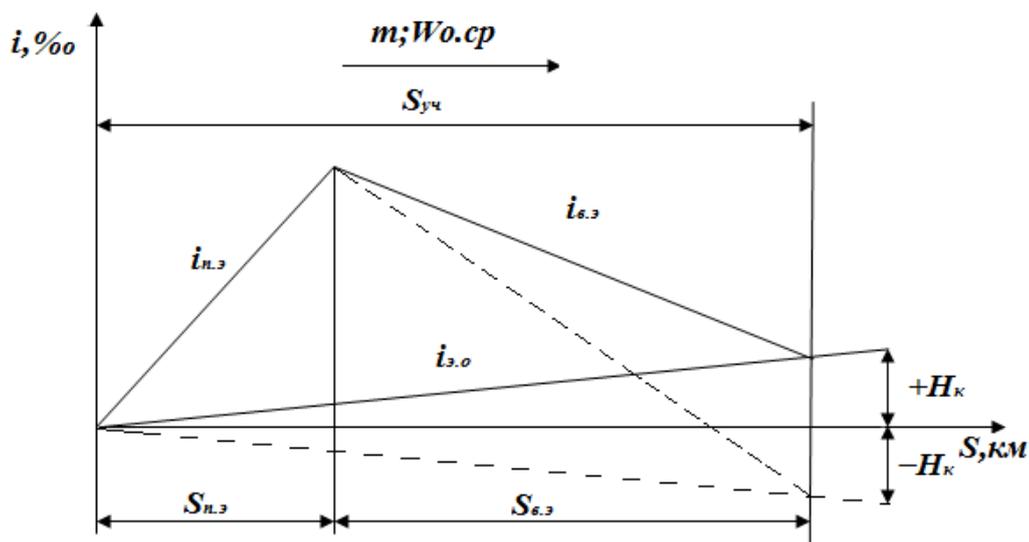


Рис. 1 – Эквивалентный профиль участка

Математическое определение параметров энергетического паспорта будет следующим.

Вредный эквивалентный спуск участка

$$i_{э.э} = \frac{\sum i_{э.и} \cdot S_{э.и}}{\sum S_{э.и}} \quad (1)$$

Эквивалентный подъем участка

$$i_{n.э} = \frac{\sum i_{n.i} \cdot S_{n.i} - \sum i_{б.и} \cdot S_{б.и}}{S_{уч} - \sum S_{э.и}} \quad (2)$$

Эквивалентный уклон, определяемый геометрическими параметрами профиля пути

$$i_{э.о} = (\sum i_{n.i} \cdot S_{n.i} - \sum i_{б.и} \cdot S_{б.и} - w_{о/ср} \sum i_{э.и} S_{э.и}) / S_{уч} \quad (3)$$

Коэффициент рекуперации

$$K_{p.o} = \frac{(i_{э.э} - w_{о.ср}) \cdot \sum S_{э.и}}{(i_{n.э} + w_{о.ср}) \cdot (S_{уч} - \sum S_{э.и})} \eta_{ЭПС.Т} \cdot \eta_{ЭПС.Р} \quad (4)$$

Удельный расход электроэнергии, определяемый основным сопротивлением движению поезда и геометрическими параметрами профиля пути

$$a = 27,25 \cdot (w_{о.ср} + i_{э}), \quad (5)$$

Высота конца участка относительно начала участка

$$H_k = (i_{n.э} \cdot S_{n.э}) - (i_{э.э} \cdot S_{э.э}), \quad (6)$$

По результатам статистических данных информационного ресурса ОАО «РЖД» ЦОММ и расчетных данных, согласно предложенной методики, сформирована таблица показаний удельного расхода топливно-энергетических ресурсов.

Таблица № 1 – Статистические и расчетные данные

Серия	Участок	А расч.	А стат.	Откл., %
ВЛ 10	Войновка - Камышлов	61,59	69,12	112
2ЭС6	Войновка - Камышлов	61,59	65,47	106,3
ВЛ 11	Шалья – Свердловск-Сортировочный	70,59	81,17	115
2ЭС10	Шалья – Свердловск-Сортировочный	70,59	74,83	106

Проанализировав данные таблицы № 1 можно сказать, что в результате получившийся процент отклонения показывает нам квалификацию машиниста и поездного диспетчера, а так же энергоэффективность новых локомотивов.

Среднее значение данного параметра не будет являться постоянной величиной, поэтому при планировании показателей энергоэффективности на будущий период необходимо и достаточно принимать к расчету данные за истекший месяц.

Список литературы

1. Бегагоин Э.И., Русаков А.Г. Оценка энергетической эффективности рекуперативного торможения [Текст] / Бегагоин Э.И., Русаков А.Г. // Научно-технический вестник Поволжья.- 2014. - №1.- С.57 – 60.
2. Русаков А.Г. Анализ энергоэффективности грузовых магистральных электровозов эксплуатируемых на полигонах Свердловской железной дороги [Текст] / Русаков А.Г. // Вестник института тяги и подвижного состава.- 2013. - №9.- С.78 – 79.
3. Пышный И.М., Русаков А.Г. Локомотивы нового поколения, эксплуатирующиеся на природном сжиженном газе [Текст] / Пышный И.М., Русаков А.Г. // Инновационный транспорт.- 2014. - №2(12).- С.28 – 30.

05.23.03

А.Г. Рымаров, М.И. Ботнарь

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, ov@mgsu.ru

ОСОБЕННОСТИ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ЗДАНИЕМ В ПЕРИОД РЕЗКОГО ПОХОЛОДАНИЯ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Динамика температуры наружного воздуха в период резкого похолодания важна для анализа фактического теплотребления зданием в период максимальной нагрузки на систему отопления. Рост и снижение теплотерь зданием в период резкого похолодания связан с напряженной работой системы отопления здания, что отражается на температурном режиме каждого помещения и отражается на энергосбережении.

Ключевые слова: *температура наружного воздуха, период резкого похолодания.*

Периоды резкого похолодания имеют различную продолжительность и амплитуду снижения температуры наружного воздуха, что показано в исследованиях проводимых проф. Богословским В.Н. в середине 20 века. Сначала температура наружного воздуха медленно понижается в течение 10-15 дней, а затем температура резко снижается до минимума, после чего резко повышается и начинается рост температуры.

Проведен мониторинг температуры наружного воздуха в холодный период года в период резкого похолодания с 27 января по 2 февраля 2014 года в г. Москве. Измерения проводились с применением прибора Измеритель плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03/10Х(1) «ПОТОК». В данный период зафиксировано резкое похолодание, при котором снижение температуры со значения $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ прошло за 2 суток, а повышение температуры с $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ прошло за 3 суток. Так как наружные ограждающие конструкции инерционны (кроме окон) то влияние на температуру внутреннего воздуха будет смещено на период около 5 суток от начала периода резкого похолодания [1]. При этом работа системы вентиляции не прерывается, и нагревать инфильтрационный воздух в системе естественной вентиляции и приточный воздух в системе приточно-вытяжной механической вентиляции нужно постоянно [2].

Проведены расчеты изменения теплотерь за данный период резкого похолодания для наружных стен с тепловой защитой по нормам до 1995 года (СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника») и после 1995 года (СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита здания») с коэффициентами теплопередачи $0,95\text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C})$ и $0,35\text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C})$ соответственно и при температуре внутреннего воздуха равной $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, результаты расчетов показаны на графиках на рис. 1, где из-за инерционности пики потерь теплоты помещениями будут сдвинуты во времени на период до 5 суток вперед [3] и не будут совпадать во времени с минимумом температуры в период резкого похолодания.

Суммарные потери тепла за указанный период составили $294,4\text{ Вт}/\text{м}^2$ и $108,5\text{ Вт}/\text{м}^2$, а при средней температуре января 2014 года равной $-7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ суммарные теплотери за январь 2014 года через наружную стену с коэффициентами теплопередаче указанными выше составят $820,8\text{ Вт}/\text{м}^2$ и $302,4\text{ Вт}/\text{м}^2$ соответственно. Суммарные теплотери за период резкого похолодания составляют 36 % от суммарных теплотерь за январь для двух рассмотренных вариантов, что так же характеризуется интенсивностью роста теплотерь [4] в период резкого похолодания, что требует учета при организации прогнозирования нестационарной теплопередачи через наружные ограждающие конструкции [5]. Проведены расчеты изменения теплотерь за данный период резкого похолодания от инфильтрации наружного воздуха в помещения через окна с сопротивлением инфильтрации по нормам до 1995 года и после 1995 года с нормативной воздухопроницаемостью для окон жилых зданий $10\text{ кг}/(\text{ч}\times\text{м}^2)$

и $5 \text{ кг}/(\text{ч}\times\text{м}^2)$ соответственно и при температуре внутреннего воздуха равной $+20 \text{ }^\circ\text{C}$, здание принято жилое 12-этажное, результаты расчетов показаны на графиках на рис. 2 (1, 2, 3 – по нормам до 1995 года для 1, 6 и 12 этажей соответственно, 4 – по современным нормам), где максимальные теплопотери составляют $250 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $185 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $120 \text{ Вт}/\text{м}^2$ и $51 \text{ Вт}/\text{м}^2$ последовательно согласно указанным вариантам. Теплопотери от инфильтрации наружного воздуха происходят безынерционно и одновременно с процессом резкого похолодания [6].

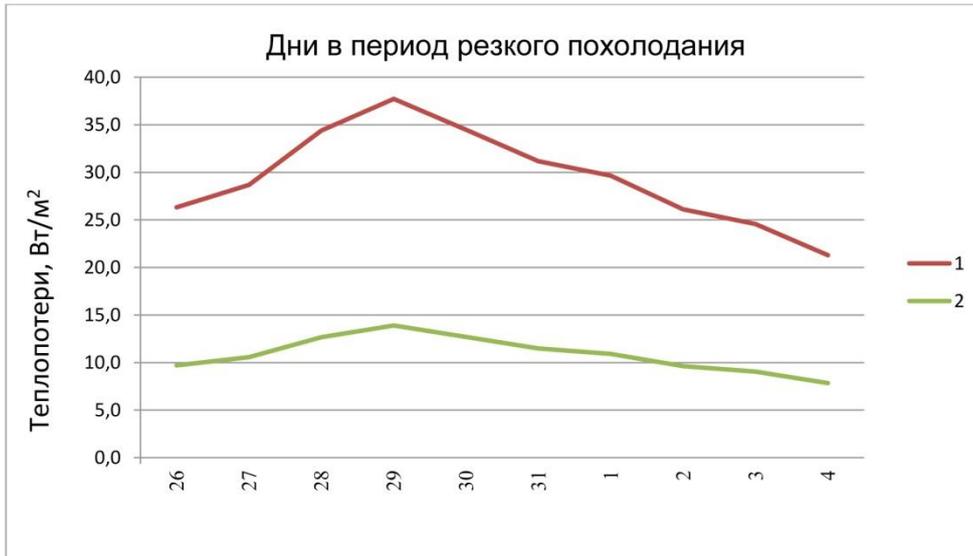


Рис. 1 Теплопотери за счет теплопередачи через стены в период резкого похолодания зимой с 26 января по 4 февраля 2014 года, где 1- по нормам до 1995 года, 2 –по современным нормам.

Суммарные потери тепла от инфильтрации наружного воздуха за указанный период резкого похолодания составили $1719,9 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $1308,1 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $896,9 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $432,9 \text{ Вт}/\text{м}^2$ соответственно указанным вариантам, а при средней температуре января 2014 года равной $-7,9 \text{ }^\circ\text{C}$ теплопотери за счет инфильтрации согласно условиям указанных вариантов за весь январь составят $4461,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $3431,1 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $2410,9 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $1207 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Суммарные теплопотери за счет инфильтрации в период резкого похолодания составляют 36-39 % от суммарных теплопотерь за счет инфильтрации за весь январь 2014 года для всех рассмотренных вариантов. Получается, что за 16% времени января 2014 года потреблено 36-39 % энергии теплопотребления данного периода за счет инфильтрации.

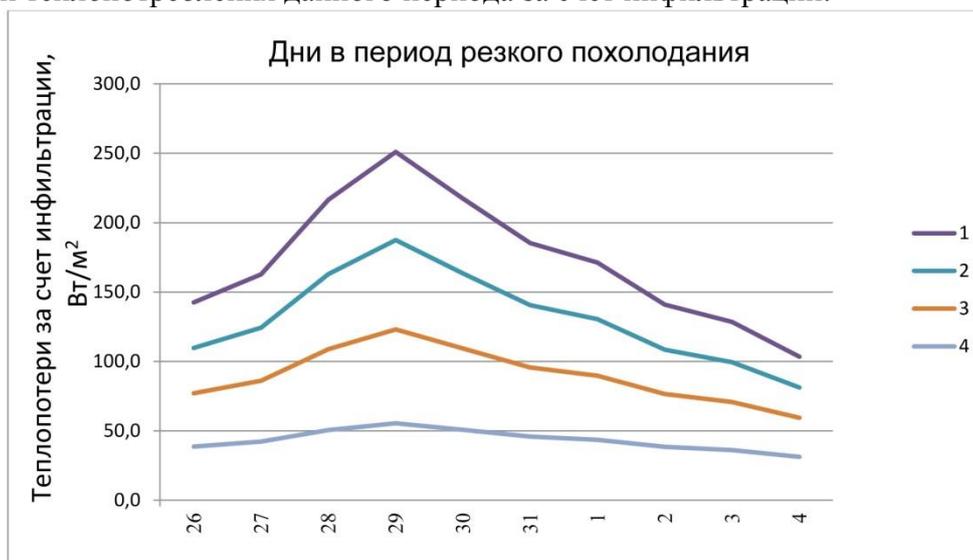


Рис. 2 Теплопотери за счет инфильтрации наружного воздуха в помещения жилого здания в период резкого похолодания зимой с 26 января по 4 февраля 2014 года, где 1, 2, 3 – по нормам до 1995 года для 1, 6 и 12 этажей соответственно, 4 –по современным нормам.

Анализ и сравнение старых и новых норм по тепловой защите всегда будут не в пользу старых норм, однако новое строительство составляет небольшой процент от существующих зданий, поэтому анализ возможностей по энергосбережению в зданиях, построенных до 1995 года имеет важное значение, так как периодически формируются задания на реконструкцию данных зданий. И так же остается дилемма о целесообразности активного энергосбережения за счет утепления зданий в связи большим временем окупаемости и низкой долговечностью современных энергосберегающих ограждающих конструкций.

Вопросам изучения параметров микроклимата в помещениях зданий посвящена зарубежная работа [7], однако, рассматриваемая в настоящей статье проблематика в ней не рассматривается.

Мониторинг изменения температуры наружного воздуха позволяет анализировать нестационарное потребление тепловой энергии помещениями здания в холодный период года особенно в период резкого похолодания, что позволяет прогнозировать изменение параметров микроклимата в помещениях [8] с учетом поиска коэффициента интеллекта здания [9] и искать пути энергосбережения в здании.

Список литературы

1. *Рымаров А.Г.* Особенности учета взаимного влияния тепломассообменных режимов здания. // *Естественные и технические науки.* 2013. № 1. С.380-382.
2. *Рымаров А.Г., Самарин О.Д., Плотников А.А.* Разработка научных основ управления параметрами внутреннего микроклимата на Большой Спортивной Арене стадиона «Лужники». // *Энергосбережение и водоподготовка.* 2000. №2. С.32-36.
3. *Рымаров А.Г., Лушин К.И.* Особенности расчета теплового режима здания с массивными ограждающими конструкциями в холодный период года. // *Строительство: наука и образование.* 2012. № 2. С. 5.
4. *Рымаров А.Г., Смирнов В.В.* Изменение коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности ограждающих конструкций высотного здания в холодный период. // *Монтажные и специальные работы в строительстве.* 2006, №1, с. 26-28.
5. *Рымаров А.Г., Лушин К.И.* Тепловой режим теплоизолированного трубопровода системы холодного водоснабжения. // *Строительство: наука и образование.* 2012. № 1. С. 7.
6. *Рымаров А.Г., Лушин К.И.* Особенности расчета теплового режима линейных подземных сооружений на примере автотранспортного тоннеля. // *Строительство: наука и образование.* 2011. № 2. С. 5.
7. *Sakr, W., Weschler C.J., Fanger P.O.* The impact of sorption on perceived indoor air quality // *Indoor Air.* 2006. vol. 16. no 2. pp. 98-110.
8. *Рымаров А.Г.* Прогнозирование параметров воздушного, теплового, газового и влажностного режимов помещений здания. // *Academia.* Архитектура и строительство. 2009. №5. С. 362-364.
9. *Волков А.А.* Интеллект зданий: формула. // *Промышленное и гражданское строительство.* 2012. № 3. С. 54-57.

05.13.01

Э.С. Соколова, О.П. Тимофеева, Е.С. Кадиленко

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
 Нижний Новгород, essokolowa@gmail.com

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ
 ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В ПРЕДЕЛАХ ОГРАНИЧЕННОЙ СЕТИ
 АВТОДОРОГИ**

Решается задача создания системы управления движением, которая вычисляет и назначает оптимальные маршруты движения для множества транспортных средств, исходя из знания их текущего местоположения и скорости движения.

Ключевые слова: автопилот, транспортные средства, маршруты движения.

Автоматическое управление транспортными средствами (ТС), объединенных в одну сеть, позволяет оперативно управлять динамически меняющимся транспортным потоком с целью оптимизации перемещения всех транспортных средств в пределах сети.

Разрабатываемая система оперативно рассчитывает маршруты движения ТС с целью минимизации времени движения каждого из них, позволяет сохранять безопасное расстояние, быстро реагировать на появление нового участника движения, корректируя скорость движения на разных участках дороги. Модель сети путей представляется графом, узлы которого - это точки путей, отмеченные координатами, а направленные дуги представляют направления движения между точками путей. Каждый узел характеризуется уникальным идентификатором, координатами, списком связей, входящих и выходящих из узла. Связи характеризуются уникальным идентификатором связи, идентификаторами узла, в которых начинается и заканчивается связь, длиной связи, максимальной и средней скоростями движения на всей протяженности связи. Параметры ТС – его уникальный идентификатор, начальная и конечная точка пути, скорость.

Пример граф-модели для системы управления движением представлен на рисунке 1, где ТС представлены закрашенными вершинами.

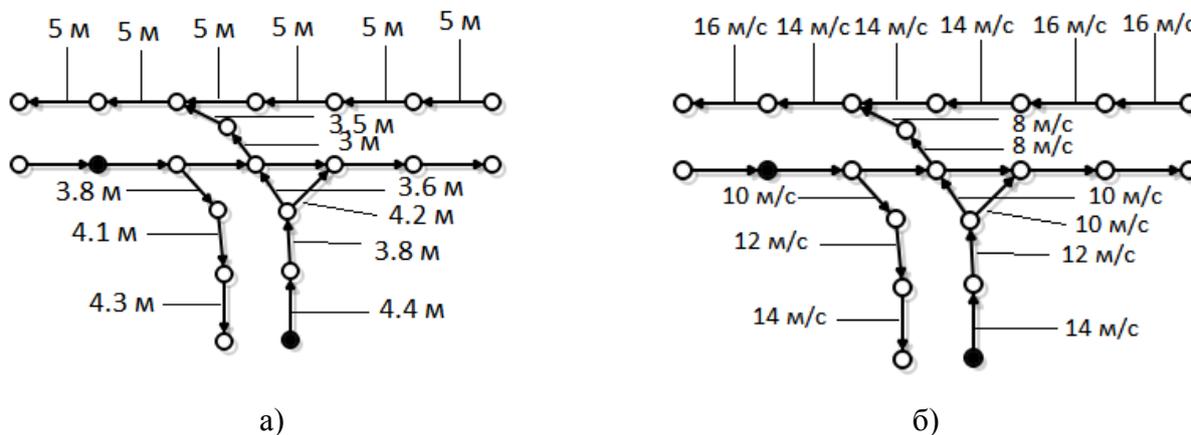


Рис. 1. Граф-модель с указанием
 а) длин связей графа; б) с указанием максимальных скоростей движения

Работа системы управления движением заключается в вычислении пути для каждого транспортного средства таким образом, чтобы суммарное время перемещения всех транспортных средств от своей начальной точки до конечной было минимальным.

Путь ТС (P_j) представляет собой вектор (назовем его вектор решения), каждый компонент которого содержит идентификатор узла (Id_j), скорость ТС в данном узле (V_j) и время прибытия в данный узел (t_j), отсчитываемое от начала движения:

$$P_j = \left\{ (Id_0, V_0, t_0); \dots (Id_j, V_j, t_j); \dots (Id_{m_j}, V_{m_j}, t_{m_j}) \right\}, \quad j = \overline{0, m_j}.$$

Количество компонентов (m_j) в векторе решения определяет число участков дороги, т.е. связей, содержащихся на пути движения ТС, от его начальной до конечной точки. При вычислении пути учитываются следующие ограничения: в один момент времени (с учетом его небольшой окрестности) в узле не должно находиться более одного ТС и модуль его ускорения не должен превышать некоторого определённого заранее значения.

Полное время движения ТС складывается из времени, затраченного на перемещение между всеми соседними узлами в пути. Т.к. промежутки пути между соседними узлами прямые и имеют небольшую протяжённость, можно считать, что движение ТС на этих участках имеет прямолинейный и равноускоренный характер. Тогда время перемещения между двумя соседними узлами составит величину:

$$t_j = 2S_j / (V_j + V_{j-1}), \quad (1)$$

где S_j – расстояние между двумя соседними узлами; V_{j-1} – скорость ТС при отправлении из узла с номером $j-1$; V_j – скорость ТС в момент пересечения следующего, j -го узла.

Полное время движения одного ТС от начальной точки пути до конечной соответственно равно:

$$t_{path} = \sum_{j=1}^{m_j} t_j = \sum_{j=1}^{m_j} \frac{2S_j}{V_j + V_{j-1}}, \quad (2)$$

где j – номер компонента вектора решения; m_j – общее количество компонентов вектора решения.

Тогда суммарное время перемещения всех ТС от начальной до конечной точек пути определяется следующим образом:

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_j} \frac{2S_j}{V_j^i + V_{j-1}^i} \quad (3)$$

где i – номер ТС; n – общее количество ТС, находящихся на дороге.

В результате анализа алгоритмов решения задач поиска оптимальных путей, таких, как метод полного перебора, волновой алгоритм, алгоритм A^* , алгоритм Дейкстры, был выбран и оптимизирован метод полного перебора, который, несмотря на его трудоёмкость, позволяет гарантированно найти решение. Для каждого ТС реализован рекурсивный расчёт пути от его начальной точки до конечной, при этом при расчёте параметров движения ТС между соседними точками просчитываются три варианта скоростного режима: с уменьшением, увеличением и сохранением текущей скорости движения. В зависимости от скорости движения и длины связи рассчитывается время достижения ТС следующего узла и проверяется наличие в текущем решении других ТС, находящихся в следующем узле в тот же момент времени. Если такое ТС находится (конфликтная ситуация), то дальнейший расчёт текущего решения завершается и продолжается расчёт решений с изменением скорости движения.

Для оптимизации работы алгоритма полного перебора процесс получения решения разбит на отдельные итерации. На каждой итерации определяются промежуточные пути для каждого ТС, одинаковые по времени прохождения, которые отправляются ТС (автоматическое управление), что позволяет добиться значительного снижения глубины рекурсии при полном переборе вариантов решения.

Алгоритм поиска решения разделён на две части, работающие в параллельных потоках и взаимодействующие друг с другом. Первая часть алгоритма после каждой итерации нахождения промежуточных путей рассчитывает оптимальные пути на графе из каждой

точки в каждую, создавая тем самым карту оптимальных путей. Для расчёта используется волновой алгоритм [1], причём волна пускается из конечной точки и проходит через связи по всем точкам, из которых можно попасть в конечную точку пути. Вторая часть алгоритма рассчитывает оптимальные маршруты движения ТС - для каждого ТС берётся оптимальный путь из карты оптимальных путей, и в каждый узел, который будет пересекать транспортное средство, записываются идентификаторы транспортных средств. Таким образом, узлы, содержащие больше одного идентификатора, считаются потенциально конфликтными (в них может произойти столкновение). Для каждого ТС составляется промежуточный путь движения последовательным перебором узлов, входящих в оптимальный путь, с заданием скорости движения от текущего узла к следующему. При этом по формуле (1) определяется суммарное время движения по промежуточному пути с учетом заданной скорости и расстояния между узлами. Расчет продолжается до тех пор, пока суммарное время не превысит времени расчёта промежуточного пути.

В процессе составления промежуточного пути для каждого добавляемого в маршрут узла подсчитывается длина тормозного пути, исходя из заданной скорости движения в узле и ускорения торможения по следующей формуле:

$$L = \frac{V^2}{2\alpha}, \quad (4)$$

где L – длина тормозного пути; V – подсчитанная алгоритмом скорость движения через узел; α – ускорение торможения, которое является безопасным для пассажиров (задается перед началом работы алгоритма).

Для заблаговременного определения приближения ТС к конфликтному узлу, проверяются все узлы оптимального пути, находящиеся на расстоянии, меньшем или равном длине рассчитанного тормозного пути ТС от текущего узла с целью разрешения временного конфликта. Для этого составляются пути всех конфликтующих ТС до узла, предшествующего конфликтному узлу, попадающему в тормозной путь. Затем для конфликтующих ТС составляются все варианты движения с разными скоростями от узла, в котором остановилось построение пути, до конфликтного узла. После этого происходит перебор всех возможных сочетаний движения ТС и проверка отсутствия временных конфликтов для рассматриваемых узлов, а также оценка каждого сочетания движений с целью выбора такого, при котором суммарное время достижения конфликтного узла минимально. После того, как все промежуточные пути для транспортных средств рассчитаны, результат передается в первую часть алгоритма для пересчёта средних скоростей движения по связям и перестроения карты оптимальных путей.

Список литературы

1. Ключарев А.А., Матьяш В.А., Щекин С.В. Структуры и алгоритмы обработки данных. Учеб. Пособие /СПбГУАП. СПб., 2003. -172 с.

05.13.10

С.Г. Фомичев, А.В. Антонов, Т.В. Бурнышева

Новокузнецкий институт (филиал)
 ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,
 факультет информационных технологий,
 кафедра информационных систем и управления им. В.К. Буторина,
 Новокузнецк, alexandr-15.12@mail.ru, tburn@mail.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ АККУМУЛИРОВАНИЕМ МАССЫ

Предложен подход определения экономической эффективности применения способа управления аккумулярованием массы технологией производства с учетом остановок конвейерной линии на стоимость проведения подготовительной выработки.

Ключевые слова: *технология производства, способ управления, показатели надежности, отказы, эффективность.*

На практике используются различные способы управления технологией производства с целью снижения воздействия остановок на производство продукции [1]. Для их реализации разрабатываются различные технико-технологические решения по реконструкции и модернизации технологии. Однако, любые решения требуют финансовых затрат на их практическую реализацию, поэтому всегда возникает вопрос их окупаемости и целесообразности применения решений.

Целесообразность использования способа управления *Аккумулярованием массы* рассмотрим на примере технологии проведения подготовительных выработок по углю комбайном при подземной технологии добычи угля на шахтах.

На рисунке 1 представлена схема проведения подготовительных выработок по углю проходческим комбайном. Из-за отказов ленточных конвейеров 9 происходят остановки процесса разрушения угольного массива 2 комбайном 3, которые приводят к снижению технико-экономических показателей (ТЭП), а именно – к снижению темпов проведения подготовительных выработок и увеличению стоимости их проведения.

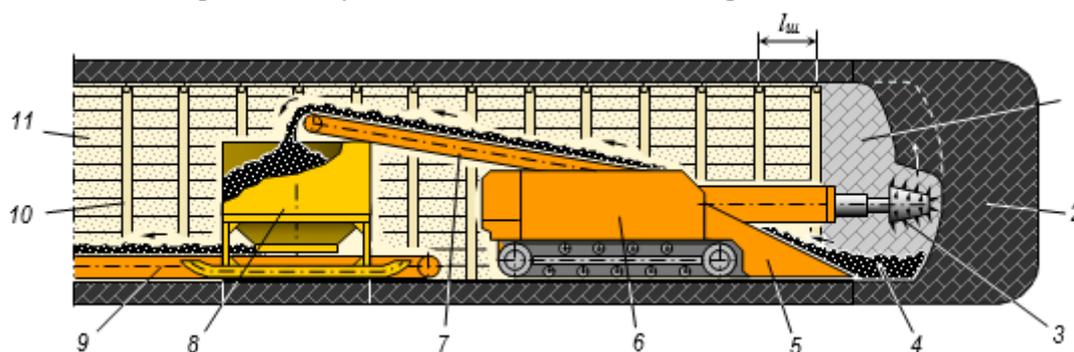


Рис. 1 – Схема проведения подготовительных выработок по углю проходческим комбайном, где:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 – подготовительный забой; | 7 – ленточный перегружатель; |
| 2 – угольный массив (пласт угля); | 8 – аккумуляторный бункер; |
| 3 – рабочий орган комбайна; | 9 – ленточный конвейер; |
| 4 – отбитый разрыхленный уголь; | 10 – металлическая арочная крепь; |
| 5 – погрузчик отбитого угля; | 11 – бетонная затяжка. |
| 6 – проходческий комбайн; | |

Управление технологией проведения выработок достигается за счет использования способа управления *Аккумулятиванием массы*, который реализуется за счет установки аккумулярующего бункера 15 между перегружателем 7 и конвейерной линией 9.

Целью управления является исключение влияния остановок конвейерной линии 9 на ТЭП технологии проведения подземных горных выработок.

Для описания технологии производства принята терминология:

- *базовая технология* – существовавшая до использования способа управления;
- *новая технология* – возникающая после использования способа управления.

Зависимость стоимости проведения 1 м подготовительной выработки в базовой технологии производства C_b от переменной продолжительности устранения отказов T_o конвейерной линии определяется формулой:

$$C_b = \left(Z_{баз} + \frac{K_{кр} n_{pc} n_{p2}}{T_c n_{дн}^2} \cdot \frac{Z_{икб}}{T_{скб}} \cdot \frac{T_{см} T_v}{T_v + T_{кв} + T_{он} + T_o} \right) \frac{T_v + T_{кв} + T_{он} + T_o}{l_{ш} n_{ш} n_{pc} T_{см}}, \quad (1)$$

где $Z_{баз}$ – базовые фактические затраты на проведение подготовительной выработки в базовой технологии производства за сутки;

$K_{кр}$ – коэффициент увеличения инвестиционных затрат за счет использования кредита;

n_{pc} – количество рабочих смен в сутках, см/сут.

n_{p2} – количество рабочих дней в году;

T_c – продолжительность суток, ч;

$n_{дн}$ – количество календарных дней в году;

$Z_{икб}$ – полные инвестиционные затраты на приобретение конвейеров ранее понесенные в базовой технологии производства, руб;

$T_{скб}$ – срок службы конвейера в базовой технологии производства при его непрерывной работе с учетом технического обслуживания (по данным завода изготовителя), лет;

$T_{см}$ – продолжительность рабочей смены;

T_v – продолжительность выемки угля комбайном на длину ухода за один цикл;

$T_{кв}$ – продолжительность крепления выработки на длину ухода за один цикл;

$T_{он}$ – продолжительность остановок из-за отказов проходческого комбайна за смену;

T_o – продолжительность остановок из-за отказов конвейерной линии за смену.

$l_{ш}$ – длина шага крепи выработки, м;

$n_{ш}$ – количество рам (шагов) крепи устанавливаемых за один цикл.

В технологии проведения подготовительных выработок хранилище выполняется в виде аккумулярующего бункера 15, который устанавливается между перегружателем 7 комбайна 3 и прерывно работающей конвейерной линией 9 из-за большого количества отказов (поломок) требующих время на их устранение. Установленный аккумулярующий бункер избирательно влияет на показатели надежности технологии проведения подготовительных выработок:

а) не влияет на остановки технологии при отказах проходческого комбайна;

б) устраняет остановки технологии при отказах конвейерной линии при соблюдении ряда условий управления.

Для достижения максимального экономического эффекта от использования способа управления технологией *Аккумулятиванием массы* требуется соблюдение двух условий.

Условие управления 1. Объем аккумулярующего бункера должен быть не менее объема разрыхленного угля, поступающего от перегружателя, в течение ожидаемой *максимальной* продолжительности остановок конвейерной линии.

Условие управления 2. Накопленный объем разрыхленного угля в аккумулярующем бункере должен выгружаться за ожидаемую *минимальную* продолжительность периода

времени работы между остановками конвейерной линии.

Новая технология проведения подготовительных выработок реализуется за счет установки аккумулирующего бункера и отличается от базовой технологии тем, что полностью исключаются остановки забоя из-за отказов конвейерной линии. Стоимость проведения 1 м выработки в новой технологии C_n определяется по формуле (1) с учетом следующих изменений:

- вводятся затраты на изготовление и установку аккумулирующего бункера $Z_{инб}$;
- вводятся затраты на приобретение нового ленточного конвейера $Z_{инк}$;
- продолжительность остановок технологии из-за отказов конвейерной линии принимается равной нулю $T_o = 0$.

$$C_n = \left[Z_{баз} + \frac{K_{кр} n_{pc} n_{pz}}{T_c n_{дн}^2} \left(\frac{Z_{иа}}{T_{ca}} + \frac{Z_{икн}}{T_{скн}} \right) \frac{T_{см} T_{в}}{T_{в} + T_{кв} + T_{он}} \right] \frac{T_{в} + T_{кв} + T_{он}}{l_{ин} n_{ин} n_{pc} T_{см}}$$

Полученные зависимости стоимости проведения 1 м подготовительной выработки в *базовом* и *новом* варианте технологии производства от текущей продолжительности остановок из-за отказов конвейерной линии T_o , позволяют перейти к определению экономической целесообразности использования способа управления *Аккумулятиванием массы*.

Для аналитического определения экономической целесообразности использования способа управления технологией определим расчетное критическое значение продолжительности остановок технологии из-за отказов конвейерной линии при $T_o = T_{ок}$ из условия равенства стоимости проведения 1 м выработки в *базовом* и *новом* вариантах технологии.

Полученное критическое значение продолжительности остановок из-за отказов конвейерной линии делит все поле текущих значений T_o на две области использования способа управления *Аккумулятиванием массы*:

- ЭРО – *экономически рациональная* область;
- ЭНРО – *экономически не рациональная* область.

Экономическая целесообразность совершенствования базовой технологии производства с использованием способа управления определяется сравнением действительной продолжительности остановок технологии из-за отказов конвейерной линии $T_{об}$ с расчетной критической продолжительностью её остановок $T_{ок}$.

Если установлено, что действительная продолжительность остановок технологии из-за отказов конвейерной линии $T_{об}$ больше критической продолжительности остановок $T_{ок}$, следовательно, способ управления *Аккумулятиванием массы* *экономически целесообразен и рекомендуется к использованию* для совершенствования базовой технологии проведения подготовительных выработок, иначе его применение нецелесообразно.

Список литературы

1. *Акимов В.А.* Надежность технических систем и техногенный риск [Текст]: Учебное пособие / А.В. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов, В.А. Пучков, В.И. Томаков, М.И. Фалеев. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 — 368 с.
2. *Волошин А.П.* Экономика угольной промышленности [Текст]: учебное пособие для техникумов / А.П. Волошин, С.Е. Рыбников. – М.: Недра, 1988. – 198 с.
3. *Горелик О.М.* Производственный менеджмент: принятие и реализация управленческих решений [Текст]: Учебное пособие / О.М. Горелик. – М.: КНОРУС, 2010 – 270 с.

05.18.15

А.В. Широков, Т.И. Демидова к.т.н., Л.О. Широкова к.т.н.

Нижегородский институт технологий и управления (филиал)
ФГБОУ ВПО «Московского университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского»,
кафедра «Специальных технологий и экспертизы продуктов питания»,
Нижний Новгород, nf_mgta@list.ru

ОБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ СВОЙСТВАМИ

В представленной статье рассмотрена возможность обогащения хлебобулочных изделий физиологическими пищевыми ингредиентами (добавками из растительного сырья) на основе – комбинированного порошка столовой свеклы (КПС), содержащего функциональные пищевые вещества растительного и животного происхождения. Представлены медико-биологические свойства КПС, результаты исследований лечебно-профилактической возможности обогатительной добавки, а также ее влияния на потребительские свойства хлебобулочных изделий.

Ключевые слова: физиологически ценные пищевые ингредиенты, обогащенные хлебобулочные изделия, комбинированные порошковые продукты на основе ВСР, синдром кишечной недостаточности, потребительские свойства, нутритивные, когнитивные, сенсорные свойства пищи.

Особенность современного развития пищевой промышленности - разработка качественно новых функциональных продуктов питания, способствующих сохранению и улучшению здоровья в результате регулирующего и нормализующего воздействия на организм человека с учетом его физиологического состояния и возраста.

Вместе с тем, отмечается устойчивая тенденция повышения интереса потребителей к пищевым продуктам, обогащенными природными биологически активными веществами (БАВ): пектин, антиоксиданты, белки молочной сыворотки и т.п.

Способы повышения пищевой ценности продуктов питания достаточно разнообразны, среди которых большой теоретический и практический интерес представляет применение нетрадиционного сырья.

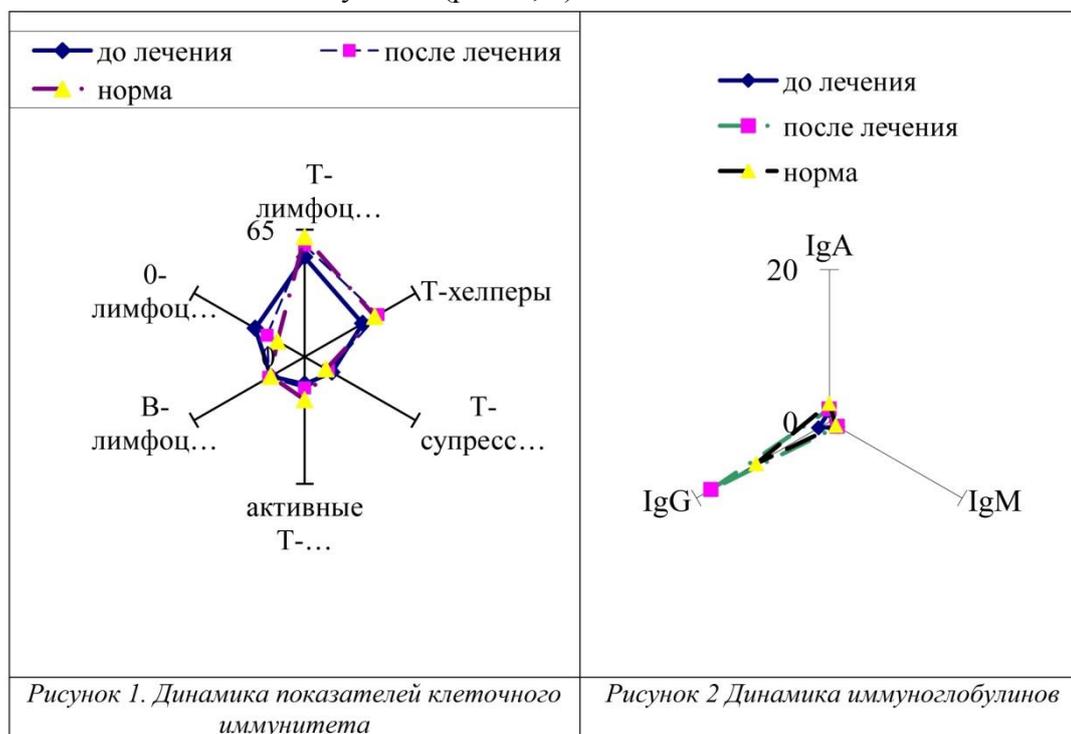
Для обогащения хлебобулочных изделий использовали комбинированный порошковый продукт столовой свеклы (КПС), вырабатываемый по ТУ 9199-60457533-001-2010.

КПС имеет форму мелкодисперсного порошка с гранулометрическим составом, соответствующим муке для детского питания – 10 мкм. Влажность продукта не более 5%, рН 5,0±0,5, титруемая кислотность 13,0±0,02 °Т. *Не имеет выраженного свекольного запаха и вкуса*, обладает приятным кисломолочным вкусом, хорошо растворим в холодной воде. Это связано с технологией его получения – экстракцией БАВ из жома и ботвы столовой свеклы. Хорошо растворим в холодной воде, индекс растворимости 0,15 см³ сырого осадка [3].

КПС применяли в клинике в комплексной терапии лечения синдрома кишечной недостаточности (СКН) при хирургическом эндотоксикозе (ХЭ) в комплексном лечении перитонита. Результаты клинического применения КПС в Больнице Центросоюза РФ г. Москвы свидетельствуют о его *детоксицирующем, энтеропротективном и иммуномодулирующим* действию.

При использовании КПС в комплексном лечении перитонита, как продукта обладающего антисептическими и иммунопротективными свойствами, отмечается наиболее благоприятный эффект проводимой терапии.

Иммунодефицитное состояние больных при перитоните характеризуется снижением активности Т-клеточного, В-гуморального звеньев иммунитета и фагоцитирующих клеток. При перитоните отмечается гиперкортизолемиа, блокирующая активность стресс-лимитирующих рецепторов иммунокомпетентных клеток (ГКР III). Нарушение баланса стресс - реализующих и лимитирующих механизмов иммунокомпетентных клеток при перитоните сопровождается иммунодефицитом. Энтеросорбция и ранняя нутритивная поддержка ПСП при перитоните снижает уровень плазменного кортизола и повышает активность стресс-лимитирующей рецепции, что уменьшает повреждающий эффект кортизола и восстанавливает иммунитет (рис. 1, 2).



Таким образом, на фоне лечения с КПС отмечается иммуномодулирующий и иммуностимулирующий эффект как в кровеносном русле, так и местно, в слизистой оболочке желудочно-кишечного тракта. Это связано с внутрикишечной детоксикацией и снижением повреждающего токсического действия на кишечник за счет энтеросорбции, а также местным и общим нутритивным действием КПС [1].

Для определения влияния КПС на качество хлебобулочных изделий и выбора оптимальных дозировок проводили серию лабораторных выпечек.

Сырье и полуфабрикаты подготавливали согласно требованиям технологических инструкций. Для сравнительного анализа выбрали рецептуру хлеба пшеничного из пшеничной муки высшего сорта.

Технологический процесс и температурные режимы изготовления хлеба в лабораторных условиях отвечали требованиям технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий [2].

Таблица – Качественные показатели хлеба

Показатели	Хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта					
	Контрольный образец	КПС				
		5%	6%	8%	10%	12%
Влажность мякиша,%, не более	43,0	43,0	43,0	42,9	43,2	44,0
Кислотность мякиша, град, не более	3,0	3,0	2,9	2,9	3,1	3,2
Пористость мякиша,%, не менее	72,0	72,0	73,0	73,0	72,8	70,0

Органолептическая оценка изделий с добавлением обогатительной добавки показала, что оптимальным вариантом является внесение КПС от 6 до 10%. При увеличении дозировки КПС выше 10% - в продукте наблюдается незначительный выраженный вкус и запах столовой свеклы, выше 12 % - выраженный свекольный запах и вкус.

Введение КПС в рецептурную композицию для производства хлеба из пшеничной муки в количестве 6-9% к массе муки позволяет ускорить процесс созревания теста на 25-30% по сравнению с контролем.

Наивысшую оценку получил образец с дозировкой КПС 6%. По сравнению с образцами 8 и 10%-ными добавками он имеет более приятный вкус и аромат свойственный хлебу с кисломолочным оттенком, цвет мякиша – бледно-свекольного цвета, равномерной окраски. Форма правильная, поверхность корки гладкая. Образец с добавкой 10% имеет вкус и аромат свойственный хлебу с незначительным свекольный привкусом; цвет мякиша изделий – бордовый, равномерной окраски. Пористость хлеба во всех образцах равномерная, средняя, тонкостенная; мякиш – эластичный. Во всех образцах хлеба отсутствует комкуемость.

Таким образом, выявили, что использование КПС в качестве обогатительной добавки при производстве хлеба возможно и целесообразно. Для выпуска продукции не нужны дополнительные капиталовложения. Технология приготовления хлеба мало отличается от традиционной и не требует специального оборудования.

Список литературы

1. Демидов Д.А., Демидова Т.И. Нутриционная поддержка в гастроэнтерологии/ Под ред проф. Л.Н. Костюченко. М.: Издательство БИНОМ, 212. Часть3 глава 2 Новые энтеросорбенты в структуре нутритивной коррекции при хирургическом эндотоксикозу (Демидов Д.А., Демидова Т.И.) –с. 413-421
2. Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий// ПРЕЙСКУРАНТИЗДАТ, Москва -1989
3. Шеверницкая О.Н. Разработка технологии комбинированного порошкового продукта на основе пектиносодержащего сырья Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства», Москва 2010 ФГ ГОУ ВПО МГУПП.

05.02.22

Ю.Е. Якубовский д.т.н., И.А. Лобач

Тюменский государственный нефтегазовый университет, кафедра «Прикладная механика»,
ООО «НОВАТЭК-ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ», Новый Уренгой, ilyalobach@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОНДЕНСАТОПРОВОДА В УСЛОВИЯХ ПОДАЧИ ПАРАФИНИСТОГО ДЕЭТАНИЗИРОВАННОГО КОНДЕНСАТА АЧИМОВСКИХ ЗАЛЕЖЕЙ УРЕНГОЙСКОГО НГКМ

Целью данной работы является разработка сценария производственного процесса увеличения производительности промыслового конденсатопровода, а также оценка влияния высокопарафинистого деэтанализированного конденсата (ДЭК) на технологическую работу конденсатопровода в целом.

Ключевые слова: *парафин, запуск месторождения, присадка, парафиноотложения.*

В апреле 2014 г. была произведена подача углеводородного сырья с Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) ОАО «АРКТИКГАЗ» и Северо-Уренгойского НГКМ ЗАО «НОРТГАЗ» в промысловый конденсатопровод «Юрхаровское месторождение – Пуровский ЗПК».

Во избежание выпадения парафинов, при подаче конденсата ачимовских залежей Уренгойского НГКМ, в ОАО «АРКТИКГАЗ» планировалось подавать вместе с парафинистым ДЭК депрессорную присадку Keroflux 6404, концентрацией порядка 100 г/т. Кроме того, с целью снижения гидравлического сопротивления жидкостей при перекачке в турбулентных режимах вместе с перекачиваемым конденсатом Юрхаровского НГКМ (далее ЮНГКМ) осуществляется подача противотурбулентных присадок (далее ПТП) «M-FLOWTREAT».

В ходе исследования были определены следующие основные факторы риска, которые необходимо учитывать при подаче сырья с Уренгойского и Северо-Уренгойского месторождений:

- возможность возникновения такого явления как «*путевая деструкция*» (разрушение полимерных цепочек в процессе движения углеводородов по трубопроводу) ПТП «M-FLOWTREAT»;

- в силу неопределенности механизма влияния ПТП «M-FLOWTREAT» на эффективность работы депрессорной присадки Keroflux 6404 существует вероятность, что не будет полностью исключаться образование отложений парафинов в конденсатопроводе с течением времени, что в свою очередь может способствовать увеличению шероховатости и сужению проходного сечения трубы;

- застарелые парафиноотложения образуют твердые образования на поверхности трубы, в случае несвоевременного их удаления, которые убрать при помощи скребков уже невозможно;

- возможность кратковременного увеличения давления, возникающего в трубопроводе в процессе запуска промыслов.

Для минимизации выше означенных рисков при подаче сырья с Уренгойского и Северо-Уренгойского месторождений авторами были рассмотрены следующие варианты:

- для исключения рисков возникновения явления «*путевой деструкции*» рекомендуется предусмотреть дополнительную точку подачи ПТП «M-FLOWTREAT», расположенную на Уренгойском НГКМ;

- запуск промысла следует осуществлять постепенно, с выходом на планируемый объем подачи ДЭК в течение - минимум 2 суток, постоянно контролируя давление в системе.

Все расчеты были выполнены для ПТП концентрацией 30, 50 и 60 г/т транспортируемого продукта. Эффективность данной присадки при дозировке 30, 50 и 60 г/т по результатам опытно-промышленных испытаний в 2013 г., составляет 53 %, 60,8 и 61,5 % соответственно [1].

Как видно из таблицы 1, при прокачке конденсата на декабрь 2014 г. с использованием «M-FLOWTREAT», давление на выходе насосов ЮНГКМ находится в пределах допустимых 75 кг/см² как при концентрации 50, 60 г/т, так и при 30 г/т.

Таблица 1– Результаты расчетов давления в начале конденсатопровода по состоянию на апрель 2014 г, кгс/см²

Наименование параметров	Давление на выходе с ЮНГКМ, кгс/см ²		
	в отсутствии лупингов	Лупинг	
		от узла №50 до завода	От врезки до завода
Концентрация ПТП «M-FLOWTREAT»			
Без ПТП	149,5	133,3	80
30 г/т	74	66,2	41,3
50 г/т	62,9	56,4	36,6
60 г/т	61,9	55,5	35,1

В связи с этим, авторами было рекомендовано производить закачку конденсата с промыслов в следующей последовательности:

- за 5 суток до начала закачки конденсата с промыслов следует начать подачу ПТП с Юрхаровского НГКМ в количестве, обеспечивающую среднюю концентрацию «M-FLOWTREAT» в конденсатопроводе, равную минимум 60 г/т, на протяжении всей длины трубопровода;

- приступить к постепенному запуску Северо-Уренгойского НГКМ с постоянным контролем давления;

- в последнюю очередь необходимо начать постепенную подачу ДЭК в конденсатопровод с Уренгойского НГКМ, контролируя давление в трубе;

- на всем протяжении эксплуатации конденсатопровода поддерживать в конденсатопроводе максимальную концентрацию ПТП «M-FLOWTREAT», равную 60 г/т, на протяжении всей длины трубопровода.

В конденсатопроводе ДЭК Ачимовских залежей Уренгойского НГКМ содержится в своем составе до 5 % парафинов. С учетом объемов подачи Ачимовского ДЭК, масса поступающих в конденсатопровод парафинов может достигать до 5% от объема в год. Для предупреждения парафинообразования применяется депрессорная присадка Keroflux 6404 (компания «BASF»). Однако даже в условиях добавки депрессора, около 40 % парафина Ачимовского ДЭК выпадает на поверхность трубы уже при температуре + 5° С. В качестве положительного момента, связанного с парафинистым ДЭК Ачимовских залежей Уренгойского НГКМ, следует отметить, что в условиях смешивания данного конденсата с более «легкими» конденсатами Юрхаровского и прочих месторождений, склонность к парафиноотложению данной смеси значительно снижаются (при температурах близких к среднегодовой температуре флюида в конденсатопроводе) [2]. Кроме того, добавление депрессорной присадки Keroflux 6404 способствует только улучшению прокачки углеводородов и не оказывает влияния на температуру начала кристаллизации парафина [3].

По результатам исследований лаборатории Пуровского ЗПК от 19.04.2014 г. температура помутнения смеси, содержащей 20% Уренгойского ДЭК, составляла порядка 6 °С. В связи с этим, при понижении температуры ДЭК ниже данной отметки начинается процесс образования кристаллов парафинов с последующим их выпадением. При этом интенсивность парафиноотложения тем больше, чем больше разница между температурой помутнения и температурой флюида в трубопроводе.

Основные парафиноотложения в апреле 2014 г. отмечались лишь в районе Пуровского ЗПК, из-за значительного снижения температуры ниже нуля при прохождении ДЭК по технологическим трубопроводам завода, расположенных на эстакадах и не оборудованных теплоизоляцией. В то время температура окружающего воздуха была минус 20 °С.

В рамках данной работы был проведен анализ режимов работы конденсатопровода «Юрхаровское месторождение – Пуровский ЗПК» по состоянию на 01.06.2014 г. и выданы рекомендации по режимам работы конденсатопровода и подбор оптимальной концентрации ПТП с учетом объемов подаваемого сырья и протяженности лупингов.

На рисунке 2 представлен разработанный авторами сценарий возможных вариантов ответных мероприятий при анализе рисков, сопутствующих поступлению парафинистого ДЭК в конденсатопровод.

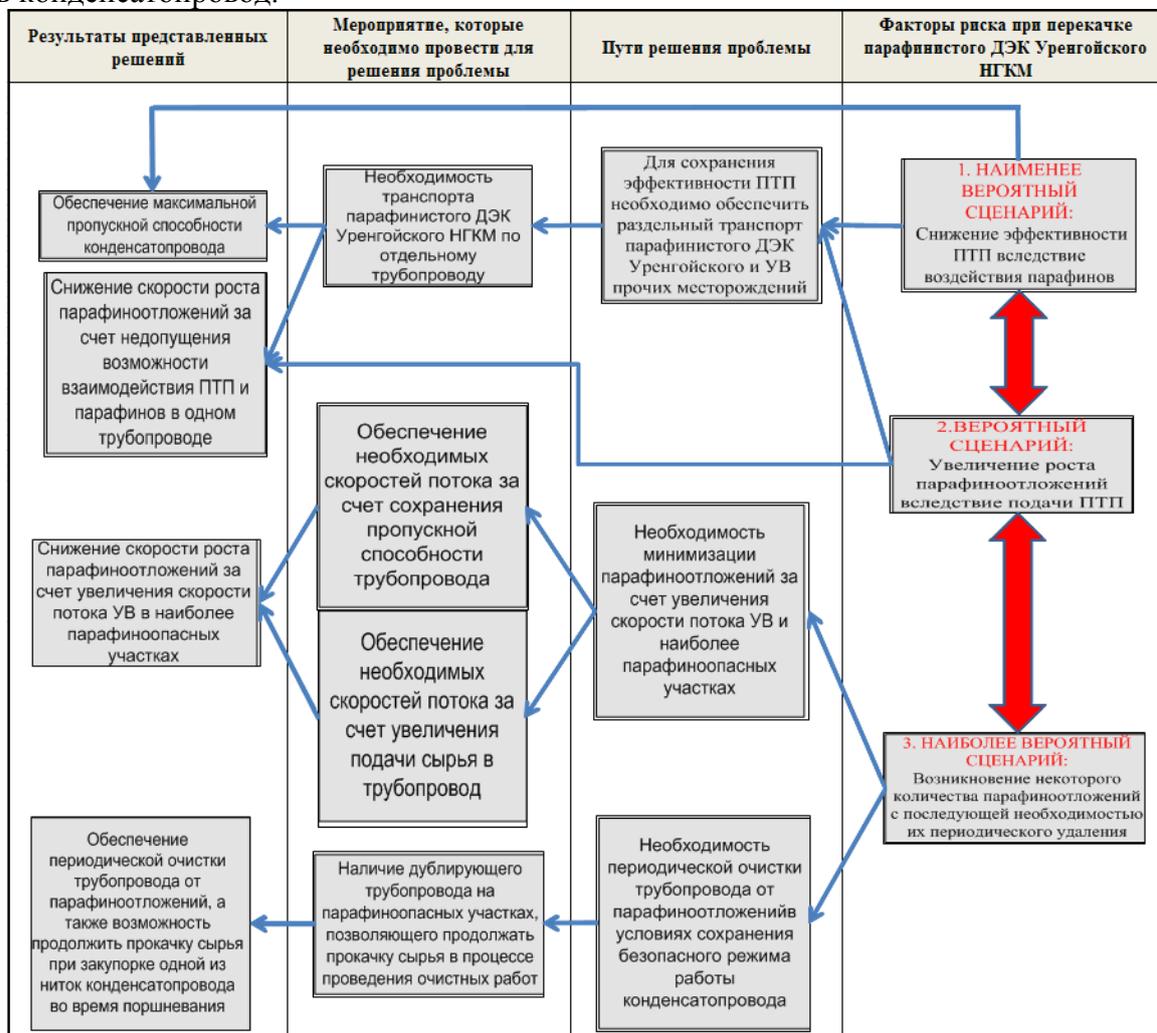


Рис. 2 - Возможные варианты ответных мероприятий при проявлении рисков, сопутствующих поступлению парафинистого ДЭК в конденсатопровод.

Для минимизации процесса парафиноотложения необходимо:

- снижение температуры подачи парафинистого ДЭК в конденсатопровод на несколько градусов в сравнении с температурой флюида;
- обеспечение необходимых скоростей потока, либо увеличение подачи сырья в трубопровод.

Все вышеперечисленные рекомендации были применены во время успешного запуска промыслов Уренгойского и Северо-Уренгойского месторождений, обеспечив безопасную работу промыслового конденсатопровода «Юрхаровское месторождение – Пуровский ЗПК» с минимальными экономическими затратами.

Список литературы

1. <http://www.mirrico.ru/> (дата обращения 30.03.2014 г.).
2. А.Н. Маркин, Р.Э. Низамов, С.В. Суховерхов. Нефтепромысловая химия. Практическое руководство. Владивосток, Дальнаука, 2011 г. 294 с.
3. <http://www.basf.ru/ecp2/RussianFederation/ru/> (дата обращения 03.04.2014 г.).

АННОТАЦИИ
ABSTRACTSЛ.Д. Блистанова, А.В. Зубов, А.Ф. Зубова,
М.В. СтрекопытоваАППАРАТ МАТРИЧНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА
Ключевые слова: интегрирование, сигнал, множество,
порядок, соотношение, условие, функция.

В данной статье изложено два метода построения ортогональной матрицы полярного разложения матрицы, использующий аппарат матричных функций Ляпунова. В задачах математического прогнозирования динамики систем, эта вычислительная задача является очень важной при построении численных методов, сохраняющих интегралы движения.

L.D. Blistanova, A.V. Zubov, A.F. Zubova,
M.V. Strecopitova
THE APPARATES MATRIX FUNCTION
LAPUNOV'SKeywords: integration, signal, multitude, order,
correlation, condition, function.

In giving article is expounds two methods, using apparatus of matrix functions Lapunov's. In tasks mathematical prognoses of dynamics systems, this calculating task is appears very important by building calculating methods, preserving integrals of motions.

П.И. Дергунов

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ
ДЕФОРМАЦИИ СОРБЕНТОВКлючевые слова: сорбционные явления, деформация
сорбента, неинертность сорбента, микропористые
адсорбенты, стеклообразные полимеры.

В работе рассматривается вопрос описания сорбционного равновесия с учетом неинертности сорбента. Предложена модель сорбционной деформации сорбентов, апробированная для двух различных систем: CO_2 (газ) – микропористый углеродный адсорбент АУК; CO_2 (газ) - стеклообразный полимер поликарбонат в широкой области давлений (до 6 МПа).

P.I. Dergunov

THERMODYNAMIC APPROACH TO THE
DESCRIPTION OF THE SORBENTS
DEFORMATIONKeywords: sorption, sorption deformation, sorbent
noninertness, microporous adsorbents, polymer of
polycarbonate.

This paper presents the results of the study of sorption equilibrium taking into account noninertness of the sorbent. The model of sorption deformation of sorbents, tested for two different systems: at interaction of CO_2 (gas) and microporous carbon adsorbent and at interaction of CO_2 (gas) and polymer of polycarbonate in the wider area of pressures (up to 6 MPa).

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО БЕСКОНЕЧНОГО
КОЛИЧЕСТВА ГРУПП-КВАРТЕТОВ ПРОСТЫХ
ЧИСЕЛКлючевые слова: решето Эратосфена, квартеты
простых чисел, сумма арифметических прогрессий.

Аналитически доказано, что количество групп-квартетов простых чисел на числовой оси бесконечно. Создано решето типа Эратосфена, генерирующее эти группы простых чисел, получена формула числа квартетов в области больших простых чисел. Проведены расчеты, подтверждающие найденные алгоритмы.

V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev

PROOF OF AN INFINITE NUMBER OF GROUP-
QUARTET PRIME NUMBERSKeywords: sieve of Eratosthenes, quartets prime
numbers, the sum of arithmetic progressions.

Analytically proved that the number of groups- quartets prime numbers on a number line is infinite. Powered by the sieve of Eratosthenes type generating these groups of prime numbers, we obtain a formula of the number of quartets in the field of large prime numbers. Calculations confirming Point algorithms.

Т.А. Зайцева, Ю.Г. Коноплев, В.И. Митряйкин,
О.А. СаченковМАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
УСТАНОВКИ АЦЕТАБУЛЯРНОГО КОМПОНЕНТА
С НЕДОПОКРЫТИЕМКлючевые слова: биомеханика, тазобедренный сустав,
контактное взаимодействие, математическое
моделирование, эндопротезирование.

В работе представлены результаты исследования поведения ацетабулярного компонента, установленного с предварительным натягом в тазобедренный сустав с различной степенью

T.A. Zaiceva, Y.G. Konoplev, V.I. Mitryaikin,
O.A. SachenkovMATHEMATICAL SIMULATION OF
ACETABULAR COMPONENT'S SETUP WITH
INCOMPLETE COVERAGEKeywords: biomechanics, hip, contact interaction,
mathematical modeling, endoprosthesis.

The results of studies of the behavior of the acetabular component installed with preload in the hip joint with varying degrees of incomplete coverage. The calculation results of finite element model taking into account the contact interaction for various degrees of incomplete

недопокрытия. Приведены результаты расчетов конечно элементной модели с учетом контактного взаимодействия для различных степеней недопокрытия. Результаты сравнивались с клиническими и экспериментальными исследованиями.

А.И. Зубов, В.И. Зубов, И.С. Стрекопытов,
С.А. Стрекопытов

**ВЫДЕЛЕНИЕ КРАТНЫХ И
КОСОСИММЕТРИЧНЫХ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНА
С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ЕВКЛИДА**

Ключевые слова: многочлен, теорема алгебры, равенство, корень, степень, комплексный коэффициент, формула, процесс деления.

В данной статье дано полное решение проблемы отделения комплексных и мнимых корней у характеристического многочлена с помощью линейных рекуррентных преобразований его коэффициентов.

А.И. Филиппов, О.В. Ахметова, К.В. Олефиренко
ПОЛЕ ПЛОТНОСТИ СТАЦИОНАРНОГО
ЛАМИНАРНОГО ПОТОКА ГАЗА
В СКВАЖИНЕ

Ключевые слова: плотность, давление, ламинарный поток газа.

В работе представлены результаты решения стационарной нелинейной задачи о распределении плотности газа по стволу действующей скважины. Течение считается ламинарным и дозвуковым. Решение найдено в виде неявной зависимости плотности от вертикальной координаты. Составлена программа и осуществлены расчеты поля плотности вдоль ствола скважины. Показано, что даже в случае дозвукового течения изменения плотности газа являются существенными и их влияние необходимо учитывать при расчетах других термодинамических параметров в стволе скважины.

Р.В. Андронов

**К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖЕК
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА РЕГУЛИРУЕМОМ
ПЕРЕСЕЧЕНИИ**

Ключевые слова: Регулируемые пересечения, задержки транспортных средств, методы оценки задержек, плотный транспортный поток.

В статье рассматриваются вопросы и методы определения задержек транспортного потока на регулируемых пересечениях в условиях насыщенных и плотных транспортных потоков, обобщаются их достоинства и недостатки, определяется их отклонение от фактических значений. Далее делается вывод о целесообразности и точности применения каждого метода. Результаты публикации полезны для определения целесообразности мероприятий по улучшению организации дорожного движения.

coverage. The results were compared with clinical and experimental studies.

A.I. Zubov, V.I. Zubov, I.S. Strecopitov,
S.A. Strecopitov

**FORMATION MULTIPLE AND SYMMETRICAL
ROOTS OF MULTITUDE WITH THE HELP
ALGORITHM EVCLID**

Key words: multitude, theorem of algebra, equality, root, degree, complex coefficient, formula, progress of division.

In giving article is gives fully solution of problem division complex and imaginary roots from characteristic multitude with help linear recurrent transformation his coefficients.

A.I. Filippov, O.V. Akhmetova, K.V. Olefirenko
FIELD DENSITY OF STATIONARY LAMINAR GAS
FLOW IN THE WELLBORE

Keywords: density, pressure, laminar gas flow.

The results of the stationary solutions of the nonlinear problem of the distribution of the gas density in the trunk of the existing wells have been presented in this paper. The flow is considered for laminar and subsonic. The solution is found in the form of an implicit dependence of the density on the vertical coordinate. The program is created and the calculations of the density field along the borehole is carried out. It was shown that even in the case of subsonic flow the changes of gas density changes are significant. It is necessary to take into consideration their effects when calculating the other thermodynamic parameters in the wellbore.

R.V. Andronov

**ON THE METHODS OF EVALUATION OF TRAFFIC
DELAYS ON A SIGNAL-CONTROLLED
INTERSECTION**

Keywords: Controlled intersections, traffic delays, evaluation methods delays, high density traffic.

The paper examines issues and methods of determining the traffic delays on signal-controlled intersections in high traffic density, summarized their advantages and disadvantages, and determined by the deviation of the actual values. Further, the author concludes that the feasibility and accuracy for each method. Results publication is useful to determine the feasibility of measures to improve traffic management.

Р.В. Андронов

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА
РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ ДЛЯ
ОБОСНОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО
РЕКОНСТРУКЦИИ И УЛУЧШЕНИЮ
ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

Ключевые слова: Улично-дорожная сеть,
регулируемые пересечения, заторы, экономические
потери, обоснование мероприятий по реконструкции
пересечений.

В статье предлагается методика определения экономических потерь от задержек транспортного потока на регулируемых пересечениях в условиях плотных транспортных потоков и наличия заторов. Далее делается вывод о необходимости переустройства пересечений и предполагаемой экономической эффективности мероприятий. Использование данной методики позволяет определять первоочередные места реконструкции улично-дорожной сети в условиях недостатка финансовых ресурсов муниципалитетов.

Д.В. Астрецов, Р.И. Соколов

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМ БИНАРНОГО
СООБЩЕНИЯ, ОСНОВАННЫЙ НА МЕТОДЕ
СОВМЕСТНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ
НЕПРЕРЫВНЫХ И ДИСКРЕТНОГО МАРКОВСКИХ
ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: нелинейная фильтрация,
оптимальный прием сигналов побочного
электромагнитного излучения, помехи Джонсона.

Методом совместной нелинейной фильтрации непрерывных и дискретного Марковского процесса разработан квазиоптимальный алгоритм приема сигналов побочного электромагнитного излучения. Оценка эффективности синтезированного алгоритма приема проводилась на основании цифрового моделирования процесса обработки смеси сигнала, S_L помехи Джонсона и белого гауссовского шума. Показано, что разработанный алгоритм позволяет осуществлять прием бинарного сообщения, близкий к оптимальному по критерию минимума среднего риска при меньшем количестве априорных сведений о сигнале.

И.Н. Баринов, В.С. Волков, Д.И. Нефедьев,
С.П. Евдокимов

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ
ХАРАКТЕРИСТИК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЙ НА
СТРУКТУРЕ "ПОЛИКРЕМНИЙ-НА-
ДИЭЛЕТКРИКЕ"

Ключевые слова: "поликремний-на-диэлектрике",
изолирующий слой, легирующая примесь,
преобразователь давления, чувствительность.

В работе описаны преимущества и этапы изготовления структур "поликремний - на - диэлектрике" для применения в чувствительных

R.V. Andronov

THE CALCULATION OF CITY ROAD USERS'
ECONOMIC LOSSES IN SIGNAL-CONTROLLED
INTERSECTIONS TO JUSTIFY ACTIONS ON
RECONSTRUCTION AND IMPROVEMENT OF
TRAFFIC ORGANIZATION

Keywords: Road network, signal-controlled intersection,
traffic congestion, economic losses, the rationale for
measures for the reconstruction of intersections.

The article suggests a method of determining the economic costs of traffic delays at intersections controlled conditions in dense traffic and the presence of congestion. Next is deemed to be the intersection of conversion and cost-effectiveness of the proposed measures. Using this method allows you to define the priority place reconstruction of the road network in a lack of financial resources of municipalities.

D.V. Astretsov, R.I. Sokolov

BINARY SIGNAL OPTIMAL RECEIVE OF JOINT
NONLINEAR FILTERING METHOD OF
CONTINUOUS AND DISCRETE MARKOVIAN
PROCESS

Key words: nonlinear filtering, optimal receiver of
electromagnetic eavesdropping, Johnson noise.

There was designed electromagnetic eavesdropping receiver of joint nonlinear filtering method of continuous and discrete Markovian process. Analysis of receiver efficiency rests on digital simulation of mixed signal, S_L Johnson noise and white Gaussian noise. New receiver allow to realize binary signal extraction similar to optimal receive of minor average risk method without completely a priori information about signal.

I.N. Barinov, V.S. Volkov, D.I. Nefed'ev,
S.P. Evdokimov

CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGY SOLUTIONS
FOR IMPROVEMENT CHARACTERISTICS OF
PRESSURE SENSING ELEMENTS
BASED ON "POLYSILICONE - ON - INSULATOR"
STRUCTURE

Keywords: "polysilicone - on - insulator", insulating
layer, doping impurity, pressure transducer, sensitivity.

The article describes advantages and fabrication stages of "polysilicone - on - insulator" structures for sensing elements of integrated strain-gage pressure sensors. The design of sensing element having increase sensitivity is proposed.

элементах интегральных тензорезистивных датчиков давлений. Предложена конструкция чувствительного элемента, обладающая повышенной чувствительностью.

А.В. Безруков, Д.В. Орешкин
ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И
ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Ключевые слова: железобетонные конструкции, защита, подземные сооружения, экологическая оценка, долговечность.

Защита сооружений от негативного воздействия окружающей среды имеет эколого-экономическое значение. Коррозия бетона представляет собой сложный процесс. Для железобетонных конструкций защита может быть первичной и вторичной. Наиболее подверженными коррозионным поражениям элементами железобетонных конструкций являются бетон, стальная арматура, стальные закладные детали и связи.

В.Ф. Беккер, Ю.А. Садырева, И.Ф. Киссельман
АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ОСАЖДЕНИЯ ПЫЛЕВОЙ
ФРАКЦИИ ХЛОРИДА КАЛИЯ В СЛОЕ
ОРОШАЕМОЙ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ

Ключевые слова: осаждение, смачиваемость, улавливание пыли, эффективность, подвижная насадка.

Приведено описание механизма осаждения твердой частицы на поверхности пленки жидкости. Определены условия эффективного осаждения. На основании анализа характеристик пыли хлорида калия, образующейся на действующем производстве, показана возможность организации ее эффективного пылеулавливания в аппарате с подвижной насадкой.

Л.А. Бекмурзаев, М.В. Бырдина, Е.В. Назаренко
ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОЙ ОБОЛОЧКИ

Ключевые слова: замкнутый элемент тонкой оболочки, соединительные швы, срединная поверхность, вариационное исчисление, математическое моделирование.

В статье предлагается решение задачи о нахождении формы замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом соединительных швов на основе методов вариационного исчисления и математического моделирования. Расчет параметров формы замкнутого элемента тонкой оболочки показан на конкретном примере.

Л.В. Беляев, А.В. Жданов
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ИСКУССТВЕННОГО
СЕРДЦА

Ключевые слова: искусственное сердце, мехатронный модуль, конечно-элементное моделирование.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований тепловых

A.V. Bezrukov, D.V. Oreshkin
PROTECTION OF UNDERGROUND STRUCTURES
AND ENVIRONMENT

Keywords: reinforced concrete construction, protection, underground structures, environmental assessment, durability.

Protection of structures against the negative environmental impact has ecological and economic importance. Corrosion of concrete is a complex process. For protection of concrete structures may be primary and secondary. Most prone to corrosion damage of reinforced concrete structures are concrete, reinforcing steel, steel fixings and communication.

V.F. Becker, Yu.A. Sadyreva, I.F. Kisselman
THE ANALYSIS OF THE MECHANISM OF
DEPOSITION OF DUST FRACTION OF POTASSIUM
CHLORIDE IN THE LAYER OF IRRIGATED
MOVABLE NOZZLE

Keywords: precipitation, wettability, dust, efficiency, movable nozzle.

The description of the mechanism of deposition of solid particles on the surface of the liquid film. The conditions of efficient deposition. Based on the analysis of characteristics of the dust of potassium chloride produced at the existing plant, the possibility to organise effective dust collection in the unit with a movable nozzle.

L.A. Bekmurzaev, M.V. Byrdina, E.V. Nazarenko
STUDY AND SIMULATION FORMING THIN
SHELL

Keywords: closed thin shell element, soedinitelnyye seams, the middle surface, variational calculus, mathematical modeling.

The paper proposes a solution to the problem of finding a closed form of a clothed thin shell element with soedinitelnyye seams based on variational methods and mathematical modeling. Calculate the form parameters of a closed thin shell element is shown in a specific example.

L.V. Belyaev, A.V. Zhdanov
RESEARCH OF THERMAL CHARACTERISTICS OF
THE ARTIFICIAL HEART MECHATRONIC UNITE

Keywords: artificial heart, mechatronic unite, finite element modeling

In work the results of experimental researches of thermal characteristics of the artificial heart mechatronic unite are presented. Possibility of application of finite element

характеристик мехатронного модуля искусственного сердца. Показана возможность применения метода конечных элементов для численного анализа теплоэнергетических преобразований происходящих при работе мехатронного модуля.

А.П. Буйносов, Д.С. Денисов

О РАЗРАБОТКЕ ПРИБОРА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
МЕТОДА КОНТРОЛЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ
ПАР ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, метод, контроль, неразрушающий, прибор, разработка.

В статье приведены основные характеристики и принцип работы прибора – структуроскопа К-61 для неразрушающего метода контроля качества металла бандажей, использование которого позволит повысить безопасность движения поездов, уменьшить износ колесных пар локомотивов.

А.П. Буйносов, А.М. Кислицын

ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ГРЕБНЯ БАНДАЖА
КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ
ЛОКОМОТИВА

Ключевые слова: локомотив, движение, колесная пара, бандаж, гребень, профиль, построение.

В статье описан процесс построения профиля гребня бандажа автоматической измерительной системы на основе использования бесконтактных методов измерения параметров колесных пар локомотива. Полученные технические решения положены в основу создания автоматизированной измерительной системы обмера колесных пар.

А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ
ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ
НАНОМАТЕРИАЛА

Ключевые слова: электропоезд, моторный вагон, колесная пара, бандаж, наноматериал, обработка, ресурс, повышение.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния применения наноматериала на повышение ресурса бандажей колесных пар моторных вагонов электропоездов.

А.П. Буйносов, И.О. Шепелева

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО
ТОРМОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Ключевые слова: электровоз, торможение, рекуперация, применение, эффективность, оценка.

В статье показано, что с увеличением количества возвращенной в контактную сеть электроэнергии возрастает сумма от сэкономленной электроэнергии в стоимостном выражении, но возрастают затраты на обточку гребней бандажей колесных пар электровозов.

method for the numerical analysis of heat power transformations occurring during the operation of the mechatronic unite is shown.

A.P. Buinosov, D.S. Denisov

ABOUT DEVELOPMENT OF THE DEVICE OF THE
NONDESTRUCTIVE CONTROL METHOD OF
BANDAGES OF WHEELPAIRS OF LOCOMOTIVES

Key words: locomotive, wheel couple, bandage, method, control, nondestructive, device, development.

The paper presents the main characteristics and the principle of operation of the device – structurescopy K-61 for non-destructive method for monitoring the quality of metal bands, the use of which will improve traffic safety, reduce wear locomotive wheelsets.

A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn

CREATION OF THE CROSS-SECTION OF THE
RIDGE OF THE BANDAGE OF THE WHEELPAIR
AT LOCOMOTIVE MOVEMENT

Key words: locomotive, movement, wheelpair, bandage, ridge, cross-section, construction.

In article process of creation of a cross-section of a ridge of a bandage of automatic measuring system on the basis of use of contactless methods of measurement of parameters of wheelpairs of the locomotive is described. The received technical solutions are the basis for creation of the automated measuring system of measurement of wheelpairs.

A.P. Buinosov, D.Y. Kozakov

INCREASE OF THE RESOURCE OF BANDAGES OF
WHEELPAIRS
OF ELECTRIC TRAINS DUE TO NANOMATERIAL
APPLICATION

Key words: electric train, motor car, wheelpair, bandage, nanomaterial, processing, resource, increase.

Results of pilot studies are presented in article on estimates of influence of application of a nanomaterial on increase of a resource of bandages of wheelpairs of motor cars of electric trains.

A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva

ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFICIENCY OF
APPLICATION OF RECUPERATIVE BRAKING OF
ELECTRIC LOCOMOTIVES

Key words: electric locomotive, braking, recovery, application, efficiency, assessment.

In article it is shown that with increase in quantity of the electric power returned in a contact network the sum from the saved electric power increases in value terms, but costs of turning of ridges of bandages of wheelpairs of electric locomotives increase.

М.А. Гордеев - Бургвиц
РАЗРАБОТКА ЦИФРО-АНАЛОГОВОЙ САУ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ШАГАЮЩЕГО
ДРАГЛАЙНА

Ключевые слова: драглайн, системы управления приводами, автоматическое транспортирование, ковши.

В работе представлены результаты построения системы автоматического управления взаимосвязанными электроприводами мощных шагающих драглайнов МК «Уралмаш», обеспечивающей автоматический подъем и опускание ковша по заданным траекториям и исключающей возникновение аварийных ситуаций, при приближении ковша к стреле и блокам головным и наводки.

М.А. Гордеев – Бургвиц
СПОСОБ ВЗАИМОСВЯЗАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДЪЕМА И ТЯГИ
ДРАГЛАЙНА В ФУНКЦИИ НАГРУЗОК ПРИВОДОВ

Ключевые слова: драглайн, системы управления приводами, автоматическое транспортирование, ковши.

В работе рассмотрен способ независимого управления группами электродвигателей, обеспечивающий позиционное управление движением по заданным траекториям ковша мощного шагающего драглайна МК «Уралмаш» в функции нагрузок приводов для повышения производительности и безопасности экскаватора ковша путем исключения захода ковша в аварийную зону растяжки ковша.

А.Ю. Дуженко
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКИХ
СУДОВ, ПЕРЕВОЗЯЩИХ ОПАСНЫЕ ГРУЗЫ

Ключевые слова: опасный груз, транспортировка, морские суда, технические характеристики, международные перевозки, грузовое помещение, контейнеровоз, ролкер.

Высокая рентабельность и возможность безопасной доставки различных грузов сделали морские перевозки опасных грузов широко распространенным способом доставки. Для минимизации риска от перевозки опасных грузов необходимо четко следовать и выполнять все необходимые правила и соблюдать технические условия, предъявляемые к судам, перевозящим опасные грузы. В статье рассмотрены важнейшие технические характеристики, судов, перевозящих опасные грузы.

И.А. Егерова
ПОДХОД К СИСТЕМАТИЗАЦИИ НАУЧНО-
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕРВИСОВ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЫ

Ключевые слова. Систематизация, научно-вычислительные сервисы, распределенные системы, поиск информации, теория нечетких систем.

В статье приводится обоснование целесообразности использования основных принципов теории нечетких

М.А. Gordeev - Burgwitz
DEVELOPMENT OF DIGITAL–ANALOG SAU
ELECTRIC DRIVES OF WALKING DRAGLINE
Keywords: the dragline, the drive control system, auto transportation, bucket.

The paper presents the results of construction of automatic control system of interconnected electric drives of powerful walking dragline MK "Uralmash", providing automatic lifting and lowering of the bucket by the given trajectories and eliminating emergency situations, when the approach of the bucket to the boom and blocks head and hum.

М.А. Gordeev - Burgwitz
HOW INTERCONNECTED ELECTRIC DRIVES
CONTROL LIFT AND THRUST OF DRAGLINE IN
FUNCTION LOADS DRIVES

Keywords: the dragline, the drive control system, auto transportation, bucket.

In this work the method of independent management groups motors that provide positional control of the motion by the given trajectories bucket powerful walking dragline MK "Uralmash" in the function loads drives to improve performance and security excavator bucket by avoiding entering bucket in the emergency zone stretching bucket.

A.Y. Duzhenko
SPECIFICATIONS SHIPS CARRYING DANGEROUS
GOODS

Keywords: dangerous goods, transportation, ships, technical specifications, international freight forwarding, cargo space, container, ro-ro.

High profitability and the ability to secure the delivery of various cargoes made maritime transport of dangerous goods widespread method of delivery. For minimization risk of transport of dangerous goods need to strictly follow and comply with all necessary regulations and to comply with the technical conditions to be met by ships carrying dangerous goods. The article deals with the most important technical characteristics of ships carrying dangerous goods.

I.A. Egereva
AN APPROACH TO THE SYSTEMATIZATION OF
DISTRIBUTED SCIENTIFIC COMPUTING
ENVIRONMENT SERVICES

Systematization, scientific computing services, distributed systems, data search, fuzzy systems theory.

The article substantiates advisability of basic principles of fuzzy systems theory principles in selecting solutions in registers and catalogues of scientific computing

систем при выборе решений в реестрах и каталогах научно-вычислительных сервисов. Представлен алгоритм систематизации сервисов распределенной среды. Продемонстрирован результат применения практической реализации алгоритма.

Д.В. Жабин, В.Н. Соков
ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ СОЗДАНИЯ
ПЕНОБЕТОНА

Ключевые слова: самоуплотнение, электрогидротеплосиловое поле, межпоровые перегородки, пенобетон.

В работе рассматривается создание пенобетона в электрогидротеплосиловом поле (ЭГТСП). Описываются управляющие факторы, позволяющие модифицировать структуру пенобетона. Освещен характер полей температур, давлений и влагосодержания внутри пеносистемы при её обработке. Проанализированы процессы, происходящие в пеномассе при воздействии на нее электрогидротеплосилового поля. Указаны граничные условия процесса.

И.О. Жуков, А.Б. Иванченко, А.В. Жданов
ОСОБЕННОСТИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ
РОЛИКОВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ (РВМ)

Ключевые слова: 3D-моделирование, роликвинтовой механизм (РВМ), методика автоматизированного моделирования.

В статье рассматриваются особенности трехмерного моделирования планетарных роликвинтовых механизмов, предложена методика моделирования, состоящая из последовательных четырех этапов и учитывающая классификацию и геометрию механизмов.

Е.С. Заикин
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ТОПЛИВНОГО
ЗАРЯДА И КОРПУСА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: ракетный двигатель твёрдого топлива, заряд твёрдого топлива, температурные деформации, поверхность горения, метод конечных элементов.

В статье рассматриваются деформации заряда ракетного двигателя твёрдого топлива (РДТТ), скрепленного с корпусом по внешней поверхности, вызванные изменением эксплуатационной температуры. Исследуется их влияние на рабочий процесс двигателя, связанное с изменением поверхности горения.

Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин,
А.Н. Макарова
ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ
СНАБЖЕНИЕМ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ ДЛЯ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В
НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ

Ключевые слова: поток отказов, запасные части, нефтегазодобыча, транспортно-технологические машины.

services. We state an algorithm to systematization of distributed scientific computing environment services. We also demonstrate how this system works.

D.V. Zhabin, V.N. Sokov
INNOVATIVE METHOD FOR CREATING FOAM
CONCRETE

Key words: self-packing, electro-hydro-heat-force field, interpore partitions, foam concrete.

The paper considers the creation of foam concrete in electro-hydro-heat-force field (EHHFF). The control factors that modify the structure of foam concrete are describes. The nature of the fields by temperature, pressure and moisture inside foam system during processing is lighted up. The processes are occurring in foam of masses when exposed to electro-hydro-heat-force field.

I.O. Zhukov, A.B. Ivanchenko, A.V. Zhdanov
FEATURES 3D-MODELING OF ROLLER SCREW
MECHANISMS (RSM)

Keywords: 3D-modelling, roller-screw mechanism, automated modeling technique

The article discusses the features of three-dimensional modeling of planetary roller screw mechanisms, proposed modeling technique, which consists of four consecutive stages and takes into account the geometry and classification mechanisms.

E.S. Zaikin
TEMPERATURE DEFORMATIONS OF SOLID
PROPELLANT ROCKET MOTOR GRAIN AND
CASE

Keywords: solid propellant rocket motor, solid propellant grain, temperature deformations, burning surface, finite element method.

The article describes deformations of the solid propellant rocket motor grain bonded by the external surface to the motor case, caused by changes of the operating temperature. The influence of these deformations (associated with changes of the burning surface) to the motor working process is researched here.

N.S. Zakharov, O.A. Novoselov, R.A. Ziganshin,
A.N. Makarova
CRITERION FUNCTION AT MANAGEMENT OF
SPARE PARTS SUPPLY FOR TRANSPORT-
TECHNOLOGICAL MACHINES IN OIL AND GAS
PRODUCTION

Keywords: failure flaw, spare parts, oil-and-gas production, transport-technological machines.

В статье рассматривается проблема снабжения запасными частями при использовании транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче. На основе аналитических исследований предложен подход к оценке потерь от простоев автомобилей из-за отсутствия запасных частей. Определен вид целевой функции при управлении снабжением запасными частями.

Д.Ю. Землянушнов, В.Н. Соков, Д.В. Орешкин
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ
ОТХОДОВ ОБРАБОТКИ МРАМОРА В
ТЕХНОЛОГИИ ОБЛИЦОВОЧНОЙ КЕРАМИКИ

Ключевые слова: облицовочная керамика, объемное окрашивание, отходы мрамора, карбонаты, кальцит.

В работе рассмотрен практический подход к применению тонкодисперсных отходов обработки мрамора в технологии производства облицовочных керамических изделий методом объемного окрашивания. Выявлена зависимость изменения цвета обожженного керамического черепка.

Т.Н. Иванова, В.И. Чепкасов
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАСТИНАХ

Ключевые слова: остаточные напряжения, массивные и тонкие пластины, остаточные напряжения, шлифование.

Рассмотрены условия стабильности остаточных напряжений при шлифовании пластин. Исследование напряженного состояния пластины дает возможность установить взаимосвязь между технологическими параметрами процесса шлифования и характером распределения остаточных напряжений. Предложены технологические методы регулирования остаточными напряжениями в пластинах.

В.В. Киселев, Н.А. Суворов
СИНТЕЗ ВСТРОЕННОГО ТЕСТА ДЛЯ
ДИАГНОСТИКИ ЦИФРОВЫХ СХЕМ С
ПРОГРАММИРУЕМЫМИ ПЛИС

Ключевые слова: диагностика, цифровые схемы с программируемыми ПЛИС, встроенный тест, расширенный класс дефектов.

В статье предлагается метод диагностирования цифровых схем с программируемыми ПЛИС на этапе их изготовления. Метод основан на проведении самопроверки аппаратуры подачей теста, временно встроенного в существующую ПЛИС в изготовленном устройстве. Приведен алгоритм синтеза теста и анализ результатов диагностирования.

Г.Е. Кокиева
ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТА ДЛЯ
КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМА

Ключевые слова: ферментатор, рабочий орган ферментатора, перемешивающее устройство.

In the article, the problem of spare parts supply when using transport technological machines in oil-and-gas production is considered. On the basis of analytical researches, an approach to waste assessment from cars idle times caused by lack of spare parts is offered. The criterion function type at management of spare parts supply is defined.

D.Yu. Zemlyanushnov, V.N. Sokov, D.V. Oreshkin
THE USE OF FINE-DISPERSED WASTE
PROCESSING MARBLE IN THE TECHNOLOGY OF
FACING CERAMICS

Keywords: facing ceramics, body painting, waste marble, carbonates, calcite.

The paper considers a practical approach to the use of fine-dispersed waste processing marble in the technology of production of facing ceramic products by volume staining. The dependence change the color of burnt ceramic crock.

Т.Н. Иванова, В.И. Чепкасов
TECHNOLOGICAL FORECASTING STRESSES IN
PLATES

Keywords: residual stresses, massive and thin plates, residual stresses, grinding.

The conditions for the stability of residual stresses in grinding plates. Investigation of the stress state of the plate makes it possible to establish the relationship between the technological parameters of the grinding process and the nature of the residual stress distribution. Proposed technological methods of regulating residual stresses in the plates.

В.В. Киселев, Н.А. Суворов
SYNTHESIS OF EMBEDDED TEST FOR THE
DIAGNOSIS OF DIGITAL CIRCUITS WITH
PROGRAMMABLE PLD

Keywords: diagnostics, digital circuit with programmable PLD, embedded test, extended category of defect.

The article presents the method of digital circuits with programmable PLD diagnosis at the stage of their production. The method is based on conducting self – control of the equipment with the help of the test temporary embedded into existing PLD inside a manufactured unit. There is also an algorithm of test synthesis as well as analysis of diagnosis results.

Г.Е. Кокиева
STUDY OF THE CULTIVATION OF THE
MICROORGANISM

Keywords: fermenter, the working body of the fermenter, mixing device.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований ферментатора с трёхъярусным перемешивающим устройством (верхней, центральной и нижней). В частности, производительность ферментатора напрямую зависит от частоты вращения рабочего органа и конструктивных параметров устройства.

Ю.А. Кузнецова, А.Е. Трухан
ОБОСНОВАНИЕ МАСШТАБОВ
МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Ключевые слова: судовые движители, критерии подобия, гидродинамическое моделирование, масштабы моделирования.

Предложен критерий динамического подобия для моделирования циркуляционных движителей. Установлена взаимосвязь указанного критерия с иными критериями гидродинамического моделирования, получены соотношения масштабов моделирования геометрических, кинематических, динамических параметров циркуляционных движителей. Определена связь между масштабами моделирования судовых движителей.

Н.В. Куклева, Д.Н. Куклев
О МЕТОДИКАХ, НАПРАВЛЕННЫХ НА
ОБОСНОВАНИЕ ВВЕДЕНИЯ СКОРОСТНОГО
ПАССАЖИРСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Ключевые слова: скоростное движение, пассажирские поезда, методики обоснования, реконструкция, железнодорожные станции, отдельные пункты с путевым развитием, высокоскоростные специализированные магистрали.

Увеличение скоростей движения пассажирских поездов за счет реконструкции существующих линий является весьма затратным, причем, как с экономической стороны, так и с точки зрения затрат времени. При этом возникает потребность иметь в наличии методики, позволяющие принимать необходимые решения как при рассмотрении отдельного отдельного пункта с путевым развитием, так и линии в целом. В данной статье поднимается вопрос о необходимости разработки методик, которые бы применялись для решения различных задач при обосновании подготовки отдельных пунктов железнодорожных линий к введению скоростного движения пассажирских поездов.

М.А. Куликов, С.Г. Козлов
ПРОБЛЕМА ОТЛОЖЕНИЯ НЕРАСТВОРИМЫХ
СОЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАКУУМ-
КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ОАО
«УРАЛКАЛИЙ»

Ключевые слова: вакуум-кристаллизационная установка, сильвинитовая обогатительная фабрика, процесс солеотложения, цинковый комплекс ОЭДФ.

В статье кратко рассмотрена работа вакуум-кристаллизационной установки сильвинитовой обогатительной фабрики ОАО «Уралкалий». Обозначена проблема отложения нерастворимых

This paper presents the results of experimental study of the fermenter with a three-tiered mixing device (top, center and bottom). In particular, the performance of the fermenter depends on the frequency of rotation of the body and the design parameters of the device.

J.A. Kuznetsova, A.E. Truhan
MARINE PROPELLER MODELING SCALE
VALIDATION

Keywords: marine propellers, similarity criteria, hydrodynamic modeling, modeling scales.

The dynamic similarity criterion for the circulating propellers is offered. The interrelation of this criterion with other criteria of hydrodynamic modeling is established, the modeling scales of geometric, kinematic, dynamic parameters of the circulating propellers are obtained. The relationship between the modeling scales of the marine propellers is determined.

N.V. Kukleva, D.N. Kuklev
ABOUT THE METHODS DIRECTED ON
SUBSTANTIATION INTRODUCTIONS OF HIGH-
SPEED PASSENGER MOVEMENT

Key words: high-speed movement, passenger trains, methods of substantiation, reconstruction, railway stations, railway separate point with tracks, specialized high-speed railroad.

Increase of speed of movement of passenger trains through the reconstruction of existing lines is costly, and, as with economic, and from the point of view of time. It causes the necessity to have methods which allows to take the necessary decisions as when considering individual separate points with railway tracks and lines in General. This article highlights the issue of the need to develop methods that would be applied for solving different problems in substantiation of reconstruction of railway separate points to the introduction the high-speed movement of passenger trains.

М.А. Куликов, С.Г. Козлов
DEPOSITION OF INSOLUBLE SALTS PROBLEM IN
THE OPERATION OF THE VACUUM
CRYSTALLIZATION SETTING OJSC «URALKALI»

Keywords: vacuum crystallization setting sylvinitic concentrator, the process of scaling, the zinc complex HEDP.

It briefly discusses the work vacuum crystallization setting sylvinitic concentrator OJSC "Uralkali". The problems deposition of insoluble salts in different parts of the technological scheme. Shows the composition of the condensate deposits in the pipes, the main component

солей на различных участках технологической схемы. Приведён состав отложений на конденсатных трубах, основным компонентом которых является карбонат кальция. Выявлены пути поступления солей кальция в циркулирующие потоки.

М.В. Курчанов
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ОТДЕЛИВШЕГОСЯ СТАРТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА
МАРШЕВУЮ СТУПЕНЬ ЛЕТАТЕЛЬНОГО
АППАРАТА БИКАЛИБЕРНОЙ СХЕМЫ

Ключевые слова: бикалиберная схема, маршевая ступень, разделение, стартовый двигатель, угол атаки.

Статья посвящена определению воздействия отделившегося стартового двигателя на маршевую ступень (МС) летательного аппарата (ЛА) бикалиберной схемы.

В работе получены распределение параметров воздушного потока за донным срезом МС при отделении стартового двигателя, определены силы действующие на разделяемые части ЛА бикалиберной схемы. На основании полученных результатов исследования сделан вывод о возможности неустойчивого движения ЛА при разделении ступеней.

Е.Г. Малявина, О.Ю. Крючкова
ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ
ЦЕНТРАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Ключевые слова: теплота, холод, электроэнергия, вода, сравнение.

В работе представлены результаты расчетов годового потребления теплоты, холода, электроэнергии и воды центральными системами кондиционирования воздуха, работающими в московских условиях в различное время суток, при обслуживании помещений с различной температурой внутреннего воздуха.

В.С. Наговицын, А.П. Буйносов
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОИСКА
КРИТИЧЕСКИХ УЗЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, подвижной состав, узел, критический, поиск, алгоритм, разработка.

В статье разработан алгоритм поиска критических узлов подвижного состава железнодорожного транспорта. Предложена система обозначений при оценке годности с детализацией состояния подвижной единицы подвижного состава.

М.А. Неверова, И.И. Павлинова, Е.А. Королева
СИНЕРГИЗМ БАКТЕРИЙ АКТИВНОГО ИЛА В
КОМБИНИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЯХ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Ключевые слова: биомассы активного ила, бактерии, тест-контроль.

of which is calcium carbonate. Identified routes of calcium salts in the recirculating flows.

M.V. Kurchanov
DETERMINATION OF THE EFFECTS OF
SEGREGATED STARTING ENGINE ON
SUSTAINER STAGE OF FLYING APPARATUS OF
DUAL GAUGE SCHEME

Keywords: dual gauge scheme, sustainer stage, separation of the stages, starting engine, angle of attack.

Article is devoted to the determination of the effects of segregated starting engine on sustainer stage of flying apparatus of dual gauge scheme.

In the paper, the distribution of parameters of airflow for bottom section of sustainer stage when starting the engine compartment are obtained, defined forces acting on the shared part of flying apparatus of dual gauge scheme. Based on the results of the study concluded that the possibility of an unstable aircraft motion when occurs separation of the stages.

E.G. Malyavina, O.Y. Kryuchkova
POWER CONSUMPTION ESTIMATION BY
DIFFERENT CENTRAL AIR CONDITIONING
SYSTEMS

Keywords: heat, cold, electrical power, water, comparison.

The work presents calculation results of the annual heat, cold, electrical power and water consumption by central air conditioning systems, which operate in the Moscow conditions in different time of 24 hours, when serving premises with different indoor air temperature.

V.S. Nagovitsyn, A.P. Buinosov
DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF SEARCH OF
CRITICAL KNOTS OF THE ROLLING STOCK

Key words: railway transport, rolling stock, knot, critical, search, algorithm, development.

In article the algorithm of search of critical knots of a rolling stock of railway transport is developed. The system of designations is offered at a validity assessment with specification of a condition of mobile unit of a rolling stock.

M.A. Neverova, I.I. Pavlinova, E.A. Koroliva
SYNERGY BACTERIA ACTIVATED SLUDGE
BIOLOGICAL TREATMENT COMBINED

Keywords: biomass activated sludge, bacteria, test control.

В работе представлены результаты исследований по тестированию систем биологической очистки с использованием бактерий биомассы активного ила. Выявлены преобладающие бактерии, характеризующие эффективность биохимического окисления в комбинированных сооружениях.

М.А. Никулина

ВЛИЯНИЕ АНТИМИКРОБНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ НА СРОК ХРАНЕНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОХЛАЖДЕННОЙ ГОВЯЖЬЕЙ ПЕЧЕНИ

Ключевые слова: антимикробные покрытия, полисахариды, альгинат натрия.

Для увеличения срока хранения охлажденной говяжьей печени в работе исследовалась возможность использования пленкообразующего антимикробного состава на основе альгината натрия. Разработан и обоснован состав композиции, обеспечивающий снижение усушки охлажденного полуфабриката и увеличение срока хранения на 25%. Результаты подтверждены данными органолептического и микроструктурного анализов, бактериоскопического исследования.

Е.А. Новикова, Д.В. Штых

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ОПТОМЕХАНИКИ

Ключевые слова: оптомеханика, актуатор, микроперемещение, роликвинтовой механизм (РВМ), анализ конструкций.

В статье рассматриваются особенности механизмов поступательного движения, которые обеспечивают микроперемещения с большими усилиями на выходном штоке. Дан краткий обзор известных конструкций зарубежных фирм и предложены направления реализации микроперемещений в рассматриваемой области.

А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Ключевые слова: сушка древесины, пиломатериалы, сушильная камера, автоматизированные расчеты, программная среда MathCad.

На основе программной среды MathCad разработано информационно-технологическое обеспечение расчета процесса сушки пиломатериалов. Тестирование программного обеспечения произведено на примере расчета параметров процессов, осуществляемых в малогабаритной лесосушильной камере. В состав расчетных параметров входят продолжительность сушки при заданных геометрических характеристиках штабеля сосновых пиломатериалов, параметров агента сушки, объема удаляемой влаги, расходы теплоты на прогрев древесины, испарение влаги, а также потери теплоты через ограждения камеры. Табличные значения исходных данных заменены регрессионными функциями, полученными в пакете

The paper presents the results of studies testing systems biological treatment using activated sludge bacteria biomass. Prevalent bacteria identified characterizing biochemical oxidation efficiency in combined constructions.

M.A. Nikulina

INFLUENCE OF AN ANTIMICROBIAL ALGINATE COVERING ON A PERIOD OF STORAGE AND QUALITY INDICATORS OF THE COOLED BEEF LIVER

Keywords: anti-microbial coatings, polysaccharides, sodium alginate, beef liver.

To increase the shelf life of chilled beef liver the possibility of using antimicrobial film-forming composition based on sodium alginate. Developed and substantiated the composition, providing reduction of shrinkage and refrigerated semi increase shelf life by 25%. Results were confirmed by sensory and microstructural analyzes, microscopy studies.

E.A. Novikova, D.V. Shtykh

ANALYSIS OF THE MECHANISM OF TRANSLATIONAL MOTION IN THE DEVICES OF OPTOMECHANICS

Keywords: optomechanics, actuator, micromotion, roller-screw mechanism, design analysis.

The article discusses the features of the translational motion of mechanisms that provide micromotion with great effort on the output shaft. A brief review of the known structures of foreign firms and directions of realization micromotion in this area.

A.G. Pozdееv, J.A. Kuznetsova

INFORMATION-ENGINEERING SUPPORT OF WOOD DESICCATION PROCESS CALCULATION

Keywords: wood desiccation, lumber, drying chamber, automated calculations, MathCad software environment.

On the basis of MathCad software environment, the information-engineering support of the lumber desiccation process calculation was developed. Software testing was performed on the example of calculation of processes carried out in a small wood-drying chamber. Calculated parameters include the duration of wood desiccation under specified geometric characteristics of a yellow deal pile, parameters of drying agent, volumes of removable moisture, firing rate of wood heating, water and heat loss through the fence of the chamber. Tabulated values of source data were replaced with regression functions obtained in Curve Expert package. Calculated parameter selection was based on logical operators of value matrixes or function matrixes.

Curve Expert. Выбор расчетного параметра осуществляется на основе логических операторов из матриц значений или функций.

А.П. Пустовгар, П.А. Лавданский, А.В. Есенов,
А.О. Адамцевич, А.Д. Веденин
АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ГИДРАТАЦИИ
ЦЕМЕНТА В СЕРПЕНТИНИТОВОМ БЕТОНЕ
Ключевые слова: радиационно-защитный бетон,
«сухая защита» ядерного реактора, гидратация
цемента, тепловыделение.

В статье рассматриваются вопросы применения серпентинитового бетона «сухой защиты» ядерного реактора АЭС с водяным охлаждением. Анализируется возможность исключения термообработки «сухой защиты» за счет введения минеральной добавки, повышающей тепловыделение при гидратации цемента, входящего в состав серпентинитового бетона. В работе представлены результаты экспериментального исследования теплового эффекта гидратации образцов смеси на основе портландцемента с добавкой оксида кальция, полученные с использованием метода изотермической калориметрии.

С.И. Рощина, М.В. Лукин, А.В. Лукина,
М.С. Лисятников
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ДРЕВЕСИНЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ
БИОПОВРЕЖДЕНИЕМ, ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ
КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ НА ОСНОВЕ
ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ
Ключевые слова: планирование эксперимента, клевая
композиция, усиление деревянных элементов,
технология восстановления работоспособности
древесины.

В статье изложена схема планирования эксперимента для определения оптимального состава клеевой композиции. Определены прочностные показатели композиции и предложена технология усиления деревянных элементов, ослабленных биоповреждениями, путем модификации древесины.

А.Г. Русаков, И.М. Пышный
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВНО-
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЯГУ
ПОЕЗДОВ ПРИ ПОМОЩИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ПАСПОРТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЧАСТКА
ПУТИ
Ключевые слова: Энергоэффективность,
энергетический паспорт железнодорожного участка,
новые локомотивы, коэффициент рекуперации,
электропозы.

В данной статье рассмотрена методика определения ТЭР на тягу поездов при помощи энергетического паспорта, а так же проведено сравнение удельного расхода между новыми и устаревшими локомотивами.

A.P. Pustovgar, P.A. Lavdansky, A.V. Esenov,
A.O. Adamtsevich, A.D. Vedenin
ANALYSIS OF THE HYDRATION HEAT RELEASE
OF CEMENT IN SERPENTINE CONCRETE
Key words: radiation shielding concrete, nuclear reactor
"dry" shield, cement hydration, heat release.

The paper examines application of serpentinite concrete in the construction of "dry" shield for nuclear power plant reactor. Authors analyze the possibility of excluding thermal treatment of "dry" shield by introduction the mineral additive that increases heat release of cement hydration in serpentinite concrete. The paper presents results of experimental research the thermal effect during hydration of mixtures based on Portland cement with the addition of calcium oxide. Experiments have been performed using the method of isothermal calorimetry.

S.I. Roshchina, M.V. Lukin, A.V. Lukina,
M.S. Lisyatnikov
INCREASED PERFORMANCE PROPERTIES WOOD
WEAKENED BIODETERIORATION BY
MODIFYING THE ADHESIVE COMPOSITION
BASED ON AN EPOXY RESIN
Keywords: experimental design, cool composition,
increased wood elements, technology disaster recovery
wood.

In this article the framework for planning the experiment to determine the optimal composition of the adhesive composition. Defined composition and strength characteristics of the technology of strengthening wooden elements biodegradation attenuated by modification of wood.

A.G. Rusakov, I.M. Pyshny
DEFINITION OF THE EXPENSE OF FUEL AND
ENERGY RESOURCES ON PULL-ROD OF TRAINS
BY MEANS OF THE POWER PASSPORT OF THE
RAILWAY SITE OF THE WAY
Keywords: Energy efficiency, power passport of the
railway site, new locomotives, recovery coefficient,
electric locomotives.

In this article the technique of definition of FER on pull-rod of trains by means of the power passport and as comparison of a specific expense between new and outdated locomotives is carried out is considered.

А.Г. Рымаров, М.И. Ботнар
ОСОБЕННОСТИ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ЗДАНИЕМ В
ПЕРИОД РЕЗКОГО ПОХОЛОДАНИЯ В ХОЛОДНЫЙ
ПЕРИОД ГОДА

Ключевые слова: температура наружного воздуха, период резкого похолодания.

Динамика температуры наружного воздуха в период резкого похолодания важна для анализа фактического теплопотребления зданием в период максимальной нагрузки на систему отопления. Рост и снижение теплопотерь зданием в период резкого похолодания связан с напряженной работой системы отопления здания, что отражается на температурном режиме каждого помещения и отражается на энергосбережении.

Э.С. Соколова, О.П. Тимофеева, Е.С. Кадиленко
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
БЕСПИЛОТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ
СРЕДСТВАМИ В ПРЕДЕЛАХ ОГРАНИЧЕННОЙ
СЕТИ АВТОДОРОГИ

Ключевые слова: автопилот, транспортные средства, маршруты движения.

Решается задача создания системы управления движением, которая вычисляет и назначает оптимальные маршруты движения для множества транспортных средств, исходя из знания их текущего местоположения и скорости движения.

С.Г. Фомичев, А.В. Антонов, Т.В. Бурнышева
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ АККУМУЛИРОВАНИЕМ
МАССЫ

Ключевые слова: технология производства, способ управления, показатели надежности, отказы, эффективность.

Предложен подход определения экономической эффективности применения способа управления аккумуляцией массы технологией производства с учетом остановок конвейерной линии на стоимость проведения подготовительной выработки.

А.В. Широков, Т.И. Демидова, Л.О. Широкова
ОБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С
УЛУЧШЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ
СВОЙСТВАМИ

Ключевые слова: физиологически ценные пищевые ингредиенты, обогащенные хлебобулочные изделия, комбинированные порошковые продукты на основе ВСР, синдром кишечной недостаточности, потребительские свойства, нутритивные, когнитивные, сенсорные свойства пищи.

В представленной статье рассмотрена возможность обогащения хлебобулочных изделий физиологическими пищевыми ингредиентами (добавками из растительного сырья) на основе – комбинированного порошка столовой свеклы (КПС), содержащего функциональные пищевые вещества растительного и

A.G. Rymarov, M.I. Botnar
CHARACTERISTICS OF HEAT LOSSES IN THE
PERIOD OF SHARP FALLS DURING THE COLD
PERIOD OF THE YEAR

Dynamics of external air temperature during sudden cold snap is important for the analysis of the actual heat consumption of building in the period of maximum stress on the heating system. Increase and decrease heat loss in the period of rapid cooling is related to the hard work of building's heating system, the temperature of each room and reflected on energy conservation.

E.S. Sokolova, O.P. Timofeeva, E.S. Kadilenko
INTELLIGENT CONTROL SYSTEM OF
UNMANNED VEHICLES WITHIN A LIMITED
ROAD NETWORK

Keywords: autopilot, vehicles, routes.

The goal is to create a traffic control system that calculates and assigns optimal routes for a variety of vehicles using for this knowledge of their current location and speed.

S.G. Fomichev, A.V. Antonov, T.V. Burnysheva
EVALUATING THE EFFECTIVENESS METHOD OF
CONTROLLING ACCUMULATION OF MASS

Keywords: production technology, method of controlling, reliability indices, downtime, effectiveness.

The way of evaluating the economic effectiveness of application of controlling «accumulation of mass» the production technology method, which identifies the influence of conveyor line downtime on mine working cost.

A.V. Shirokov, T.I. Demidova, L.O. Shirokova
PROCESSING ADDITIVES FOR THE PRODUCTION
OF BAKERY PRODUCTS WITH IMPROVED
CONSUMER PROPERTIES

Keywords: physiologically valuable food ingredients enriched bakery combined powder based products SPR syndrome, intestinal failure, consumer properties, nutritive, cognitive, sensory properties of food.

In the present paper considers the possibility of enriching bakery physiological food ingredients (additives from vegetable raw materials) on the basis of - combined beet powder (CPB) containing functional food substances of plant and animal origin. Presented biomedical properties of the CPB, the results of studies of therapeutic and preventive opportunities enrichment supplements, as well as its impact on the consumer properties of bakery products.

животного происхождения. Представлены медико-биологические свойства КПС, результаты исследований лечебно-профилактической возможности обогатительной добавки, а также ее влияния на потребительские свойства хлебобулочных изделий.

Ю.Е. Якубовский, И.А. Лобач
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ
КОНДЕНСАТОПРОВОДА В УСЛОВИЯХ ПОДАЧИ
ПАРАФИНИСТОГО ДЕЭТАНИЗИРОВАННОГО
КОНДЕНСАТА АЧИМОВСКИХ ЗАЛЕЖЕЙ
УРЕНГОЙСКОГО НГКМ

Ключевые слова: парафин, запуск месторождения, присадка, парафиноотложения.

Целью данной работы является разработка сценария производственного процесса увеличения производительности промыслового конденсатопровода, а также оценка влияния высокопарафинистого деэтанализованного конденсата (ДЭК) на технологическую работу конденсатопровода в целом.

Y.E. Jakubowski, I.A. Lobach
PROGNOSTICATION WORK OF THE
CONDENSATE PIPELINE CONDITIONS PARAFFIN
DEETHANIZED CONDENSATE OF THE URENGOY
FIELD AHIMOV DEPOSITES

Keywords: paraffin, field start-up, additive, paraffin deposits.

The purpose of this study is development of the production process scenario of field condensate pipeline efficiency improvement and also the assessment of high paraffine deethanized condensate (DEC) impact on the process work of the condensate pipeline in general.

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

№4 2014

Направления:

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

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 26.08.2014 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

11,6 усл.печ.л. 13,3 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1507.

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»