

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ**

**№6 2015**

**Направления:**

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

**Казань**

**2015**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №6 2015г. – Казань:  
Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – 242 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.ntvr.ru](http://www.ntvr.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*

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; М.М. Арсланов – д.ф.-м.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.;*

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

*В.К. Половняк – д.х.н., проф.; П.П. Суханов – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.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, 2015 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Х.Ш. Джуроев, К. Комилов, З.С. Норматов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В НЕОГРАНИЧЕННОЙ СРЕДЕ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА	10
<i>Е.И. Дискаева, О.В. Вечер, А.А. Хащенко</i> ГЕНЕРАЦИЯ ПАРА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА РАСПЛАВ – ЖИДКОСТЬ	14
<i>Д.А. Кудрявцев, В.А. Рыков, Е.Г. Селина, Г.А. Карпов</i> МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОГО НЕАНАЛИТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ	17
<i>С.Н. Панарина, А.В. Сапожникова, Н.Л. Яковлева</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЭТАЛОННЫХ ВЫБОРОК В СТАТИСТИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ	20
<i>С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, А.В. Свердлов</i> МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ	24
<i>В.А. Рыков, С.В. Рыков, Е.Е. Устюжанин</i> КОРРЕЛЯЦИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДИАМЕТРА И ХИМИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ	27
<i>А.А. Хаджи</i> О НЕРАВЕНСТВЕ ТИПА ФРИДРИХСА	30
<i>М.К. Хасанов, М.В. Столповский</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ЧАСТИЧНО НАСЫЩЕННОЙ ЛЬДОМ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ КОНЕЧНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ	34
<i>Е.Н. Шубабко</i> ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМ РОСТОМ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕВАНЛИННЫ	38

### ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>О.В. Белова, А.В. Лисов, А.А. Леонтьевский</i> СИНТЕЗ КСИЛООЛИГОСАХАРИДОВ С ПОМОЩЬЮ БИОКАТАЛИЗАТОРА – КСИЛАЗЫ БАКТЕРИИ <i>CELLULOMONAS FLAVIGENA</i>	43
<i>О.В. Гребенникова, Е.И. Шиманская, В.П. Молчанов</i> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТООТДЕЛЯЕМОГО КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ ПЕРОКСИДАЗЫ ДЛЯ ОКИСЛЕНИЯ 2,3,6-ТРИМЕТИЛФЕНОЛА	46
<i>А.Е. Дудник, А.С. Чепурненко, С.В. Литвинов</i> НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ С ПВХ ИЗОЛЯЦИЕЙ	49
<i>Н.В. Лакина, И.П. Шкилева, В.Ю. Долуда, В.В. Шумилов, О.С. Бурматова, К.Е. Сальникова, М.А. Рубин, Е.И. Шиманская</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БИОКАТАЛИЗАТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИНТЕЗЕ БИОДИЗЕЛЯ	52
<i>А.И. Пичугина, В.И. Луцки</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ МИЛЛЕРИТА В УСЛОВИЯХ РАВНОДОСТУПНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	55
<i>Е.А. Прутенская, И.В. Ущановский, Э.М. Сульман, А.С. Васильев</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ КАК БИОСТИМУЛЯТОРОВ НА СЕМЕНАХ ЛЬНА	58
<i>В.В. Шумилов, Л. Нира, Д.Ю. Мурзин, Э.М. Сульман</i> КАТАЛИТИЧЕСКИЕ НОСИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	61

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>С.Б. Андреев</i> СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ	64
---	----

<i>В.В. Аникеев, В.А. Бузин</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ	68
<i>А.Н. Аношкин, Д.И. Федоровцев, П.В. Писарев, В.М. Осокин</i> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТА В ВИДЕ РАССЛОЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ФЛАНЦА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	71
<i>Р.Г. Асадуллаев, И.С. Шаповалова, А.В. Кисиленко</i> РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ В ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРЕ	75
<i>Л.В. Беляев, А.Б. Иванченко, А.В. Жданов</i> ПРИМЕНЕНИЕ CAD/CAM/CAE/PLM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА	78
<i>Н.Н. Беспалов, Л.П. Дудина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ ТИРИСТОРАХ БЕСЩЕТОЧНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ИСПОЛЗУЮЩИХСЯ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ МОЩНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	82
<i>Н.Н. Беспалов, С.С. Капитонов, М.В. Ильин, А.В. Евишев</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОТЕРЬ В СИЛОВЫХ ДИОДАХ В СОСТОЯНИИ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЫ	86
<i>С.С. Бородин, С.М. Дмитриев, А.А. Добров И.В. Каратушина, А.Н. Пронин, А.Е. Хробостов</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ЗА ПЛАСТИНЧАТОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ РЕШЕТКОЙ ТОПЛИВНОЙ КАССЕТЫ ТВСА-12PLUS	90
<i>Е.Ф. Бояркина, А.С. Терехов</i> СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА СРЕДНЕГОДОВОЙ ПРОБЕГ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	93
<i>Е.Ф. Бояркина, А.С. Терехов</i> ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СТЕПЕНЬ ИСПОЛЗОВАНИЯ ПАРКА АВТОМОБИЛЕЙ	96
<i>А.П. Буйносов, И.В. Умылин</i> НОВЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ГРЕБНЕСМАЗЫВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	99
<i>А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова</i> АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ГОДНОСТИ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	102
<i>А.П. Буйносов, И.О. Шепелева</i> СПОСОБ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	105
<i>В.С. Вакулюк, В.К. Шадрин, В.В. Лунин, П.Е. Киселев, П.А. Шляпников</i> ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЁННОГО СЛОЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ	108
<i>Н.Р. Валиев, Р.А. Валиев</i> ОСОБЕННОСТИ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ КАРБИДНОГО КЛАССА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ	112
<i>А.В. Григорьев, Н.А. Гаркуша, А.А. Юсупова</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОДА НА ОСНОВЕ ПОИСКА ШАБЛОНОВ АЛГОРИТМОВ	115
<i>И.В. Гуляев, М.А. Бобров, И.С. Юшков, А.В. Волков, А.А. Попов</i> БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ	119
<i>И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов, Е.И. Ионова, М.А. Бобров</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ УПРАВЛЕНИИ МОМЕНТОМ	123
<i>Н.В. Демина, Д.Н. Куклев, Н.В. Куклева</i> О ПРОБЛЕМАХ В ОБЛАСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ	129

<i>А.В. Жданов, В.В. Морозов</i> УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА	132
<i>Г.П. Жигулин, А.Е. Лысенко</i> ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО УРОВНЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА КОНСТРУКТОРСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	135
<i>Т.Н. Иванова, А.А. Мясникова, Е.С. Семенова, А.В. Чепкасов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ	138
<i>И.Ф. Киссельман, С.Э. Шаклеина, С.А. Палехова</i> УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ТРУБНЫХ ПУЧКОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ	142
<i>К.Л. Ковалев, А.В. Карпышев, А.Л. Душкин, М.С. Морозов</i> РАЗРАБОТКА МАКЕТОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ПЕРВИЧНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ И ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ	145
<i>Т.М. Кокина</i> УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛОВ ПИТАНИЯ И КАЧЕСТВА ПРЯЖИ, ПОЛУЧЕННОЙ БЕЗВЕРЕТЕННЫМ ПРЯДЕНИЕМ НА ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЯДИЛЬНЫХ МАШИНАХ	148
<i>Е.М. Короткова, А.В. Пранович, S.M. Willför, Э.М. Сульман</i> ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИГНИНА ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ РАЗБАВЛЕННЫМ РАСТВОРОМ ЩЕЛОЧИ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРЕ И ДАВЛЕНИИ	151
<i>Д.И. Кузнецов, А.В. Дедушкин</i> МЕТОД СОГЛАСОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СВЧ ЦЕПЕЙ С ВЫСООМНЫМИ НАНОЭЛЕМЕНТАМИ	154
<i>К.А. Кузьмин, И.В. Нелин</i> ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗМАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ	157
<i>К.А. Кузьмин, И.В. Нелин, В.А. Скуратов</i> ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	161
<i>К.А. Кузьмин, В.А. Скуратов</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ	164
<i>В.В. Ланин, В.В. Морозенко, А.О. Сухов</i> АРХИТЕКТУРА РЕДАКТОРА ЛЕКСИКО-СИНТАКСИЧЕСКИХ ШАБЛОНОВ НА БАЗЕ DSL-ТЕХНОЛОГИЙ	167
<i>А.В. Лаптев, А.В. Макаренко, М.А. Быковский</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА	170
<i>А.А. Медведев, Е.Н. Созинова</i> ПРАВОВЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	173
<i>А.В. Мигачев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ	176
<i>М.Н. Морозова, В.А. Соловьев</i> ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	180
<i>Х.Г. Мусин, Р.А. Газизов, Н.Ф. Гибадуллин</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ	184
<i>О.Е. Нисина, М.А. Куликов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА МАГНИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ	188
<i>Е.А. Семенищев, И.В. Толстова, М.М. Письмескова</i> ОБЪЕДИНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЕДИНУЮ КОМПОЗИЦИЮ С УЧЁТОМ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ НА СЦЕНЕ	191
<i>Е.Н. Созинова, А.А. Медведев</i> АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ	195

<i>А.А. Сурниченко, К.А. Сурниченко, Д.О. Кочетов, Д.С. Серов, П.В. Лебедев, Д.А. Майоров, М.С. Деревенцев</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЗИП ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	198
<i>А.А. Сурниченко, К.А. Сурниченко, Е.С. Никитин, В.Ю. Смирнов, М.С. Деревенцев</i> ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	201
<i>Э.В. Тимиров, О.Г. Новоселов, С.Г. Буютова</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АТТЕСТАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА	204
<i>М.Р. Хисамутдинов</i> АСПЕКТЫ ИНТЕГРАЦИИ ERP С ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ PLM И MES ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ IT ПРОДУКТОВ	208
<i>М.И. Шильев, Е.М. Хромова, С.Н. Широкова</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАЦИОННО-АБСОРБЦИОННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЫЛЕ- И ГАЗООЧИСТКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПДВ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «АЗОТ» (Г. КЕМЕРОВО)	213
<i>Д.В. Штых, А.В. Жданов, В.В. Морозов</i> ГЕОМЕТРИЯ СОПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ PBM	216
<i>С.А. Эртман, А.А. Фадюшин, Д.С. Карманов, Ю.А. Эртман</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ УЛИЦ С ИНТЕНСИВНЫМ ДВИЖЕНИЕМ	219
<i>С.А. Ямашкин</i> СТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОПОРТАЛА, КАК ИНСТРУМЕНТА ПУБЛИКАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	223
<b>АННОТАЦИИ</b>	226

**THE RELEASE MAINTENANCE****PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

<i>H.Sh. Djuraev, K. Komilov, Z.S. Normatov</i> STUDY HEAT FLOW IN AN UNBOUNDED MEDIUM WITH EXTERNAL SOURCES	10
<i>E.I. Diskaeva, O.V. Vecher, A.A. Haschenko</i> STEAM GENERATION AT THE INTERFACE OF THE MELT – LIQUID	14
<i>D.A. Kudryavtsev, V.A. Rykov, E.G. Selina, G.A. Karpov</i> A METHOD OF CONSTRUCTING A SINGLE NON-ANALYTICAL EQUATION OF STATE	17
<i>S.N. Panarina, A.V. Sapozhnikova, N.L. Yakovleva</i> APPLICATION OF REFERENCE SAMPLES IN STATISTICAL RESEARCH	20
<i>S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, A.V. Sverdlov</i> METHOD OF MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL SURFACE OF INDIVIDUAL SUBSTANCES	24
<i>V.A. Rykov, S.V. Rykov, E.E. Ustyuzhanin</i> THE CORRELATION OF THE CURVILINEAR DIAMETER AND CHEMICAL POTENTIALS AT SATURATION LINE	27
<i>A.A. Khadzhi</i> ON INEQUALITIES OF THE FRIEDRICHS TYPE	30
<i>M.K. Khasanov, M.V. Stolpovskii</i> NUMERICAL SIMULATION OF HYDRATE FORMATION IN PARTIALLY SATURATED POROUS MEDIUM ICE FINITE EXTENT	34
<i>E.N. Shubabko</i> ABOUT ONE CLASS OF ENTIRE FUNCTIONS WITH THE EXPONENTIAL GROWTH OF THE NEVANLINNA CHARACTERISTIC	38

**CHEMICAL SCIENCE**

<i>O.V. Belova, A.V. Lisov, A.A. Leontevskiy</i> XYLITOL SYNTHESIS OF OLIGOSACCHARIDES USING BIOCATALYST - XYLANASE BACTERIA CELLULOMONAS FLAVIGENA	43
<i>O.V. Grebennikova, E.I. Shimanskaya, V.P. Molchanov</i> PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE MAGNETIC SEPARATED CATALYST BASED ON THE PEROXIDASE FOR THE OXIDATION OF 2,3,6-TRIMETHYLPHENOL	46
<i>A.E. Dudnik, A.S. Chepurnenko, S.V. Litvinov</i> NON-STATIONARY PROBLEM OF HEAT CONDUCTIVITY FOR ELECTRIC CABLE WITH PVC INSULATION	49
<i>N.V. Lakina, I.P. Shkileva, V.Yu. Doluda, V.V. Shumilov, O.S. Burmatova, K.E. Salnikova, M.A. Rubin, E.I. Shimanskaya</i> THE INVESTIGATION OF FERMENTATIVELY TRANSESTERIFICATION REACTION USED IN THE SYNTHESIS OF BIODIESEL	52
<i>A.I. Pichugina, V.I. Lytsik</i> INVESTIGATION OF DISSOLUTION KINETICS OF MILLERITE AT THE CONDITIONS OF AN EQUALLY ACCESSIBLE SURFACE	55
<i>E.A. Prutenskaya, I.V. Uschapovsky, E.M. Sulman, A.S. Vasiljev</i> EFFICIENCY OF APPLICATION OF HUMIC SUBSTANCES AS BIOSTIMULATORS ON FLAX SEEDS	58
<i>V.V. Shumilov, L. Hupa, D.Yu. Murzin, E.M. Sulman</i> PALLADIUM-CONTAINING CATALYSTS BASED ON FUNCTIONALIZED HYPERCROSSLINKED-POLYSTYRENE FOR SUZUKI CROSS-COUPPLING REACTION	61

**ENGINEERING SCIENCE**

<i>S.B. Andreev</i> SYSTEM APPROACH TO MANAGEMENT MULTINOMENCLATURE PRODUCTION BASED ON THE ANALYSIS OF RESOURCES USED IN THE ENTERPRISE	64
<i>V.V. Anikeev, V.A. Buzin</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EXISTING TYPES OF AIR CLEANERS AUTOMOTIVE VEHICLES	68
<i>A.N. Anoshkin, D.I. Fedorovtcev, P.V. Pisarev, V.M. Osokin</i> ANALYS OF INFLUENCE DEFECTS IN THE FORM OF DELAMINATION ON STRESS-STRAIN STATE FLANGES MADE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS	71
<i>R.G. Asadullaev, I.S. Shapovalova, A.V. Kisilenko</i> DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL MODEL OF THE PROCESS OF ASSESSMENT OF SOCIAL RISK IN TECHNOGENIC SPHERE	75

<i>L.V. Belyaev, A.B. Ivanchenko, A.V. Zhdanov</i> APPLICATION OF CAD/CAM/CAE/RP/PLM-TECHNOLOGIES FOR IMPLANTABLE ARTIFICIAL HEART SYSTEM DESIGN	78
<i>N.N. Bespalov, L.P. Dudina</i> RESEARCH OF TRANSIENTS IN POWER THYRISTORS BRUSHLESS EXCITING DEVICES THAT ARE USED TO EXCITATION OF POWERFUL SYNCHRONOUS MOTORS	82
<i>N.N. Bespalov, S.S. Kapitonov, M.V. Ilyin, A.V. Evishev</i> DETERMINATION OF ELECTRICAL ENERGY LOSSES IN POWER DIODE IN A HIGH CONDUCTIVITY AT DIFFERENT INITIAL VALUE OF THE TEMPERATURE OF THE SEMICONDUCTOR STRUCTURE	86
<i>S.S. Borodin, S.M. Dmitriev, A.A. Dobrov, I.V. Karatushina, A.N. Pronin, A.E. Khrobostov</i> EXPERIMENTAL RESEARCHES OF COOLANT FLOW BEHIND THE MIXING GRID OF TVSA12-PLUS FUEL ASSEMBLY	90
<i>E.F. Boyarkina, A.S. Terehov</i> THE COMPARISON OF THE DIFFERENT APPROACHES TO THE FACTORS' INFLUENCE ON THE ANNUAL CAR RUN STUDY	93
<i>E.F. Boyarkina, A.S. Terehov</i> THE RATIO OF THE CAR PARK USE MEASURE	96
<i>A.P. Buinosov, I.V. Umylin</i> NEW CONTROL PACKAGE OF SYSTEM OF GREBNESMAZYVANIYA OF THE ROLLING STOCK	99
<i>A.P. Buinosov, N.G. Fetisova</i> ANALYSIS OF THE CONDITION OF STRUCTURAL COMPONENTS OF THE VALIDITY OF DIFFICULT DYNAMIC SYSTEMS OF RAILWAY TRANSPORT	102
<i>A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva</i> MODE OF PLASMA HARDENING OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF RAILWAY TRANSPORT	105
<i>V.S. Vakulyuk, V.K. Shadrin, V.V. Lunin, P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov</i> INFLUENCE OF HARDENED LAYER THICKNESS ON THE FATIGUE POINT UNDER THE ANTICIPATORY SURFACE PLASTIC DEFORMATION	108
<i>N.R. Valiev, R.A. Valiev</i> FEATURES OF MARTENSITIC TRANSFORMATION IN THE CARBIDE TOOL STEEL AT THE LASER TREATMENT	112
<i>A.V. Grigoryev, N.A. Garkusha, A.A. Yusupova</i> INTELLIGENT TECHNIQUE OF STATIC CODE ANALYSIS BASED ON SEARCH OF ALGOTITHMS PATTERNS	115
<i>I.V. Gulyaev, M.A. Bobrov, I.S. Yushkov, A.V. Volkov, A.A. Popov</i> SENSORLESS CONTROL OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR	119
<i>I.V. Gulyaev, A.V. Volkov, E.I. Ionova, A.A. Popov, M.A. Bobrov</i> COMPARATIVE REVIEW OF PMSM AND BLDCM BASED ON DIRECT TORQUE CONTROL METHOD	123
<i>N.V. Demina, D.N. Kuklev, N.V. Kukleva</i> ABOUT PROBLEMS IN THE FIELD OF RAILWAY TRANSPORTATION OF LARGE CONTAINERS	129
<i>A.V. Jdanov, V.V. Morozov</i> DEVICE FOR THE CONTROLLED TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS	132
<i>G.P. Zhigulin, A.E. Lysenko</i> LOGICAL-MATHEMATICAL MODEL OF OPERATIONAL LEVEL OF INFORMATION SECURITY MANAGEMENT BASED ON PROCESS APPROACH IN ENGINEERING ORGANIZATION OF THE MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX	135
<i>T.N. Ivanova, A.A. Myasnikov, E.S. Semenova, A.V. Chepkasov</i> MODELING OF MACHINED SURFACE WHEN MILLING	138
<i>I.F. Kisselman, S.E. Shakleina, S.A. Palechova</i> DEVICE FOR CARRYING OUT HYDRAULIC TESTS OF TUBE BUNDLES IN HEAT EXCHANGERS	142
<i>K.L. Kovalev, A.V. Karpishev, A.L. Dushkin, M.S. Morozov</i> DEVELOPMENT OF MODELS OF HIGH-PERFORMANCE PRIMARY FIREFIGHTING AT LOW TEMPERATURES AND ARCTIC AREAS	145
<i>T.M. Kokina</i> ASCERTAINMENT OF THE RELATION BETWEEN THE NON-UNIFORMITY OF THE SHAFTS ROTATION AND THE QUALITY OF THE OPEN-END YARN MADE BY THE ROTOR SPINNING MACHINES	148

<i>E.M. Korotkova, A.V. Pranovich, S.M. Willför, E.M. Sulman</i> LIGNIN ISOLATION FROM SPRUCE WOOD WITH LOW CONCENTRATION ALKALI AT HIGH TEMPERATURE AND PRESSURE	151
<i>D.I. Kuznetsov, A.V. Dedushkin</i> THE NONLINEAR METHOD OF NANOELEMENT ACCORDANCE AND THE TECHNOLOGICAL CONSTRUCTIONS FOR ACCORDANCE CIRCUITS	154
<i>K.A. Kuzmin, I.V. Nelin</i> REQUIREMENTS FOR THE USE OF THE MECHANISMS OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGY IN PATTERN RECOGNITION	157
<i>K.A. Kuzmin, I.V. Nelin, V.A. Skuratov</i> INFORMATION ENSURING EFFECTIVE USE NEURAL NETWORK TECHNOLOGY	161
<i>K.A. Kuzmin, V.A. Skuratov</i> TOPOLOGY OPTIMIZATION OF NEURAL NETWORK GENETIC ALGORITHM	164
<i>V.V. Lanin, V.V. Morozenko, A.O. Suhov</i> ARCHITECTURE OF LEXICAL AND SYNTACTIC PATTERN EDITOR BASED ON DSL-TECHNOLOGY	167
<i>A.V. Laptev, A.V. Makarenko, M.A. Bykovskiy</i> DETERMINING OF WORK EFFICIENCY ZONES FOR MULTIPROCESSOR HARVESTING MACHINE WITH GRAPPLE	170
<i>A.A. Medvedev, E.N. Sozinova</i> LEGAL AND METHODOLOGICAL BASES OF INFORMATION SECURITY AUDIT	173
<i>A.V. Migachev</i> RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF GAS AIR COOLING DEVICE AS A CONTROL OBJECT	176
<i>M.N. Morozova, V.A. Soloviev</i> INFORMATION-MEASURING COLORIMETRIC SYSTEM	180
<i>H. Musin, R. Gazizov, N. Gibadullin</i> ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION IN REGISTRATION EDGE EFFECTS FOR RECREATIONAL FORESTS	184
<i>O.E. Nisina, M.A. Kulikov</i> STUDY OF INFLUENCE OF MAGNESIUM-CONTAINING RAW MATERIALS ON QUALITY MAGNESIUM NITRATE SOLUTION	188
<i>E.A. Semenishchev, I.V. Tolstova, M.M. Pismenscova</i> THE IMAGES STITCHING INTO A SINGLE COMPOSITION WITH ANALYZING THE OBJECTS IN THE SCENE	191
<i>E.N. Sozinova, A.A. Medvedev</i> ANALYSIS OF TRENDS IN THE AUDIT OF INFORMATION SECURITY ORGANIZATIONS	195
<i>A.A. Surnichenko, K.A. Surnichenko, D.O. Kochetov, D.S. Serov, P.V. Lebedev, D.A. Mayorov, M.S. Derevencev</i> DEFINITION OF SPARE PARTS TO MAINTAIN RELIABILITY AUTOMATIC LINES IN OPERATION	198
<i>A.A. Surnichenko, K.A. Surnichenko, E.S. Nikitin, V.Y. Smirnov, M.S. Derevencev</i> RESIDUAL LIFE OF FORGING EQUIPMENT	201
<i>E.V. Timirov, O.G. Novoselov, S.G. Bujanova</i> IMPROVING CERTIFICATION SYSTEM ENGINEERS AND TECHNICAL WORKERS BUILDING COMPLEX	204
<i>M.R. Hisamutdinov</i> THE INTEGRATION ASPECTS OF THE ERP INFORMATION SYSTEMS, PLM AND MES IN THE IMPORT SUBSTITUTION OF IT PRODUCTS	208
<i>M.I. Shilyaev, E.M. Khromova, S.N. Shirokova</i> APPLICATION CONDENSING ABSORPTION MATHEMATICAL MODEL DUST AND GAS CLEANING FOR CALCULATION OF COMPANY "AZOT" (KEMEROVO)	213
<i>D.V. Shtih, A.V. Jdanov, V.V. Morozov</i> GEOMETRY CONJUGATE ELEMENTS OF ROLLER SCREW MECHANISMS	216
<i>S.A. Ertman, A.A. Fadiushin, D.S. Karmanov, J.A. Ertman</i> THE ESTIMATE OF ORGANIZATION OF ROAD AT THE INTERSECTION WITH HEAVY TRAFFIC	219
<i>S.A. Yamashkin</i> THE STRUCTURE OF REGIONAL GEOPORTAL AS A SYSTEM OF GEODATA PUBLICATION	223
<b>ABSTRACTS</b>	226

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

01.04.02

**Х.Ш. Джураев, К. Комилов, З.С. Норматов**

Таджикский национальный университет,  
физических факультет, кафедра вычислительной машины, системы и сети,  
Душанбе, hayrullo\_58@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В НЕОГРАНИЧЕННОЙ СРЕДЕ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА**

*В работе исследована задача теплопереноса в неограниченной среде при наличии внешнего источника. При заданной начальной температуре, определено её распределение в последующие моменты времени при наличии внешнего источника, методом искусственной гиперболизации.*

Ключевые слова: *теплопроводность, распределение температуры, неустойчивость, параметр регуляризации (характерное время релаксации теплового потока), метод искусственной гиперболизации.*

Исследуем распространение теплового потока в неограниченной среде при наличии внешнего источника. Таким источником тепла может, являться, например, электрический ток. В общем случае  $Q$  является функцией источника зависящей от координат и времени. Тогда уравнение теплопроводности принимает следующий вид:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \beta \Delta T + Q, \quad (1)$$

где  $T$  - температура,  $c$  - теплоёмкость,  $\rho$  - плотность,  $\beta$  - коэффициент теплопроводности.

Уравнение (1) является неоднородным дифференциальным уравнением второго порядка по координатам и времени. В ряде работ [1-3] распространения тепла было изучено посредством решения уравнения (1). Однако оно имеет волновой характер. Поэтому используем метод искусственной гиперболизации, то есть к левой части уравнения (1) прибавляем слагаемое вида  $\alpha \frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial t^2}$ , и приводим уравнение (1) к виду:

$$\alpha \frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial t^2} + \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \beta \Delta T = Q. \quad (2)$$

Это уравнение является неоднородным волновым уравнением. В физических задачах по распределению температуры при наличии источников тепла, интенсивность  $Q$  может быть задана в виде функции температуры, или функции координат и времени.

Из теории неоднородных дифференциальных уравнений следует, что общее решение уравнения (2) можно записать в виде:

$$T = T_1 + T_2, \quad (3)$$

где  $T_1$  - общее решение однородного уравнения, значение которого было определено в работах [4,5]

$$T_{1\alpha}(x,t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} T_0(\xi) \left[ 1 + \alpha \frac{\omega_s(\alpha)}{\sqrt{1-4\alpha\lambda_s^2\beta}} \left( \exp\left(-\frac{\sqrt{1-4\alpha\lambda_s^2\beta}}{\alpha} t\right) - 1 \right) \right] \exp(-\omega_s(\alpha)t) \exp(is(x-\xi)) d\xi; T_2$$

является частным решением уравнения (2), которое следует определить.

Если тепло, подаваемое от источника, распространяется вдоль тела, то уравнение (2) принимает вид:

$$\alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial t^2} + \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} - \beta \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = Q(x,t). \quad (4)$$

Предположим, что функция источника  $Q(x, t)$  имеет вид:

$$Q = Q_0 e^{\gamma(T-T_0)} \tag{5}$$

где  $\gamma$  – постоянный коэффициент,  $T_0$  – начальная температура,  $T$  – искомая температура, тогда уравнение (4) можно записать в виде:

$$\alpha \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} - \beta \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = Q_0 e^{\gamma(T-T_0)} \tag{6}$$

Будем искать частное решение уравнения (6), при заданных начальных условиях:

$$T_{2\alpha}(x, 0) = 0, \quad \left. \frac{\partial T_{2\alpha}}{\partial t} \right|_{t=0} = 0. \tag{7}$$

Тогда уравнение (6) для функции  $T_{2\alpha}(x, t)$  принимает следующий вид:

$$\alpha \frac{\partial^2 T_{2\alpha}(x, t)}{\partial t^2} + \frac{\partial T_{2\alpha}(x, t)}{\partial t} = \beta \frac{\partial^2 T_{2\alpha}(x, t)}{\partial x^2} + Q(T). \tag{8}$$

Решение уравнения (8) будем искать в виде:

$$T_{2\alpha}(x, t) = \int_0^t \Omega_\alpha(x, t, \tau) d\tau. \tag{9}$$

Действительно, по правилу дифференцирования интеграла с переменным верхним пределом по параметру находим

$$\frac{\partial T_{2\alpha}}{\partial t} = \Omega_\alpha(x, t, \tau) \Big|_{t=\tau} + \int_0^t \frac{\partial \Omega_\alpha}{\partial t} d\tau.$$

Воспользовавшись условием (7), получим:

$$\Omega_\alpha(x, t, \tau) \Big|_{t=\tau} = 0. \tag{10}$$

Так как при  $t = 0$   $\left. \frac{\partial T_{2\alpha}}{\partial t} \right|_{t=0} = 0$  и  $\int_0^t \frac{\partial \Omega_\alpha}{\partial t} d\tau = 0$ , тогда выполняется равенство (10).

Следовательно

$$\frac{\partial T_{2\alpha}}{\partial t} = \int_0^t \frac{\partial \Omega_\alpha}{\partial t} d\tau. \tag{11}$$

Из выражений (10) и (11) следует, что  $T_{2\alpha}(x, t)$  удовлетворяет нулевому начальному распределению температуры во всем пространстве. Дифференцируя выражение (11) по  $t$  еще раз, имеем:

$$\frac{\partial^2 T_{2\alpha}}{\partial t^2} = \frac{\partial \Omega_\alpha}{\partial t} \Big|_{t=\tau} + \int_0^t \frac{\partial^2 \Omega_\alpha}{\partial t^2} d\tau. \tag{12}$$

Аналогично, дифференцируя выражение (9) два раза по параметру  $x$ , получим:

$$\frac{\partial^2 T_{2\alpha}}{\partial x^2} = \int_0^t \frac{\partial^2 \Omega_\alpha}{\partial x^2} d\tau. \tag{13}$$

Подставляя в (8) выражения (11) - (13) получим следующее уравнение:

$$\alpha \frac{\partial^2 T_{2\alpha}}{\partial t^2} + \frac{\partial T_{2\alpha}}{\partial t} - \beta \frac{\partial^2 T_{2\alpha}}{\partial x^2} - Q(T) = \alpha \frac{\partial \Omega_\alpha}{\partial t} \Big|_{t=\tau} + \int_0^t \left( \alpha \frac{\partial^2 \Omega_\alpha}{\partial t^2} + \frac{\partial \Omega_\alpha}{\partial t} - \beta \frac{\partial^2 \Omega_\alpha}{\partial x^2} \right) d\tau. \tag{14}$$

Из уравнения (14) следует, что

$$\int_0^t \left( \alpha \frac{\partial^2 \Omega_\alpha}{\partial t^2} + \frac{\partial \Omega_\alpha}{\partial t} - \beta \frac{\partial^2 \Omega_\alpha}{\partial x^2} \right) d\tau = 0, \tag{15}$$

следовательно

$$\alpha \frac{\partial \Omega_\alpha}{\partial t} \Big|_{t=\tau} = Q(T).$$

Общее решение уравнения (15) имеет вид:

$$\Omega_\alpha(x, t, \tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} Q(T(\xi, \tau)) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\sqrt{1-4\alpha\beta\lambda_\xi^2}}{\alpha}(t-\tau)\right) \right] \frac{\exp(\omega_\xi(\alpha)(t-\tau))}{\sqrt{1-4\alpha\beta\lambda_\xi^2}} \exp(-i\xi x) d\xi \text{ или}$$

$$\Omega_{\alpha}(x, t, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \exp(\omega_n(\alpha)(t-\tau)) \left( 1 - \exp\left(-\frac{\sqrt{1-4\alpha\beta\lambda_n^2}}{\alpha}(t-\tau)\right) \right) \frac{1}{\sqrt{1-4\alpha\beta\lambda_n^2}} Q(T_n(x, \tau)) \sin(\lambda_n x).$$

Таким образом, общее решение уравнения (8) имеет вид:

$$T_{\alpha}(x, t) = T_{1\alpha}(x, t) + \int_0^t \Omega_{\alpha}(x, t, \tau) d\tau = T_{1\alpha}(x, t) + \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} Q(T(\xi, \tau)) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\sqrt{1-4\alpha\beta\lambda_{\xi}^2}}{\alpha}(t-\tau)\right) \right] \frac{\exp(\omega_{\xi}(\alpha)(t-\tau))}{\sqrt{1-4\alpha\beta\lambda_{\xi}^2}} \exp(-i\xi x) d\xi d\tau. \quad (16)$$

Для более детального анализа распространения теплового потока в неограниченной среде при наличии внешнего источника необходимо проведение численных расчётов. Для этого используем выражение (16). В качестве примера для проведения численных расчётов выбираем титановый сплав и алюминиевый сплав. На рис. 1-2 представлены результаты численных расчетов зависимости температуры от длины  $x$  образца при различных значениях времени распространения тепла.

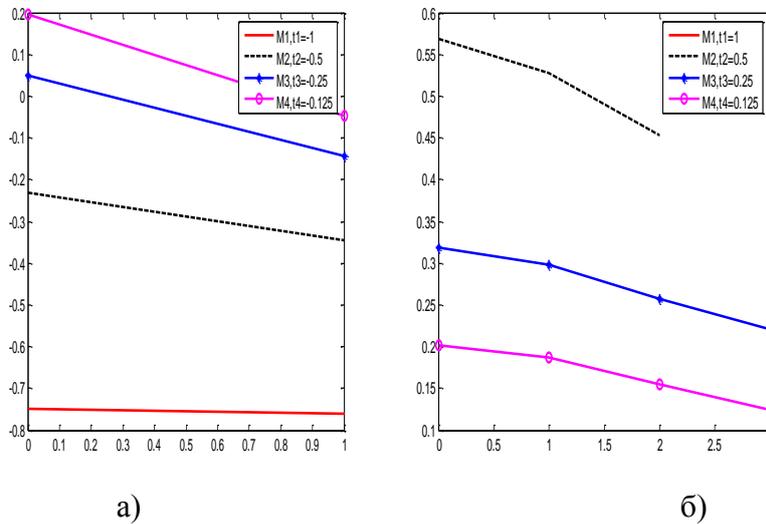


Рис.1. Изменение распределения температуры в алюминиевом сплаве от длины  $x$  при различных значениях времени  $t$ . а) время  $t < 0$ ; б) время  $t > 0$ .  
 Параметры:  $\alpha = 5 * 10^{-12}$  с.;  $\beta = 0,733$  Вт/(м.К);  $T_0 = x * (l - x)$ ,  $l = 1$ .

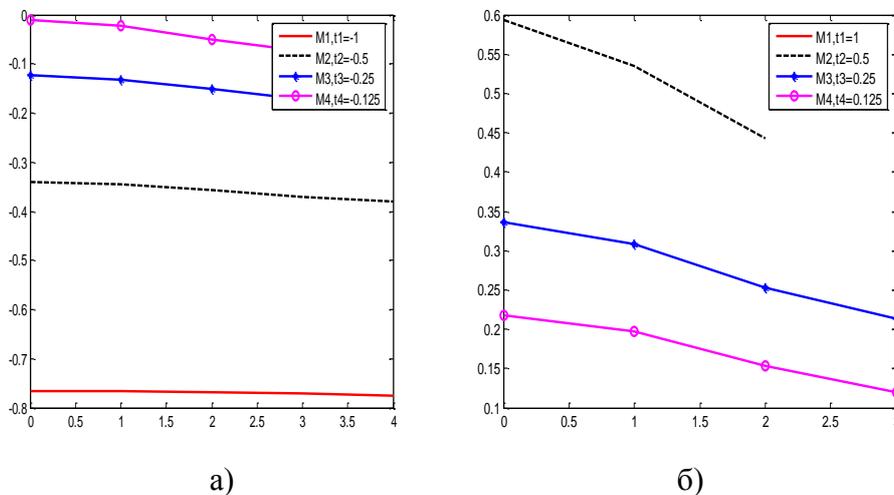


Рис.2. Изменение распределения температуры в титановом сплаве от длины  $x$  при различных значениях времени  $t$ . а) время  $t < 0$ ; б) время  $t > 0$ . Параметры:  $\alpha = 5 * 10^{-12}$  с.;  $\beta = 16,6$

$$Вт/(м.К); T_0 = x*(l-x), \quad l = \pi.$$

Согласно полученным результатам по мере возрастания длины тела температура уменьшается экспоненциально.

#### **Список литературы**

1. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. /А.В. Лыков –М.: Высшая школа, 1966, -600 с.
2. *Ландау Л.Д.* Гидродинамика. Теоретическая физика. Т. VI. 3-е изд. /Л.Д.Ландау, Е.М. Лифшиц -М.: Наука, 1986, -736 с.
3. *Франк-Каменецкий Д.А.* Диффузия и теплопередача в химической кинетике. /Д.А. Франк Каменецкий –М.: Наука, 1987, -502 с.
4. *Комилов К.* Исследование теплопроводности в неограниченных средах методом искусственной гиперболизации / К.Комилов, Х.Ш. Джураев, З.С. Норматов //Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2015, 1/4 (168). – с.75-82.
5. *Джураев Х.* Исследование теплопроводности в ограниченной среде методом искусственной гиперболизации / Х.Ш. Джураев, К.Комилов, З.С. Норматов //Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2015, 1/5 (188). – с.53-60.

01.04.14

**<sup>1</sup>Е.И. Дискаева, <sup>1</sup>О.В. Вечер, <sup>2</sup>А.А. Хащенко**<sup>1</sup>Ставропольский государственный медицинский университет,  
кафедра физики, математики и биотехнологии<sup>2</sup>Северо-Кавказский федеральный университет,  
кафедра теплогазоснабжения и экспертизы недвижимости  
Ставрополь, vecher.olga@mail.ru**ГЕНЕРАЦИЯ ПАРА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА РАСПЛАВ – ЖИДКОСТЬ**

*Рассматриваются вопросы зарождения и развития центров кипения на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. Подробно изучен случай двухслойной системы металлический расплав – жидкость. Показано, что в основе процесса образования центров кипения на границе раздела жидкости и расплава в первую очередь лежат явления переноса.*

Ключевые слова: *кипение, несмешивающиеся жидкости, пограничный слой, центр парообразования.*

Вопросами исследования процесса пузырькового кипения на различных поверхностях занимались как отечественные, так и зарубежные ученые. Большой вклад в изучения этого вопроса внесли В.И.Голубинский, Д.А.Лабунцов, В.А.Григорьев, Е. И. Несис, и многие другие. В литературе значительное число работ посвящено изучению образования и развития действующих центров парообразования. Однако, несмотря на большое количество работ по исследованию парообразования при кипении жидкостей на твердых поверхностях, характеристики процесса кипения жидкостей на жидких поверхностях нагрева изучены недостаточно. Результаты экспериментальных исследований носят частный характер, что не позволяет сделать полный анализ особенностей изучаемых процессов. В связи с этим, представляется актуальным теоретический анализ процесса генерации пара именно для жидких поверхностей нагрева, т.е. в многослойных системах.

В основе представлений о кинетике процесса зародышеобразования вообще и кинетике процесса кипения в частности находится идея о том, что жидкость может находиться в перегретом метастабильном состоянии из-за того, что для ее перехода в устойчивое парообразное состояние необходимо преодоление некоторого активационного барьера. Существование этого барьера обусловлено действием поверхностных сил [1,2]. Существование метастабильных состояний связано с затрудненностью начальной стадии фазового перехода первого рода. Фазовый переход начинается в отдельных «точках» однородной системы. Эти жизнеспособные зародыши могут быть гетерогенными, т.е. образованными путем загрязнения системы (растворенный в жидкости газ, газонасыщенные твердые частицы или участки стенок сосуда, плохо смачиваемые включения, трещины и т.д.). А могут возникать вследствие флуктуаций при тепловом движении коллектива взаимодействующих частиц жидкости (гомогенное зародышеобразование) [2,3]. В перегретой жидкости вследствие флуктуаций плотности могут появляться скопления паровой фазы различных размеров. С увеличением перегрева увеличивается вероятность возникновения относительно более крупных скоплений пара. Для каждого метастабильного состояния жидкости существует определенное минимальное значение размера флуктуации, приводящей к образованию и росту паровой фазы [1, 2].

Большой интерес представляет процесс образования паровых пузырьков на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. Центрами парообразования могут служить: во-первых – частицы загрязнений, сохранившиеся на поверхности менее летучей жидкости, во-вторых – всегда присутствующее в жидкости в растворенном виде некоторое количество газов; в-третьих: образующийся при непосредственном контакте двух несмешивающихся жидкостей некий промежуточный слой со специфическими свойствами [4].

В отличие от описанного авторами [5] процесса, когда процесс парообразования в системе двух несмешивающихся жидкостей начнется при температурах, меньших температуры объемного кипения каждой из компонент, системе расплав – жидкость требуется определенный перегрев. Это связано со значительным различием в их свойствах, в том числе и температурах кипения при заданном объеме.

Пограничный слой на границе раздела расплав – жидкость может оказаться как активным, так и пассивным к образованию центров кипения. Например, на поверхности раздела ртуть – вода центры кипения при малых значениях перегрева практически не возникают, слабое пузыреобразование имеет место лишь при значительных температурных напорах. С другой стороны, даже при небольших перегревах эффективно протекает процесс образования паровых пузырьков для системы олово – глицерин или олово – парафин. Поэтому, с нашей точки зрения, в основе процесса образования центров кипения на границе раздела жидкости и расплава в первую очередь лежат явления переноса. Действительно, поскольку мы рассматриваем два вещества различной химической природы, а на границе раздела имеют место скачок концентраций и скачок химического потенциала, то, в результате неравновесности системы, возможен процесс диффузии.

Рассмотрим систему, изображенную на рисунке 1. Молекулы жидкости А будут проникать в расплав В. Согласно теории диффузии, должен осуществляться и переход молекул расплава В в жидкость А. Но так как плотность расплава значительно превышает плотность жидкости, то молекулы В под действием гравитации будут удерживаться вблизи границы раздела XY. В то же время силы гравитации способствуют проникновению молекул А более легкой жидкости в расплав В. Следовательно, коэффициенты диффузии для расплава и жидкости будут различны в этом случае проявляется действие эффекта Киркендала. Результатом этого действия будет смещение границы раздела расплав – жидкость вверх. Более летучая компонента системы будет проникать в менее летучую в направлении увеличения температурного градиента.

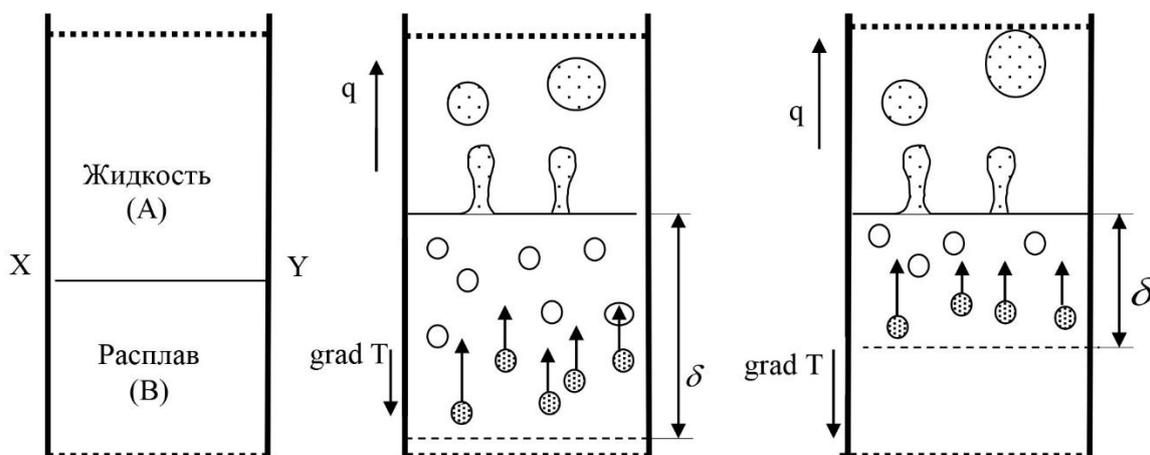


Рис. 1 – Механизм образования центров кипения на границе раздела жидкости и расплава

С другой стороны, увеличение температурного градиента внутри расплава будет препятствовать этому проникновению. Поэтому, при достаточно больших температурных напорах, диффузное проникновение молекул жидкости в расплав становится невозможным.

Как описано авторами [6], в растворе может происходить группировка однородных молекул с образованием амикроскопических капель чистых жидкостей, т.е. структура раствора будет становиться микрогетерогенной. Энергия взаимодействия молекул в пограничном между расплавом и жидкостью слое зависит от количества молекул жидкости, окружающих молекулу расплава и от их взаимного расположения. С другой стороны, не исключается и процесс образования пузырей за счет появления газовой фазы как результата разложения жидкости [4]. Амикроскопические капли жидкости, двигаясь в толще расплава в сторону увеличения температуры, при определенном ее значении подвергаются реакции разложения.

Таким образом, пузыреобразование в области раствора происходит либо за счет разложения амикроскопических капель жидкости, либо вследствие их перехода в парообразное состояние под действием высоких температур.

В некоторых случаях диффузное перемешивание жидкостей приводит к образованию новой фазы. Известно, что если валентные электроны контактирующих веществ А и В находятся в одинаковых  $s$  и  $p$  состояниях, то может образоваться ионно-ковалентная связь. В результате образуется интерметаллическое соединение полупроводникового типа или интерметаллическое соединение с металлической связью и т.п. Возникшая на границе раздела новая фаза существенно замедляет диффузию, что приводит к невозможности осуществления процесса пузыреобразования.

Экспериментальное исследование процесса пузырькового кипения воды на поверхностях расплавов Вуда, Розе и Липовица показали, что при наличии минимального температурного напора в системе расплав – жидкость начинается дегазация. В расплаве она осуществляется путем образования газовых полостей в кольцевом зазоре между расплавом и стенками сосуда. При повышении температурного напора вся поверхность расплава покрывается множеством пузырьков. Далее, с увеличением температуры поверхности расплава, его поверхность очищается от паровых пузырей и начинается процесс всплывания паровых полостей. Образование этих полостей связано, по-видимому, с наличием в толще расплава пузырьков воздуха. Наконец, при достаточно высоких температурных напорах, начинается процесс пузырькового кипения жидкости на поверхности расплава. Для системы расплав Вуда – вода началу пузырькового кипения соответствует температурный напор  $\Delta T = 6^{\circ}C$ , для системы расплав Липовица – вода:  $\Delta T = 6^{\circ}C$ , для системы расплав Розе – вода:  $\Delta T = 4^{\circ}C$ .

Подобные различия определяются особенностями состава сплавов и межмолекулярного взаимодействия в пограничном слое. Дальнейшее исследование данного вопроса представляет несомненный интерес, как с теоретической, так и с практической точки зрения.

#### **Список литературы**

1. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении. Киев: Наукова думка, 1980. 316 с.
2. Несис Е.И. Кипение жидкостей. М.: Наука, 1973. 279 с.
3. Тонг Л. Теплоотдача при кипении и двухфазное течение. М.: Мир, 1969. 265 с.
4. Вечер, Ольга Владимировна. О процессе генерации пара на границе раздела двух жидких фаз в условиях естественной конвекции: дис. ... канд. Физико-математических наук: 01.04.14 / О.В. Вечер.- Ставрополь, 2006. - 117 с.
5. Пименова А.В., Голдобин Д.С. Кипение на границе двух несмешивающихся жидкостей ниже температуры объемного кипения каждой из компонент // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2014. Т 146. Вып. 1. С. 105-115.
6. Есина З.Н., Мурашкин Н.Н., Корчуганова М.Р. Модель фазового равновесия жидкость – пар при постоянной температуре по данным о плотности раствора // Вестник КемГУ. 2013. №2 (54) Т. 1. С. 67-71.

01.04.14

Д.А. Кудрявцев, В.А. Рыков, Е.Г. Селина, Г.А. Карпов

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru

### МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОГО НЕАНАЛИТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ

Рассмотрен метод построения единого уравнения состояния, удовлетворяющего требованиям масштабной теории критических явлений. В структуру уравнения состояния введена новая кроссоверная функция, обеспечивающая плавный переход от области сильно развитых флуктуаций плотности в область разряженного газа. Показано, что предложенное уравнение состояния передает термическую и калорическую поверхности диоксида углерода с малой погрешностью в широком диапазоне параметров состояния, в том числе и в асимптотической окрестности критической точки.

Ключевые слова: уравнение состояния, кроссоверная функция, гипотеза Бенедика, метод псевдокритических точек, диоксид углерода.

При описании термодинамической поверхности широкое распространение получили уравнения состояния [1, 2], разработанные в рамках метода псевдокритических точек [3], который получил физическое обоснование в работе [4]. В основе метода [3] лежит гипотеза Бенедика, согласно которой характер поведения ряда термодинамических функций (например, изохорной теплоемкости  $C_v$ , коэффициента изотермической сжимаемости  $K_T$ , изобарной теплоемкости  $C_p$ ) на критической и околоскритических изохорах определяется похожими степенными зависимостями:

$$X = A \left( \frac{T - T_{op}(\rho)}{T_{op}(\rho)} \right)^{-\chi}, \tag{1}$$

где  $A$  – амплитуда;  $\chi$  – критический индекс, соответствующий свойству  $X$  (например, если  $X = C_v$  то  $\chi = \alpha$ );  $T_{op}(\rho)$  – опорная кривая, причем  $T_{op}(\rho_c) = T_c$ ;  $\rho$  – плотность;  $T$  – абсолютная температура;  $T_c$  – критическая температура;  $\rho_c$  – критическая плотность.

Уравнения состояния [1, 2] в различных модификациях использованы для расчета точных термодинамических таблиц аммиака, хладагентов R218 и R23 [5, 6], которые аттестованы в качестве таблиц стандартных справочных данных (ССД). Наиболее простая структура единого уравнения состояния [1, 2] имеет вид зависимости:

$$F(\rho, T) = RT_c f(\omega) \sum_{i=0}^{n_1} u_i |\Delta\rho|^{\delta+1} a_0(x) + F_0(T) + RT \ln \rho + RT\omega \sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=0}^{j_3(i)} C_{ij} \tau_1^j (\Delta\rho)^i. \tag{2}$$

Здесь  $R$  – газовая постоянная;  $t = T / T_c$ ;  $\tau = t - 1$ ;  $\tau_1 = 1 / t - 1$ ;  $\omega = \rho / \rho_c$ ;  $\Delta\rho = \omega - 1$ ;  $f(\omega)$  – кроссоверная функция;  $F_0(T)$  – идеально-газовая составляющая свободной энергии;  $x = \tau / |\Delta\rho|^{1/\beta}$  – масштабная переменная;  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $\delta$  – критические индексы изотермической сжимаемости, линии насыщения и критической изотермы, соответственно.

Кроссоверная функция  $f(\omega)$  задается выражением:

$$f(\omega) = \omega^m \exp\left(-a |\Delta\rho|^2 / \omega^n\right). \tag{3}$$

При выборе параметров  $m \geq 1$  и  $n > 0$  кроссоверная функция (3) обеспечивает в области

малых плотностей и давлений не только переход уравнения (2) в уравнение состояния Менделеева-Клапейрона, но и качественно верно передает второй и третий вириальные коэффициенты.

Масштабная функция  $a_0(x)$ , входящая в фундаментальное уравнение состояния (2), имеет структуру, предложенную в работе [7]:

$$a_0(x) = A \left[ (x + x_1)^{2-\alpha} - \frac{x_1}{x_2} (x + x_2)^{2-\alpha} \right] + B(x + x_3)^\gamma + C. \quad (4)$$

Для нахождения параметров  $A$ ,  $B$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  масштабной функции  $a_0(x)$  используются только критические индексы, имеющие универсальные значения, и индивидуальный параметр  $x_0$ , который равен величине  $x$  на линии насыщения. Значение постоянной  $C$  в (4) устанавливается на основе равенств [7]:

$$h(x = -x_0) = (2 - \alpha)a_0(x = -x_0) + x_0 a_0'(x = -x_0) = 0. \quad (5)$$

Коэффициенты  $C_{ij}$  и  $u_i$ , линейно входящие в структуру уравнения (2), определяются методом наименьших квадратов путем нахождения минимума следующего функционала:

$$\Phi = \Phi_p + \Phi_{C_v} + \Phi_{p_s(T_s, \rho^-)} + \Phi_{p_s(T_s, \rho^+)} + \Phi_{\mu^+ - \mu^-} + \Phi_B. \quad (6)$$

Здесь  $\Phi_p$ ,  $\Phi_{C_v}$ ,  $\Phi_{p_s(T_s, \rho^-)}$  и  $\Phi_{p_s(T_s, \rho^+)}$ ,  $\Phi_B$  – слагаемые функционала (6), отвечающие за точность соответственно термических данных в однофазной и метастабильной областях, изохорной теплоемкости  $C_v$ , давления и плотности на линии насыщения, второго вириального коэффициента  $B(T)$ . Функционал  $\Phi_{\mu^+ - \mu^-}$  «отвечает» за выполнение требования равенства химических потенциалов на линии насыщения.

В данной работе для нахождения коэффициентов  $C_{ij}$  и  $u_i$  использовался массив табличных значений  $p$ – $T$ – $\rho$ ,  $C_v$ ,  $p_s$ – $T_s$ – $\rho^\pm$  и  $B(T)$ , рассчитанный на основе фундаментального уравнения [8]. Значения  $C_v$  для критической области определены на основе кроссоверного уравнения Киселева, рабочая область которого определена с учетом результатов работы [9].

Массив информации о согласованных значениях  $(\mu^\pm, T_s, \rho^\pm)$  рассчитывался на основе уравнения  $\mu = (\partial p F / \partial \rho)_T$  и взаимно согласованной системы уравнений, описывающих линию фазового равновесия от тройной точки до критической точки [10]. Заметим, что в окрестности критической точки линия насыщения, использованная в данной работе, описывает криволинейный диаметр в соответствии с моделью Вегнера [11].

Рабочая область (см. рис. 1–2) фундаментального уравнения (2) составляет: по температуре от 200 К до 1000 К и по давлению до 30 МПа. При этом, как показано на рис. 3, с малой погрешностью во всем рабочем диапазоне передаются не только термические данные, и данные об изохорной теплоемкости.

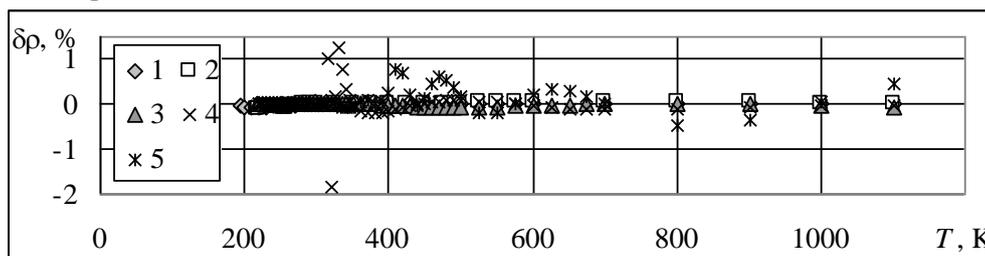


Рис. 1. Отклонения плотности, рассчитанной по уравнению (2), от данных [8] на изобарах: 1 – 1 бар; 2 – 5 бар; 3 – 20 бар; 4 – 100 бар; 5 – 300 бар

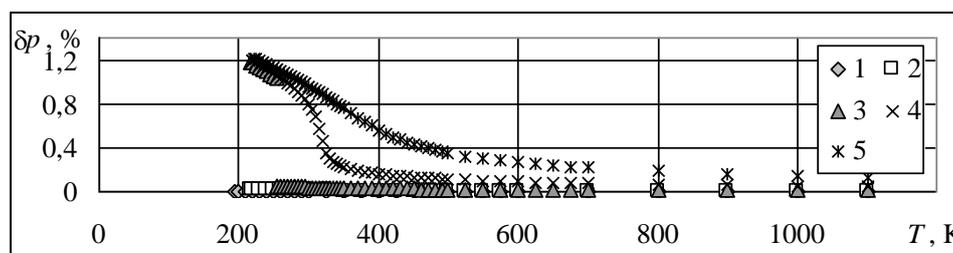


Рис. 2. Отклонения давления в однофазной области, рассчитанного по (2), от данных [8] на изобарах: 1 – 1 бар; 2 – 5 бар; 3 – 20 бар; 4 – 100 бар; 5 – 300 бар

В заключение заметим, что рассмотренное в работе фундаментальное уравнение состояния (2) с кроссоверной функцией (3), в отличие от фундаментального уравнения Спана и Вагнера [8], в соответствии с требованиями масштабной теории критических явлений передает характерные особенности поведения термодинамических свойств в окрестности критической точки и в тоже время не уступает уравнению [8] при описании регулярной части термодинамической поверхности.

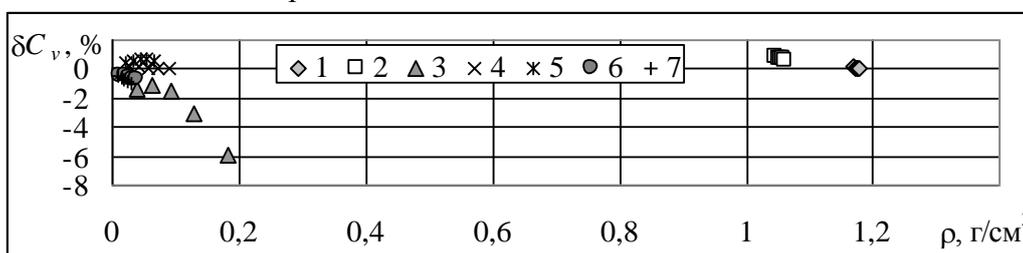


Рис. 3. Отклонения изохорной теплоемкости, рассчитанной по уравнению (2), от данных [8] на изотермах: 1 – 220 К; 2 – 250 К; 3 – 300 К; 4 – 400 К; 5 – 500 К; 6 – 800 К; 7 – 1100 К

**Список литературы.**

1. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Демина Л.Ю. Единое уравнение состояния R717, учитывающее особенности критической области // Вестник Международной академии холода. 2009. № 4. С. 29–32.
2. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Курова Л.В. Метод построения фундаментального уравнения состояния, учитывающего особенности критической области // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 1. С. 5.
3. Rykov V.A., Varfolomeeva G.B. Method of determining a structural form of the free energy satisfying the requirements of the scaling hypothesis // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1985. Т. 48. № 3. С. 341-345.
4. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А. Физическое обоснование метода псевдокритических точек // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 2. С. 44–47.
5. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Демина Л.Ю. Единое уравнение состояния R717, учитывающее особенности критической области // Вестник Международной академии холода. 2009. № 4. С. 29–32.
6. Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А., Рыков С.В. Единое неаналитическое уравнение состояния перфторпропана, удовлетворяющее масштабной теории критических явлений // Вестник Международной академии холода. 2013. № 3. С. 22–26.
7. Рыков А.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А. Метод расчета параметров масштабной функции свободной энергии // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 50–53.
8. Span R., Wagner W. // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1996. Vol. 25. № 6. С. 1509–1596.
9. Рыков С.В., Багаутдинова А.Ш. Численный анализ кроссоверного уравнения состояния // Холодильная техника и кондиционирование. 2009. № 1. С. 24–30.
10. Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Абдулагатов И.М., Рыков В.А., Попов П.В. // Вестник МЭИ. 2012. № 2. С. 34-43.
11. Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Popov P.V., Rykov V.A., Frenkel M.L. Scaling models of thermodynamic properties on the coexistence curve: problems and some solutions // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2012. Т. 6. № 8. С. 912-931.

01.01.05

**С.Н. Панарина к.п.н., А.В. Сапожникова к.т.н., Н.Л. Яковлева**

ФГБОУ ВПО Тюменский государственный университет,  
Институт математики и компьютерных наук,  
кафедра математического анализа и теории функций, Тюмень, sofa\_2000@mail.ru

### **ПРИМЕНЕНИЕ ЭТАЛОННЫХ ВЫБОРОК В СТАТИСТИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ**

*В статье рассматривается возможность применения набора квантилей, как априорной информации о распределении, для нахождения оценок параметров и проверки статистических гипотез. Предложенный метод изложен на примере исследования нормального распределения.*

Ключевые слова: *квантиль, эталонная выборка, оценивание параметров, статистические гипотезы, мощность критерия.*

Рассмотрим метод статистического оценивания параметров и проверки статистических гипотез, основанный на использовании эталонных выборок.

Пусть  $F(x)$  функция распределения непрерывной случайной величины.

Эталонной выборкой из данного распределения назовем набор квантилей уровней  $q_i$ :

$$y_i = F^{-1}(q_i), \quad i = 1, \dots, n.$$

В качестве  $q_i$  рассматриваем уровни  $q_i = \frac{2i-1}{2n}$ , как решение вариационной задачи минимизации функции

$$\rho(x, y) = \sup_{-\infty < t < \infty} \|x(t) - y(t)\|^2$$

в классе неубывающих ступенчатых функций, имеющих  $n$  скачков.

Эмпирическая функция распределения, построенная по данным квантилям, наилучшим образом в супметрике приближает теоретическую функцию распределения.

Оценим параметры распределения, используя эталонные выборки.

Для функции распределения  $F(x)$  строим эталонную выборку.

В качестве оценки параметров берем величину, доставляющую минимум функции

$$L(x, y, \theta) = \sum_{i=1}^n (y_i - x(i))^2$$

где  $x(i)$ -ый член вариационного ряда, составленного из данных наблюдений.

Дифференцируя  $L(x, y, \theta)$  по параметру и приравнивая к нулю производные, приходим к одному уравнению или к системе уравнений:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0, \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = 0, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial L}{\partial \theta_k} = 0. \end{array} \right.$$

в случае одного параметра или  $k$ -мерного параметра соответственно.

Решив уравнение (систему уравнений) относительно параметра, получим оценку неизвестного параметра.

Рассмотрим некоторые примеры оценивания параметров по методу эталонных выборок.

Пример 1. Равномерное распределение.

Рассмотрим случайную величину  $\xi$ , имеющую равномерное распределение на отрезке  $[a, b]$ . Тогда формула для построения эталонной выборки будет иметь вид

$$y_i = a + (b - a)q_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Оценим параметры равномерного распределения по данным выборки  $x_1, \dots, x_n$ . Проранжируем выборку  $x_{(1)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ , каждый член полученного вариационного ряда является порядковой статистикой. Строим функцию

$$L(x, y, \theta) = \sum_{i=1}^n (a + (b - a)q_i - x_{(i)})^2$$

и дифференцируем по  $a$  и  $b$ . Приравнявая полученные производные к нулю и решая систему уравнений, найдем искомые оценки

$$a^* = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \sum_{i=1}^n q_i x_{(i)} - \sum_{i=1}^n x_{(i)} \sum_{i=1}^n q_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n q_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n q_i^2},$$

$$b^* = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \sum_{i=1}^n q_i x_{(i)} - n \sum_{i=1}^n q_i x_{(i)} + \sum_{i=1}^n x_{(i)} \sum_{i=1}^n q_i - \sum_{i=1}^n x_{(i)} \sum_{i=1}^n q_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n q_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n q_i^2}.$$

Пример 2. Нормальное распределение.

Пусть случайная величина  $\xi$  распределена нормально с параметрами распределения  $a$  и  $\sigma$ .

Эталонные выборки объема  $n$  для нормального распределения определим как

$$y_i = \sigma z_i + a, \quad i = 1, \dots, n,$$

где  $z_i$  – эталонные выборки для стандартного нормального распределения. Используя ранжированную выборку  $x_{(1)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ , строим функцию

$$L(x, a, \sigma) = \sum_{i=1}^n (a + \sigma z_i - x_{(i)})^2.$$

Дифференцируя по параметрам и приравнявая к нулю производные, получим систему:

$$\begin{cases} \sigma \sum_{i=1}^n z_i^2 + a \sum_{i=1}^n z_i - \sum_{i=1}^n x_{(i)} z_i = 0, \\ \sigma \sum_{i=1}^n z_i + na = \sum_{i=1}^n x_{(i)}. \end{cases}$$

Учитывая, что  $\sum_{i=1}^n z_i = 0$ , искомые оценки параметров нормального распределения будут равны:

$$a^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{(i)}, \quad \sigma^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_{(i)} z_i}{\sum_{i=1}^n z_i^2}.$$

Рассмотрим теперь применение эталонных выборок для проверки статистических гипотез

на примере проверки гипотез о параметрах нормального распределения.

Пусть дана выборка из нормальной совокупности  $x_1, \dots, x_n$ , требуется проверить гипотезу  $H_0: \sigma = \sigma_0$ . Поскольку статистическая оценка  $\sigma$ , найденная методом эталонных выборок, от параметра  $a$  не зависит, варианты гипотез, когда параметр  $a$  известен или неизвестен, не различаем.

Учитывая, что  $x_i = a + \sigma x_i^\circ$ , где  $x_i^\circ \in N(0,1)$ ,  $i=1, \dots, n$ , получим следующую оценку параметра  $\sigma$ , выраженную через оценку среднего квадратического отклонения стандартного нормального распределения

$$\sigma^* = \sigma \frac{\sum_{i=1}^n x_{(i)}^\circ z_i}{\sum_{i=1}^n z_i^2}.$$

Построим для  $\sigma_0$   $(1-\alpha)100\%$  доверительный интервал с уровнем значимости  $\alpha$ , следующим образом: сначала строим доверительный интервал для параметра  $\sigma$  стандартного нормального распределения, для этого генерируем  $N$  выборок объема  $n$  из  $N(0,1)$ . Для каждой из этих выборок находим оценку параметра  $\sigma$  методом эталонных выборок, упорядочив которые, получим  $\sigma_1^* \leq \dots \leq \sigma_N^*$ . Отбросив по  $\frac{\alpha}{2}$  штук слева и справа, получим  $(1-\alpha)100\%$  доверительный интервал для  $\sigma=1$ . Умножив концы полученного интервала на гипотетическое значение  $\sigma_0$ , нашли  $(1-\alpha)100\%$  доверительный интервал для  $\sigma_0$ .

По исходной выборке из нормальной совокупности определяем статистическую оценку  $\sigma^*$ . Если  $\sigma^*$  входит в доверительный интервал для гипотетического  $\sigma_0$ , то гипотеза не противоречит опытным данным, в противном случае гипотезу отвергаем.

Мощность рассмотренного выше критерия определим на примере построения 95% доверительного интервала. Для этого реализуем следующий алгоритм, состоящий из двух частей.

Строим доверительный интервал для среднего квадратического отклонения стандартного нормального закона. Выдвигаем гипотезы:  $\sigma_0^{(1)} = 0.2$ ,  $\sigma_0^{(2)} = 0.3, \dots, \sigma_0^{(9)} = 1$ . Генерируем  $M$  штук выборок из  $N(0,1)$  различных объемов  $n$  ( $n=3, \dots, 100$ ). Для каждой из выборок считаем оценку  $\sigma^*$  методом эталонных выборок. Если какая-то оценка не попадает в доверительный интервал для  $\sigma_0$ , то соответствующую гипотезу отклоняем. Для каждой гипотезы  $\sigma_0^{(j)}$ , подсчитав число выборок в которых рассматриваемая гипотеза была отклонена и поделив на их количество  $M$ , получим вероятность отклонения  $j$ -ой гипотезы построенным критерием,  $j=1, \dots, 9$ .

Анализ полученных результатов показал, что мощность критерия возрастает с увеличением объема выборки, и уже при  $n=20$  отклонение от истинного значения параметра равно 0.5.

Рассмотрим теперь гипотезу о значении параметра  $a$  нормального распределения  $H_0: a = a_0$ ,  $\sigma$  известно, на уровне значимости  $\alpha$ . Перепишем оценку  $a^*$  в виде

$$a^* = a + \frac{\sigma}{n} \sum_{i=1}^n x_{(i)}^\circ.$$

Тогда  $a^*$  имеет нормальное распределение с параметрами  $a$  и  $\sigma/\sqrt{n}$ . В этом случае доверительный интервал строится так же, как и для метода максимального правдоподобия.

В случае, когда параметр  $\sigma$  неизвестен, выразив  $\sigma = \sigma^* \frac{\sum_{i=1}^n z_i^2}{\sum_{i=1}^n x_{(i)}^{\circ} z_i}$ , определим

$$a^* = a + \frac{\sigma^*}{\sqrt{n}} \frac{\sum_{i=1}^n x_{(i)}^{\circ} \sum_{i=1}^n z_i^2}{\sum_{i=1}^n x_{(i)}^{\circ} z_i} = a + \frac{\sigma^*}{\sqrt{n}} \zeta_n,$$

где  $\zeta_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_{(i)}^{\circ} \sum_{i=1}^n z_i^2}{\sqrt{n} \sum_{i=1}^n x_{(i)}^{\circ} z_i}$  – некоторая новая случайная величина, функция распределения

которой  $F_{\zeta_n}(t) = \int \dots \int \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i^2\right) dx_1 \dots dx_n$ .

По численным значениям функции распределения  $F_{\zeta_n}(t)$  находим квантили уровней  $\frac{\alpha}{2}$  и  $1 - \frac{\alpha}{2}$ , обозначив их  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Затем по выборке оцениваем параметр  $a^*$ . Для истинного значения параметра  $a$  получаем доверительный интервал:

$$\frac{\sigma^* \beta_1}{\sqrt{n}} + a^* < a < \frac{\sigma^* \beta_2}{\sqrt{n}} + a^*.$$

Если гипотетическое значение  $a_0$  попадает в построенный интервал, то гипотеза не противоречит выборочным данным.

Определение мощностных свойств построенного критерия аналогично определению мощности критерия проверки гипотезы о параметре  $\sigma$  нормального распределения.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что применение эталонных выборок, как априорной информации о распределении, дает достаточно точные результаты и не уступает по своим мощностным свойствам методу максимального правдоподобия.

**Список литературы**

1. Боровков А.А. Математическая статистика: оценка параметров и проверка гипотез. – М.: Наука, 1984. – 472 с.
2. Кендалл М., Стюарт А. Статистические выводы и связи. – М.: Наука, Физматлит, Т.2, 1973. – 899 с.

01.04.14

**<sup>1</sup>С.В. Рыков, <sup>1</sup>И.В. Кудрявцева, <sup>1</sup>В.А. Рыков, <sup>2</sup>А.В. Свердлов**<sup>1</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru<sup>2</sup>Air Comfort & Fire Safety Europe, Москва**МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ**

На основе феноменологической теории критической точки обоснована структура единого уравнения состояния, удовлетворяющего масштабной теории критических явлений. В рамках предложенного подхода разработаны единое уравнение состояния аргона в диапазоне температур от 80 К до 1000 К и единое уравнение состояния хладона R32 в диапазоне температур от 136 К до 420 К. Показано, что использование фактора ацентричности позволяет в принципе на основе этих уравнений прогнозировать равновесные свойства индивидуальных веществ в широкой области параметров состояния, включая окрестность критической точки.

Ключевые слова: критические явления, масштабная теория, фактор ацентричности, критические индексы, уравнения состояния, дифторметан, аргон.

В работе [1] обсуждается проблема прогнозирования равновесных свойств чистых веществ в широкой области параметров состояния, включая область сильно развитых флуктуаций плотности. Однако использование малоконстантных уравнений состояния в принципе не позволяет добиться приемлемой точности, что обусловлено в первую очередь низкими расчетными характеристиками исходных уравнений состояния. Поэтому в данной работе в основу подхода положено многоконстантное уравнение состояния, учитывающее особенности поведения вещества в околкритической области [2, 3].

Термическое уравнение состояния, рассчитанное на основе свободной энергии Гельмгольца [4] по формуле  $p = \rho^2 (\partial F / \partial \rho)_T$  имеет следующую структуру:

$$Z(\rho, T) = Z_{\text{рез}}(\rho, T) + Z_{\text{нр}}(\rho, T), \quad (1)$$

где  $Z(\rho, T) = p / (RT\rho)$  – сжимаемость;  $p$  – давление;  $\rho$  – плотность;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

Регулярная составляющая сжимаемости  $Z_{\text{рез}}(\rho, T)$  в (1) имеет вид [5]:

$$Z_{\text{рез}}(\rho, T) = 1 + y_1 \sigma^2 + y_2 \sigma + D_3 (y_3 \sigma^2 + y_4 \sigma) + D_4 (y_5 \sigma^2 + y_6 \sigma) + \sigma \sum_{i=0}^{14} \sum_{j=0}^7 C_{i,j} \tau_1^j \Delta \rho^{i-1} (i\sigma + \Delta \rho) + D_1 \sigma \tau_1 (2\sigma - 3) + D_2 \sigma^2 \tau_1 (3\sigma - 4), \quad (2)$$

где  $\sigma = \rho / \rho_c$ ;  $\rho_c$  – критическая плотность;  $\Delta \rho = \sigma - 1$ ;  $\tau_1 = T_c / T - 1$ ;  $T_c$  – критическая температура;  $D_1, D_2, D_3, D_4, C_{i,j}$  – постоянные коэффициенты; функции  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$ , и  $y_6$  описываются зависимостями:

$$y_1 = (5,8 - 4,4 \cdot \Delta \rho) / 12 + 0,15 \cdot (\Delta \rho)^2; \quad (3)$$

$$y_2 = (15,4 + 5,8 \Delta \rho - 2,2 (\Delta \rho)^2) / 12 + 0,05 (\Delta \rho)^3; \quad (4)$$

$$y_3 = -4 + 6 \cdot \Delta \rho - 6 \cdot (\Delta \rho)^2 + 4 \cdot (\Delta \rho)^3; \quad (5)$$

$$y_4 = 5 - 4 \Delta \rho + 3 (\Delta \rho)^2 - 2 (\Delta \rho)^3 + (\Delta \rho)^4; \quad (6)$$

$$y_5 = -3 + 4 \cdot \Delta \rho - 3 \cdot (\Delta \rho)^2 + 5 \cdot (\Delta \rho)^4; \quad (7)$$

$$y_6 = 4 - 3 \Delta \rho + 2 (\Delta \rho)^2 - (\Delta \rho)^3 + (\Delta \rho)^5. \quad (8)$$

Функции (3)–(8) заданы таким образом, чтобы в критической точке уравнение состояния

(1) удовлетворяло равенствам ( $n = 1, \dots, 4$ ):

$$\left( \frac{\partial^n p}{\partial \rho^n} \right) \Big|_{T=\rho_c, T=T_c} = 0. \tag{9}$$

Нерегулярная составляющая сжимаемости  $Z_{np}(\rho, T)$  в (1) имеет вид:

$$Z_{pez}(\rho, T) = \pm u \sigma |\Delta \rho|^{\frac{1-\alpha}{\beta}} t^{-2} \left( \phi(\sigma, t) |\Delta \rho|^{1/\beta-1} \left( h(x) + \phi'(\sigma, t) |\Delta \rho|^{1/\beta} \frac{a(x)}{\beta} \right) \right), \tag{10}$$

где  $u$  – постоянный коэффициент;  $\alpha$  – критический индекс изохорной теплоемкости;  $\beta$  – критический индекс линии насыщения;  $t = T / T_c$ .

В зависимости (1)  $a(x)$  – масштабная функция свободной энергии, которая выбрана в соответствии с рекомендациями [6]:

$$a(x) = A_1 \cdot \left( |x + x_1|^{2-\alpha} - \varepsilon |x + x_2|^{2-\alpha} \right) + B_3 \cdot |x + x_3|^\gamma + C, \tag{11}$$

где  $A_1, B_3, C, x_1, x_2, x_3$  – постоянные;  $\varepsilon = x_1/x_2$ ;  $\gamma$  – критический индекс изотермической сжимаемости;  $x = \tau / |\Delta \rho|^{1/\beta}$  – масштабная переменная;  $\tau = t - 1$ .

Масштабная функция химического потенциала  $h(x)$  в выражении (10) определяется на основе равенства:

$$h(x) = (\delta + 1)a(x) - x / \beta \cdot a'(x), \tag{12}$$

где  $\delta$  – критический индекс критической изотермы.

Постоянный параметр  $C$  находится из равенства  $h(x = -x_0) = 0$ , где  $-x_0$  – значение масштабной переменной на линии насыщения.

Функция  $\phi(\sigma, t)$  выбрана в виде:

$$\phi(\omega) = \exp \left( -\frac{a \Delta \rho^2}{\sigma^b} - c \tau^2 \right), \tag{13}$$

где  $a, b$  и  $c$  – постоянные.

Для прогнозирования сжимаемости  $Z$  индивидуальных веществ предлагается использовать известную зависимость [7]:

$$Z = Z_0 + \frac{\omega_r - \omega_0}{\omega_1 - \omega_0} (Z_1 - Z_0), \tag{14}$$

где  $Z_0$  и  $Z_1$  – сжимаемость опорных (хорошо изученных в термодинамическом плане) веществ;  $\omega_0$  и  $\omega_1$  – факторы ацентричности опорных веществ, соответственно.

На основе уравнения состояния (1) – (3) разработаны термические уравнения состояния аргона и хладагента R32, на основе которых рассчитываются сжимаемости  $Z_0$  и  $Z_1$ , соответственно. Таким образом, в формуле (14)  $\omega_0$  и  $\omega_1$  – это факторы ацентричности аргона и хладагента R32. Результаты математического моделирования термических поверхностей хладагента R32 и аргона представлены на рис.1 и рис.2.

При отсутствии сведений о факторе ацентричности  $\omega_r$  для его прогнозирования могут использоваться уравнение Ли-Кеслера [7]:

$$\omega = \frac{-\ln p_c - 5,925714 + 6,09648 \cdot \theta^{-1} + 1,28862 \cdot \ln \theta - 0,169374 \cdot \theta^6}{15,2518 - 15,6875 \cdot \theta^{-1} - 13,4721 \cdot \ln \theta + 0,43577 \cdot \theta^6}, \tag{15}$$

где  $p_c$  – критическое давление, выраженное в физических атмосферах;  $\theta = T_b / T_c$  – приведенная нормальная температура  $T_b$  кипения вещества.

Система уравнений (1)–(3) и (14) может быть использована и для расчета калорических

свойств малоизученных в термодинамическом плане веществ. Действительно, например, изохорная теплоемкость аргона, рассчитанная в рамках предложенной модели описывается в широкой окрестности критической точки в пределах экспериментальной погрешности опытных значений  $C_v$  [10]: среднеквадратическая погрешность  $\delta C_v$ , отклонения значений  $C_v$ , рассчитанных по уравнению (1), от опытных данных [10] равна 1.2%.

В заключение заметим, что предложенный подход к прогнозированию равновесных свойств веществ на основе уравнения состояния (1)–(3) является физически обоснованным, так как это уравнение состояния может быть рассчитано на основе феноменологической теории критической точки, предложенной в [11, 12].

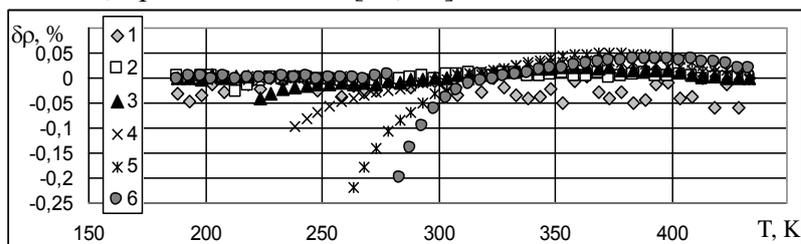


Рис. 1. Отклонения значений плотности  $\rho$ , рассчитанных по единому уравнению состояния R32, от данных [8] на изобарах: 1 – 0,1 бар; 2 – 0,5 бар; 3 – 1 бар; 4 – 2 бар; 5 – 5 бар; 6 – 10 бар

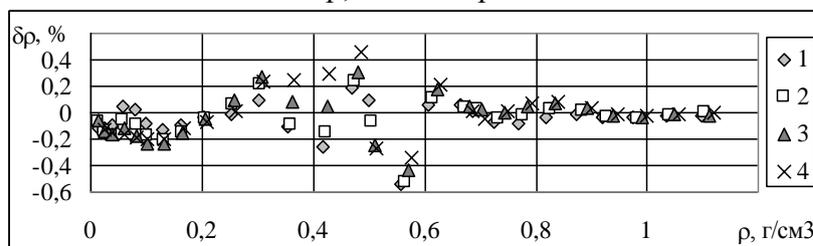


Рис. 2. Отклонения значений плотности  $\rho$ , рассчитанных по единому уравнению состояния аргона, от экспериментальных данных [9] на изотермах: 1 – 248,15 К; 2 – 223,15 К; 3 – 203,15 К; 4 – 188,15 К

#### **Список литературы.**

1. Безверхий П.П., Мартынец В.Г., Станкус С.В. // Теплофизика высоких температур. 2015. Т. 53. № 3. С. 356–366.
2. Кудрявцева И.В. Асимметричное единое уравнение состояния аргона и хладагента R134a // Дисс. на соискание уч. ст. канд. тех. наук. Санкт-Петербург. 2007.
3. Кудрявцева И.В., Демина Л.Ю. // Холодильная техника и кондиционирование. 2009. № 1. С. 35–38.
4. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А. // Холодильная техника и кондиционирование. 2008. № 2. С. 6–11.
5. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Курова Л.В. // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 1. С. 5.
6. Рыков А.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А. // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 50–53.
7. Рид Р., Праусниц Дж. Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Л.: Изд-во Химия. 1982. 592с.
8. Tillner-Roth R., Yokozeki A. // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1997. V. 26. No. 6. P. 1273–1328.
9. Michels A., Levelt I.M., De Graaff W. // Physica – 1958. V. 24, № 8. P. 659.
10. Анисимов М.А., Ковальчук Б.А., Рабинович В.А., Смирнов В.А. Результаты экспериментального исследования теплоемкости  $C_v$  аргона в однофазной и двухфазной областях // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во стандартов. – 1978. – Вып. 12. – С. 86–106.
11. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А. // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 2. С. 44–47.
12. Рыков С.В., Кудрявцева И.В. // Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 1. С. 12.

01.04.14

<sup>1</sup> В.А. Рыков, <sup>1</sup> С.В. Рыков, <sup>2</sup> Е.Е. Устюжанин

<sup>1</sup> Университет ИТМО, togg1@yandex.ru

<sup>2</sup> Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»,  
evgust@gmail.com

### КОРРЕЛЯЦИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДИАМЕТРА И ХИМИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ

Дано термодинамическое обоснование модели  $(1-\alpha)$  линии насыщения. При этом учитывался характер поведения линии упругости и паровой и жидкостной ветвей линии насыщения в соответствии с требованиями масштабной теории (МТ) критических явлений. Рассчитан вклад в криволинейный диаметр линии насыщения индивидуальных веществ, который дают энтропия и химический потенциал в области сильно развитых флуктуаций плотности.

Ключевые слова: криволинейный диаметр, линия насыщения, линия упругости, критические индексы, энтропия, химический потенциал.

В работе [1], при построении единого уравнения состояния, учитывающего особенности критической области, использована система взаимосогласованных состояний, которая приводит к следующей модели линии насыщения:

$$f_d = (\rho_l + \rho_g) / (2\rho_c) - 1 = B_1 \tau^{2\beta} + B_2 \tau^{1-\alpha} + O(\tau^{3\beta}), \quad (1)$$

$$f_s = (\rho_l - \rho_g) / (2\rho_c) = B_0 \tau^\beta - B_1 \tau^{2\beta} + O(\tau^{1-\alpha}), \quad (2)$$

где  $\tau = 1 - T / T_c$ ;  $T$  и  $T_c$  – абсолютная и критическая температуры, соответственно;  $B_0, B_1, B_2$  – постоянные коэффициенты;  $\rho_l$  и  $\rho_g$  – плотность на жидкостной и паровой ветви линии насыщения.

Модель криволинейного диаметра  $f_d$  с лидирующим членом  $\tau^{2\beta}$  удовлетворяет гипотезе Янга–Янга [2] и нашла свое подтверждение в работе [3]. Рассмотрим более подробно обоснование модели (1) в рамках термодинамики. С этой целью воспользуемся известными дифференциальными уравнениями термодинамики:

$$(d\mu_l/dT) = v_l (dP_s/dT) - s_l \text{ и } (d\mu_g/dT) = v_g (dP_s/dT) - s_g, \quad (3)$$

где  $\mu_g, \mu_l, v_g, v_l, s_g, s_l$  – химические потенциалы, удельные объемы и энтропии на паровой ( $g$ ) и жидкостной ( $l$ ) ветвях линии насыщения, соответственно;  $P_s = P_s(T)$  – уравнение линии упругости.

Из равенств (1) непосредственно следует:

$$d(\mu_g + \mu_l)/dT = (v_g + v_l)(dP_s/dT) - (s_g + s_l). \quad (4)$$

Установим на основе (2) выражение для криволинейного диаметра  $f_d$ . С этой целью, учитывая, что  $v_g + v_l = (\rho_g + \rho_l) / (\rho_g \rho_l)$ , представим сумму плотностей  $\rho_g + \rho_l$  в форме:

$$\rho_g + \rho_l = (d(\mu_g + \mu_l)/dT + (s_g + s_l))(dP/dT)^{-1} (\rho_g \rho_l). \quad (5)$$

Линию упругости, в соответствии с МТ, представим в виде [4]:

$$P_s(T) = P_c + P_0 \tau + P_1 \tau^{2-a} + P_2 \tau^2 + o(\tau^2). \quad (6)$$

Из (6) непосредственно следует:

$$dP_s/dT = -P_{s0} - P_{s1} \tau^{1-a} - P_{s2} \tau, \quad (7)$$

где  $P_{s0} = P_0 / T_c$ ;  $P_{s1} = (2 - \alpha) P_1 / T_c$ ;  $P_{s2} = 2 P_2 / T_c$ .

Пусть функции  $f_d$  и  $f_s$  в асимптотической окрестности критической точки описываются степенными зависимостями:

$$f_d = B_{d0} \tau^\varphi \text{ и } f_s = B_{s0} \tau^\beta. \quad (8)$$

В различных моделях линии насыщения показатель степени  $\varphi$  в рамках МТ принимает значения  $2\beta$  или  $(1-\alpha)$ . Найдем  $\varphi$  в рамках рассматриваемого подхода. С учетом (3), (4) и (8) произведение  $\rho_g \cdot \rho_l$  принимает вид:

$$\rho_g \cdot \rho_l = 1 - f_s^2 \left( 1 - \left( B_{d0} \tau^\varphi / (B_{s0} \tau^\beta) \right)^2 - 2B_{d0} \tau^\varphi / (B_{s0} \tau^\beta)^2 \right). \quad (9)$$

Из анализа выражения (9) следует, что надо рассмотреть три варианта: а)  $\varphi < 2\beta$ ; б)  $\varphi > 2\beta$ ; в)  $\varphi = 2\beta$ . В случае выполнения условия  $\varphi < 2\beta$  при  $\tau \rightarrow 0$  выполняется переход  $\rho_g \cdot \rho_l \rightarrow \infty$ , что физически неверно. При выполнении условия  $\varphi > 2\beta$  при  $\tau \rightarrow 0$  имеет место предельный переход:

$$B_{d0} \tau^{(1-\nu)} / (B_{s0} \tau^\beta) \rightarrow 0 \text{ и } 2B_{d0} \tau^{(1-\nu)} / (B_{s0} \tau^{2\beta}) \rightarrow 0. \quad (10)$$

Тогда уравнение для комплекса  $\rho_g \cdot \rho_l$  принимает следующий вид:

$$\rho_g \cdot \rho_l = \left( 1 - (B_{s0}^2 \tau^{2\beta}) \right) \rho_c^2. \quad (11)$$

Учитывая (5), (9) и то, что в критической точке выполняется условие  $(dP/dT)_c = (-1/T_c) P_0 = -P_{s0}$ , преобразуем (5) к виду:

$$\rho_g + \rho_l = \left( \frac{d(\mu_g + \mu_l)}{dT} + s_g + s_l \right) \times \left( -\frac{\rho_c^2}{P_{s0}} + C_1 \tau^{2\beta} + C_2 \tau^{1-\alpha} + C_3 \tau + o(\tau) \right), \quad (12)$$

где  $C_1 = B_{s0}^2 \rho_c^2 P_{s0}^{-1}$ ;  $C_2 = -\rho_c^2 P_{s1} P_{s0}^2$ ;  $C_3 = \rho_c^2 P_{s3} P_{s0}^{-2}$ .

Выбираем начало отсчета для энтропии  $s$  таким, чтобы в критической точке выполнялось равенство:

$$2\rho_c = \left( (d(\mu_g + \mu_l)/dT)_c + (s_g + s_l)_c \right) \rho_c^2 (-P_{s0}^{-1}). \quad (13)$$

Учитывая (12), (13) получим следующее выражение для функции криволинейного диаметра:

$$f_d = -B_{s0}^2 \tau^{2\beta} + P_{s1} P_{s0}^{-1} \tau^{1-\alpha} - P_{s3} P_{s0}^{-1} \tau + \dots \quad (14)$$

Полученный результат противоречит исходному неравенству  $\varphi > 2\beta$ . Поэтому рассмотрим случай в)  $\varphi = 2\beta$ . Тогда из (9) следует:

$$\rho_g \cdot \rho_l = 1 - X \cdot f_s^2, \quad (15)$$

где  $X = 1 - 2B_{d0} / (B_{s0})^2$ .

Выполним, учитывая (15), последовательно преобразования (12), (13) и в результате получим:

$$f_d = -X \cdot B_{s0}^2 \tau^{2\beta} + P_{s1} P_{s0}^{-1} \tau^{1-\alpha} - P_{s3} P_{s0}^{-1} \tau + \dots \quad (16)$$

Таким образом, приходим с точностью до первых двух слагаемых к модели (1). При анализе уравнения (5) для простоты изложения нами принято положение о том, что вклад функций  $d\mu_g/dT$ ,  $d\mu_l/dT$ ,  $s_g$  и  $s_l$  в величину  $f_d$  является пренебрежимо малым в указанной области температур. Покажем, что учет зависимости перечисленных функций от температуры не приведет к принципиальному изменению полученного результата.

Для того чтобы оценить вклад функций  $s_g$  и  $s_l$  в величину  $f_d$  рассмотрим масштабное уравнение в физических переменных [6]:

$$\frac{\rho}{\rho_c} F(\rho, T) = |\Delta\rho|^{\delta+1} a(x) + \frac{\rho}{\rho_c} F_0(T) + \frac{\rho_c}{\rho_c} F_1(T), \quad (17)$$

где  $x = -\tau / |\Delta\rho|^{1/\beta}$ ;  $\delta$  – критический индекс критической изотермы;  $a(x)$  – масштабная функция свободной энергии Гельмгольца  $F(\rho, T)$  [7]:

$$a(x) = A \left[ (x+x_1)^{2-\alpha} - \frac{x_1}{x_2} (x+x_2)^{2-\alpha} \right]^{2-\alpha} + B(x+x_3)^\gamma + C. \quad (18)$$

Здесь  $A, B, C, x_1, x_2, x_3$ , – постоянные параметры.

Подставим (17), (18) в известное термодинамическое равенство  $s = (\partial F / \partial T)_p$  и найдем:

$$s(\rho, T) = \frac{P_c}{\rho T_c} |\Delta\rho|^{\frac{1-\alpha}{\beta}} a_s(x) + F'_0(T) + \frac{P_c}{\rho} F'_1(T), \quad (19)$$

где  $a_s(x) = a'(x)$  – масштабная функция энтропии.

На линии насыщения  $\Delta\rho = -\text{sign}(\Delta\rho) B_s \tau^\beta$  и, согласно (19), в асимптотической окрестности критической точки имеем:

$$\frac{s}{T_c} = \frac{P_c}{\rho} |\Delta\rho|^{\frac{1-\alpha}{\beta}} a_s(x) + A_1 + (A_2 + B_2)\tau + (1 + B_{s0}\tau^\beta + B_{s0}^2\tau^{2\beta}) \cdot B_1. \quad (20)$$

Таким образом, на основе зависимости (20) можно оценить поведение функций  $s_g$  и  $s_l$  в асимптотической окрестности критической точки:

$$s_{g,l} = (s_{g,l})_c + B_1 B_{s0} \tau^\beta + B_1 B_{s0}^2 \tau^{2\beta} + \frac{P_c}{\rho_{g,l} T_c} \tau^{1-\alpha} + O(\tau) \quad (21)$$

Для оценки вклада в криволинейный диаметр производных  $d\mu_g/dT$  и  $d\mu_l/dT$  воспользуемся выражениями (17), (18) и термодинамическим равенством  $\mu = (\partial F / \partial \rho)_T$ , а также результатами работы [8]. На основе (15), (16) получим, что в асимптотической окрестности критической точки для функций  $d\mu_g/dT$  и  $d\mu_l/dT$  справедлива оценка:

$$d\mu_g/dT \approx (d\mu_g/dT)_c + o(\tau^{1-\alpha}) \text{ и } d\mu_l/dT \approx (d\mu_l/dT)_c + o(\tau^{1-\alpha}). \quad (22)$$

Это означает, что определяющий вклад в криволинейный диаметр  $f_d$  дают функции  $s_g$  и  $s_l$ , что приводит в зависимости (16) к исчезновению первого слагаемого с множителем  $\tau^{2\beta}$ :

$$f_d = \frac{\rho_l + \rho_g}{2\rho_c} - 1 = B_2 \tau^{1-\alpha} + O(\tau). \quad (23)$$

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что модель криволинейного диаметра  $f_d$  (1), получившая в настоящее время широкое распространение при расчете линии фазового равновесия в области сильно развитых флуктуаций плотности [9–11], не нашла свое подтверждение в рамках классической термодинамики и масштабной теории.

#### Список литературы.

1. Рыков В.А. // Дис. на соискание уч.ст.канд. техн.наук. Л.: ЛТИХП, 1988. 275 с.
2. Yang C.N, Yang C.P. // Phys. Rev. Lett. 1969. V.13. P.303.
3. Anisimov, M. A., Wang, J. Nature of vapor-liquid asymmetry in fluid criticality // Phys. Rev. E. 2007. V.75. 051107.
4. Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Абдулагатов И.М., Рыков В.А., Попов П.В. // Вестник МЭИ. № 3. 2012. С. 67 – 78.
5. Рыков В.А. Масштабное уравнение состояния в физических переменных // ТВТ. – 1986. – Т. 25, № 2. – С. 345.
6. Рыков В.А. Масштабные функции свободной энергии Ar, C<sub>2</sub> H<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, Xe, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> // ЖФХ. 1985. Т. 59. Вып. 3. С. 792.
7. Киселев С.Б. // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. – М.: Изд-во ИВТАН. 1989. № 2. 150 с.
8. Orkoulas G., Fisher M.E., Ustün C. / J. Chem. Phys. 2000. V. 113. 7530.
9. Apfelbaum E. M., Vorob'ev V. S. // J. Phys. Chem. B. 2015. V.104. 9513.
10. Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А. // Научный Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 3.
11. Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 9.

01.00.00

**А.А. Хаджи**

Тюменский государственный университет, институт математики и компьютерных наук,  
кафедра алгебры и математической логики,  
Тюмень, anna\_5955@mail.ru

**О НЕРАВЕНСТВЕ ТИПА ФРИДРИХСА**

*Доказан аналог интегрального неравенства типа Фридрихса на сферическом сегменте для функций из пространства Соболева-Орлича.*

*Ключевые слова: неравенство Фридрихса, N-функции, пространство Соболева-Орлича, сферический сегмент.*

Во многих задачах математической физики хорошо известна роль неравенства

$$\int_{\Omega} u^2(y) dy \leq c \int_{\Omega} |\nabla u|^2 dy, \quad u(y) \in \dot{W}_2^1(\Omega), \quad (1)$$

справедливого для любой ограниченной области  $\Omega \subset \mathbb{R}_n$ ,  $n \geq 2$ . В статье установлено неравенство типа Фридрихса на сферическом сегменте для функций из пространства Соболева-Орлича. А именно доказана следующая

**Теорема.** Пусть  $\Sigma_{R,d}$  – сферический сегмент диаметра  $d$  на поверхности сферы радиуса  $R$ ,  $d \leq R/8$  в пространстве  $\mathbb{R}_n$ ,  $n \geq 2$ . Если  $N$ -функция  $B(z)$  удовлетворяет  $\Delta_2$ -условию, то существует число  $c(n) > 0$  такое, что для  $v(y) \in \dot{H}_B^1(\Sigma_{R,d})$  справедливо неравенство

$$\int_{\Sigma_{R,d}} B(v) dS \leq c \int_{\Sigma_{R,d}} B(d|\nabla' v|) dS, \quad (2)$$

$\nabla'$  - градиент по касательному направлению.

Неравенство (2) позволяет установить оценки решений задачи Дирихле для уравнений с нестепенными нелинейностями в неограниченных областях. Прежде чем перейдем к доказательству неравенства (2), приведем необходимые сведения из теории  $N$ -функций и пространств Соболева-Орлича [1].

Неотрицательная непрерывная выпуклая вниз функция  $B(z)$ ,  $z \in \mathbb{R}$ , называется  $N$ -функцией, если она четна и  $\lim_{z \rightarrow 0} B(z)/z = 0$ ,  $\lim_{z \rightarrow \infty} B(z)/z = \infty$ .

$N$ -функция  $B(z)$  удовлетворяет  $\Delta_2$ -условию при больших значениях  $z$ , если существует такое число  $c > 0$ , что  $B(2z) \leq cB(z)$  для любых  $z \in \mathbb{R}$ .  $\Delta_2$ -условие эквивалентно выполнению неравенства

$$B(lz) \leq c(l)B(z), \quad z \in \mathbb{R}, \quad (3)$$

где  $l$  – любое число больше единицы,  $c(l) > 0$ .

Классом Орлича  $K_B(\Omega)$ , соответствующем  $N$ -функции  $B(z)$ , называется множество измеримых в  $\Omega$  функций  $v$  таких, что:  $\int_{\Omega} B(v(x)) dx < \infty$ . Пространством Орлича  $L_B(\Omega)$

называется линейная оболочка  $K_B(\Omega)$  с нормой Люксембурга  $\|v\|_{L_B(\Omega)} = \|v\|_{B,\Omega} = \inf \left\{ k > 0 \mid \int_{\Omega} B(v(x)/k) dx \leq 1 \right\}$ . Класс Орлича  $K_B(\Omega)$  совпадает с пространством

Орлича  $L_B(\Omega)$  тогда и только тогда, когда  $B(z)$  удовлетворяет  $\Delta_2$ -условию [2, гл. II, §8, теорема 8.2]. Пространство Соболева-Орлича  $\dot{H}_B^1(\Omega)$  определим как пополнение  $C_0^\infty(\Omega)$  по

норме  $\|v\|_{\dot{H}_B^1(\Omega)} = \sum_{\alpha=1}^n \|v_{x_\alpha}\|_{B,\Omega}$ .

Для функций  $v(x) \in \dot{H}_B^1(\mathbb{R}_n^+)$ ,  $\mathbb{R}_n^+ = \{x \in \mathbb{R}_n \mid 0 < x_1\}$ , в полосе  $\Pi_a = \{x \in \mathbb{R}_n \mid 0 < x_1 < a\}$ ,  $a > 0$ , имеет место аналог неравенства Фридрихса:

$$\int_{\Pi_a} B\left(\frac{v(x)}{a}\right) dx \leq \int_{\Pi_a} B(v_{x_1}(x)) dx \quad (4)$$

(см. [2, лемма 1, неравенство (23)]).

*Доказательство теоремы.* Обозначим через  $\bar{B}_R = \{x \in \mathbb{R}_n \mid |x| \leq R\}$ ,  $S_R = \{x \in \mathbb{R}_n \mid |x| = R\}$  шар и сферу с центром в точке  $O$  радиуса  $R$  и зафиксируем точку  $Q \in S_R$ . Пусть для определенности  $Q \in \{x \in S_R \mid x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n\}$ . Обозначим через  $\vec{N}(N_1, N_2, \dots, N_n)$  единичную внешнюю нормаль к  $S_R$  в точке  $Q$ . Очевидно найдется номер  $i_0$  такой, что  $N_{i_0} \leq 1/\sqrt{n}$ , пусть для конкретности  $i_0 = 1$ . Следовательно, величина угла ( $\beta$ ) между осью  $Ox_1$  и нормалью  $N$  может принимать значения  $\beta \in [45^\circ; 90^\circ]$ ; значение  $\beta = 45^\circ$  возможно лишь при  $n = 2$ .

На прямой  $OQ$  выберем точку  $C$  такую, что  $OC = h, h < R$ . По выбору  $C \in \{x \in \mathbb{R}_n \mid x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n\}$ . Гиперплоскость с нормалью  $\vec{N}$ , проходящую через точку  $C$ , обозначим через  $\pi_{n-1}(C)$ . Пересечение  $\sigma_d(C) = \pi_{n-1}(C) \cap \bar{B}_R$  является  $n-1$ -мерным шаром с центром в точке  $C$  диаметра  $d$ . Соответствующий сферический сегмент на поверхности сферы  $S_R$  диаметра  $d$  с центром в точке  $Q$  обозначим  $\Sigma_{R,d}$ , а шаровой сектор -  $\Xi_{R,d}$ . Для  $n = 2$   $S_R$  - окружность с центром в точке  $O$ ,  $\sigma_d(C)$  - отрезок с центром в точке  $C$  длины  $d$ ,  $\Sigma_{R,d}$  - дуга на  $S_R$  с центром в точке  $Q$  диаметра  $d$ .

Положим  $r = R - 4d > 0$ , ввиду условия  $d \leq R/8, r \in [R/2, R)$ . Через  $K_\Sigma$  обозначим конус с вершиной в точке  $O$ , осью  $OC$  и основанием  $\sigma_d(C)$ . Функция  $w(x) = v(Rx/|x|)$  обращается в нуль на боковой поверхности конуса  $K_\Sigma$ , постоянная на лучах  $OX, X \in \Sigma_{R,d}$ . Тогда для  $\rho < R$  справедливы равенства

$$\int_{\Sigma_{\rho,d\rho/R}} B(w(x)) dS_x = (\rho/R)^{n-1} \int_{\Sigma_{R,d}} B(v(y)) dS_y, \quad \int_{\Sigma_{\rho,d\rho/R}} B(|\nabla' w(x)|) dS_x = (\rho/R)^{n-1} \int_{\Sigma_{R,d}} B(R|\nabla' v(y)|/\rho) dS_y,$$

$\Sigma_{\rho,d\rho/R}$  - сферический сегмент гомотетичный  $\Sigma_{R,d}$  (центр гомотетии  $O$ ). Из последних равенств, пользуясь неравенством (3), для  $r \leq \rho < R$  выводим неравенства

$$\int_{\Sigma_{\rho,d\rho/R}} B(w(x)) dS_x \geq (1/2)^{n-1} \int_{\Sigma_{R,d}} B(v(y)) dS_y, \quad (5)$$

$$\int_{\Sigma_{\rho,d\rho/R}} B(|\nabla' w(x)|) dS_x \leq c(2) \int_{\Sigma_{R,d}} B(|\nabla' v(y)|) dS_y. \quad (6)$$

Проведем двумерную плоскость  $\pi_2(C)$  через ось  $Ox_1$  и точку  $C$ . В плоскости  $\pi_2(C)$  выберем ось  $Ox_*$  (абсцисс), перпендикулярную к оси  $Ox_1$  (ординат), тогда точка  $C$  лежит в первом квадранте (так выбрано направление  $Ox_1$ ). Через  $\triangle OAA'$  обозначим равнобедренный треугольник, который получается в пересечении  $K_\Sigma \cap \pi_2(C)$ , причем точка  $A$  - дальняя вершина от оси  $Ox_*$ , а  $A'$  - ближняя. В случае одинакового расстояния до оси  $Ox_*$  ( $\beta = 90^\circ$ ), точки  $A$  и  $A'$  симметричны относительно оси  $Ox_*$ ,  $A$  лежит в первом квадранте, а  $C$  на оси  $Ox_*$ . Величину угла  $AOC$  обозначим через  $\alpha$ , из неравенства  $d \leq R/8$  следует  $\alpha < \beta$ . Через  $FF'$  обозначим дугу окружности радиуса  $r, F \in OA, F' \in OA'$ .

Пусть  $AB$  - отрезок, параллельный  $Ox_1, B \in OA'$ . Через точку  $A$  проведем плоскость  $\pi_{n-1}(A)$ , перпендикулярную  $Ox_*$  ( $B \in \pi_{n-1}(A)$ ). Построим отрезок  $ED$  параллельный  $AB$

такой, что  $E$  лежит на стороне  $OA$ , а  $D$  – единственная общая точка луча  $ED$  с дугой  $FF'$ . В случае, если  $\alpha + \beta \geq 90^\circ$ ,  $D$  – точка касания  $ED$  и дуги  $FF'$  (см. рис. 1). Если же  $\alpha + \beta < 90^\circ$ , то  $D$  совпадает с  $F'$  (см. рис. 2).

Через точку  $D$  проведем плоскость  $\pi_{n-1}(D)$ , перпендикулярную  $Ox_*$  ( $E \in \pi_{n-1}(D)$ ). Часть конуса  $K_\Sigma$  между параллельными плоскостями  $\pi_{n-1}(A)$  и  $\pi_{n-1}(D)$  обозначим  $K_{AD}$ . Из треугольника  $\Delta AA'B$ , в котором  $AA' = d$ , по теореме синусов имеем  $AB = \frac{d \cos \alpha}{\sin(\beta + \alpha)} = \frac{d}{\tan \alpha \cos \beta + \sin \beta} \leq \frac{d}{\sin \beta} \leq \sqrt{2}d$ . Для  $K_{AD}$  применим неравенство Фридрихса (4)

$$\int_{K_{AD}} B(w/(\sqrt{2}d)) dx \leq \int_{K_{AD}} B(w_{x_1}) dx. \tag{7}$$

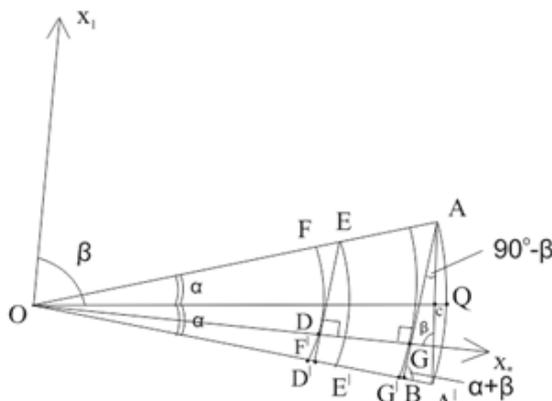


Рис. 1 – Случай  $\alpha + \beta \geq 90^\circ$

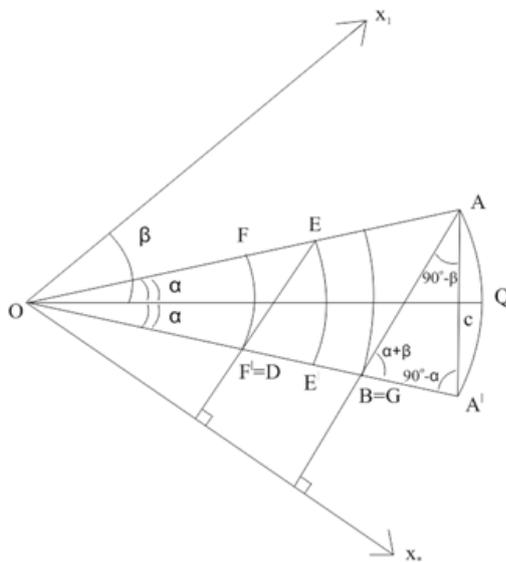


Рис. 2 – Случай  $\alpha + \beta < 90^\circ$

Очевидно, что  $\Xi_{R,d} \cap \{OE \leq |x| \leq OB\} = K_{OE}^{OB} \subset K_{AD} \subset K_r^R = \Xi_{R,d} \cap \{r \leq |x|\}$ . Поскольку  $OA - OB < AB \leq \sqrt{2}d$  и  $OE - OD < DE < AB \leq \sqrt{2}d$ , то  $OB - E > R - r - 2\sqrt{2}d > d$ . Поэтому из (5) имеем

$$\int_{K_{AD}} B(w/(\sqrt{2}d)) dx \geq \int_{K_{OE}^{OB}} B(w/(\sqrt{2}d)) dx \geq (1/2)^{n-1} d \int_{\Sigma_{R,d}} B(v/(\sqrt{2}d)) dS_y. \tag{8}$$

Кроме того, из (6) следует

$$\int_{K_{AD}} B(w_{x_1}) dx \leq \int_{K_r^R} B(w_{x_1}) dx \leq 4dc(2) \int_{\Sigma_{R,d}} B(|\nabla' v|) dS_y. \quad (9)$$

Таким образом, соединяя (8), (7), (9), выводим неравенство

$$(1/2)^{n-1} \int_{\Sigma_{R,d}} B(v/(\sqrt{2}d)) dS_y \leq 4c(2) \int_{\Sigma_{R,d}} B(|\nabla' v|) dS_y.$$

Для функций из пространства  $\dot{H}_B^1(\Sigma_{R,d})$  неравенство (2) устанавливается предельным переходом.

Работа выполнена при финансовой поддержке СФ БашГУ (грант В15-13).

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю Кожевниковой Л.М. за помощь в подготовке статьи.

#### Список литературы

1. Рутицкий Я. Б. Выпуклые функции и пространства Орлича / Я. Б. Рутицкий, М. А. Красносельский. – М.: Физматлит, 1958. – 587 с. [1]
2. Андриянова Э. Р., Мукминов Ф. Х. Существование решения параболического уравнения с нестепенными нелинейностями // Уфимск. матем. журн. – 2014. – Т. 6, вып. 4, – С. 32-49. [2]

01.02.05

<sup>1</sup>М.К. Хасанов, <sup>2</sup>М.В. Столповский<sup>1</sup>Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, кафедра прикладной информатики и программирования, Стерлитамак, hasanovmk@mail.ru<sup>2</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, факультет общенаучных дисциплин, кафедра физики**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ЧАСТИЧНО НАСЫЩЕННОЙ ЛЬДОМ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ КОНЕЧНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ**

*Исследуется образование гидрата из льда при инъекции газа в пористую среду. Методом ловли фронта в узел сетки получено численное решение задачи. Анализируется влияние льдонасыщенности, а также параметров на границе среды на особенности протекания процесса.*

*Ключевые слова: газовые гидраты, подвижные границы фазовых переходов, метод ловли фронта в узел пространственной сетки.*

Изучение процессов образования газовых гидратов – твердых кристаллических соединений, содержащих в своем составе газ (чаще всего, метан) и воду – представляет значительный научный и практический интерес. Высокое содержание газа в гидратном состоянии в единице объема по сравнению со свободным при той же температуре и давлении [1-3] способствует развитию гидратных технологий, например, для хранения газа, что особенно важно в ситуациях, когда есть инфраструктурные ограничения, например, такие, как отсутствие трубопроводов.

При описании процесса тепло- и массопереноса в пористых средах, сопровождающихся образованием газогидрата при тепловом и депрессионном воздействиях, положим следующие допущения: пористость среды постоянна, ее скелет, гидрат и вода являются несжимаемыми и неподвижными, а газ является калорически совершенным. Тогда система основных уравнений в плоскооднмерном случае, включающая в себя уравнения сохранения массы и энергии, закон Дарси и уравнение состояния совершенного газа, может быть представлена в виде [1-3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(mS_g\rho_g) + \frac{\partial}{\partial x}(mS_g v_g \rho_g) &= -mG\rho_h \frac{\partial S_h}{\partial t}, \quad \frac{\partial}{\partial t}(mS_g\rho_g) = -m(1-G)\rho_h \frac{\partial S_h}{\partial t}, \\ \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + c_g \rho_g mS_g v_g \frac{\partial T}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + m\rho_h L_h \frac{\partial S_h}{\partial t}, \\ mS_g v_g &= -\frac{k_g}{\mu_g} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad p = \rho_g R_g T. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь и далее нижние индексы  $j = sk, h, i, g$  относятся к параметрам скелета, гидрата, льда и газа соответственно;  $m$  – пористость;  $\rho_j$  и  $S_j$  ( $\sum S_j = 1$ ) – истинные плотности и насыщенности пор  $j$ -ой фазы ( $j = sk, h, i, g$ );  $c_g$ ,  $\mu_g$ ,  $k_g$  и  $v_g$  – соответственно удельная теплоемкость, динамическая вязкость, проницаемость и скорость газовой фазы;  $L_h$  – удельная теплота гидратообразования;  $\rho c$  и  $\lambda$  – удельная объемная теплоемкость и коэффициент теплопроводности, которые принимаются в рассматриваемой задаче постоянными;  $p$  и  $T$  – давление и температура;  $R_g$  – приведенная газовая постоянная;  $x$  – координата;  $t$  – время. Зависимость коэффициента проницаемости для газовой фазы задается формулой Козени  $k_g = k_0 S_g^3$ , где  $k_0$  – абсолютная проницаемость пласта.

Рассмотрим горизонтальный пористый пласт протяженности  $L$  ( $0 \leq x \leq L$ ), насыщенный в начальный момент времени газом и льдом с исходной льдонасыщенностью  $v$ , давление  $p_0$

и температура  $T_0$  которых соответствует условию существования их в свободном состоянии:

$$p = p_0, T = T_0, S_i = v, S_h = 0 \quad (t = 0, 0 \leq x \leq L). \quad (2)$$

Положим, что через левую границу пласта ( $x = 0$ ) начинает закачиваться газ (метан) с температурой  $T_e$  и давлением  $p_e$ , соответствующие условиям стабильного существования гидрата:

$$p = p_e, T = T_e \quad (t > 0, x = 0). \quad (3)$$

Данные параметры поддерживаются постоянными в ходе всего процесса гидратообразования. Рассматривая мгновенное понижение температуры на левой границе  $x = 0$  до значения  $T_e$  с учетом избытка нагнетаемого газа будем полагать, что в пласте образуются две характерные области, в которых газ, гидрат и лед находятся в различных состояниях. В первой (ближней) области, примыкающей к левой границе пласта, в порах присутствуют только газ и гидрат. Примыкающая к правой границе пласта вторая (дальняя) область насыщена газом и льдом. Таким образом полагается, что образование гидрата полностью происходит на фронтальной поверхности, разделяющей между собой вышеуказанные области. На ней терпят разрыв насыщенности фаз, а также потоки масс и тепла, выполняются следующие соотношения:

$$\begin{aligned} [m(\rho_l S_l (v_l - \dot{x}_{(i)})) - \rho_h S_h (1 - G)\dot{x}_{(i)}] &= 0, & [m(\rho_g S_g (v_g - \dot{x}_{(i)})) - \rho_h S_h G\dot{x}_{(i)}] &= 0, \\ \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] &= [m\rho_h L_h S_h \dot{x}_{(i)}], & T &= T_0 + T_* \ln\left(\frac{p}{p_{s0}}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

На правой границе пласта ( $x = L$ ) для температуры поставим условие, моделирующие отсутствие через нее потока тепла, т.е.  $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ . Для давления рассмотрим два вида

граничных условий:  $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$ , которое соответствует непроницаемой границе и условие  $p = p_0$ , соответствующее так называемой открытой границе.

Поскольку рассматриваемые задачи определены в областях с неизвестными подвижными границами фазовых переходов, то для их решения используется метод ловли фронтов в узлы пространственной сетки. Реализацию построенной схемы (1) – (4), представляющей собой систему нелинейных алгебраических уравнений, целесообразно на каждом временном слое решать методом простых итераций.

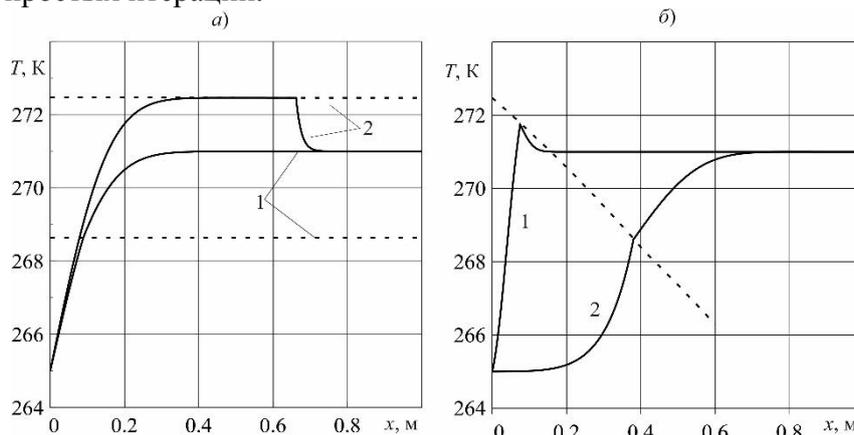


Рис. 1 – Распределение температуры (сплошная) и равновесной температуры (пунктирная) пласта при образовании гидрата:

- а) для непроницаемой границы в момент времени  $t = 20$  ч при  $p_e = 2.2$  (1),  $2.5$  (2) МПа;
- б) для открытой границы при  $p_e = 2.5$  МПа в моменты времени  $t = 0.2$  (1),  $3.2$  (2) ч

На рис. 1 а) представлены расчетные зависимости при образовании гидрата на фронтальной поверхности для случая непроницаемой правой границы при нагнетании газа под давлениями  $p_e = 2.2$  МПа и  $p_e = 2.5$  МПа с температурой  $T_e = 265$  К в модельный пласт длины  $L = 1$  м с абсолютной проницаемостью  $k_0 = 10^{-13}$  м<sup>2</sup>. Для параметров, характеризующих систему приняты следующие значения:  $m = 0.1$ ,  $G = 0.12$ ,  $\nu = 0.2$ ,  $\mu_g = 10^{-5}$  Па·с,  $\lambda = 2$  Вт/(м·К),  $L_h = 5 \cdot 10^5$  Дж/кг,  $\rho_h = 900$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_i = 900$  кг/м<sup>3</sup>,  $T_0 = 271$  К,  $T_* = 30$  К,  $p_0 = 1.7$  МПа,  $p_{s0} = 2.38$  МПа,  $c_g = 1560$  Дж/(кг·К). Как видно из рисунка, при нагнетании газа под давлением  $p_e = 2.2$  МПа температура пласта в ближней области ниже, а в дальней – выше равновесной температуры пласта. В этом случае фронтальная модель образования гидрата является непротиворечивой. При нагнетании газа под давлением  $p_e = 2.5$  МПа температура в дальней области, насыщенной газом и льдом, становится ниже равновесной температуры пласта. В этом случае модель с фронтальной границей фазового перехода является математически противоречивой и для ее разрешения необходимо рассматривать модель образования гидрата в протяженной области, содержащей газ, гидрат и воду в состоянии термодинамического равновесия.

На рис. 1 б) для моментов времени  $t = 0.2$  ч и  $t = 3.2$  ч представлены распределения температуры для открытой правой границы при  $p_e = 2.5$  МПа. Как следует из рисунка, для начальных моментов времени фронтальная модель образования гидрата дает противоречивый результат. Однако при продвижении границы фазового перехода вглубь пласта, эта модель перестает быть противоречивой. Таким образом, из рисунка можно сделать вывод о том, что при продувке пласта газом при высоких давлениях  $p_e$  образование гидрата сначала происходит в протяженной области, а затем, вследствие уменьшения ее размеров и ее схлопывания, на фронте фазовых переходов. Это связано, с высокоинтенсивным потоком тепла вглубь пласта вследствие образования гидрата.

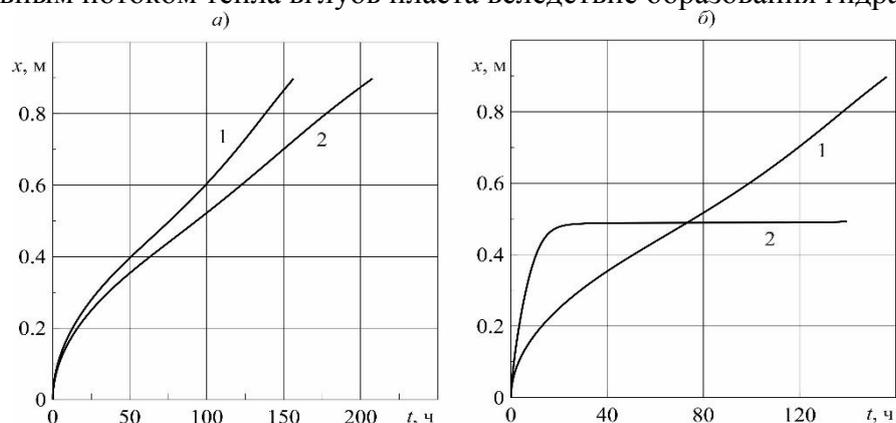


Рис. 2 – Зависимость координаты границы фазового перехода от времени:

а) для непроницаемой границы при: 1 –  $\nu = 0.2$ ; 2 –  $\nu = 0.4$ ;

б) при  $\nu = 0.2$ : 1 – непроницаемой; 2 – открытой границы.

На рис. 2 а) представлена зависимость координаты границы фазового перехода от времени для непроницаемой правой границе при  $p_e = 2.2$  МПа. Линии 1 и 2 соответствуют значениям исходной льдонасыщенности  $\nu = 0.2$  и  $\nu = 0.4$ . Как следует из рисунка, на начальном этапе скорости движения границы фазового перехода совпадают. Затем они начинают различаться между собой, причем скорость движения границы фазового перехода выше для  $\nu = 0.2$ , чем для  $\nu = 0.4$ . На рис. 2 б) представлена зависимость координаты границы фазового перехода от времени для непроницаемой (линия 1) и открытой (2) правой границы при нагнетании газа под давлением  $p_e = 2.2$  МПа в пласт с  $\nu = 0.2$ . Как видно из рисунка, скорость движения фронта фазового перехода выше в случае открытой правой границы, по сравнению с непроницаемой. Это объясняется тем, что образование гидрата

происходит не только в кондуктивном, но и в конвективном режимах. При продувке пласта газом также возможна остановка движения границы фазового перехода (горизонтальный отрезок линии 2). Это объясняется тем, что возле правой границы пласта существует область, в которой давление и температура соответствуют условиям стабильного существования газа и льда.

Работа поддержана грантом РФФИ (проект 14-01-31089-мол\_а)

#### ***Список литературы***

1. Доровская М.С., Хасанов М.К. Математическая модель фильтрации газа с учетом гидратообразования // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 4. № 4. С. 3-4.
2. Доровская М.С., Хасанов М.К. Математическое моделирование образования газогидратов в пористой среде // Сборник научных статей международной молодежной школы семинара «Ломоносовские чтения на Алтае». 2013. Т. 1. С. 125-128.
3. Хасанов М.К. Инжекция газа в пористую среду, сопровождающаяся образованием газогидрата // Вестник Самарского государственного университета. 2008. № 62. С. 290-297.

01.01.01

**Е.Н. Шубабко**

Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского,  
филиал в г. Новозыбкове, кафедра математики, физики и информатики,  
Новозыбков, shubabko@yandex.ru

### ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМ РОСТОМ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕВАНЛИННЫ<sup>1</sup>

*В работе представлены результаты исследования класса целых функций, допускающего экспоненциальный рост характеристики Неванлинны. Уточнены достаточные условия на корневые множества этого класса и получено факторизационное представление.*

*Ключевые слова: целая функция, характеристика Неванлинны, весовые классы целых функций, корневые множества, факторизация.*

В теории целых функций комплексного переменного одним из важнейших направлений остается изучение задач, связанных с характеристикой корневых множеств и построением факторизационных представлений различных классов функций. Классические теоремы Адамара и Вейерштрасса устанавливают факторизацию целых функции конечного порядка [1]. Вопрос о существовании подобных представлений для целых функций, допускающих более сильный рост в бесконечности, по-прежнему представляет интерес.

Пусть  $\mathbf{H}(\mathbf{C})$  - множество всех целых функций на комплексной плоскости  $\mathbf{C}$ . Обозначим  $N(\alpha, \sigma, \beta)$  ( $\alpha > 0, \sigma > 0, \beta \in \mathbf{R}$ ) - класс целых функций, для которых

$$\int_1^{+\infty} T(r, f) \exp(-\sigma r^\alpha) r^\beta dr < +\infty \quad (1)$$

где  $T(r, f) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \ln^+ |f(re^{i\varphi})| d\varphi$  - характеристика Неванлинны (см. [2]).

Ранее была установлена теорема (см. [3]):

**Теорема А.** Пусть  $\alpha > 0, \sigma > 0, \beta \in \mathbf{R}$ .

1) Если  $f(z) \in N(\alpha, \sigma, \beta)$  ( $f(z) \neq 0, \infty$ ), тогда последовательности нулей функции  $f$  удовлетворяет условию

$$\int_1^{+\infty} n(r) \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta-\alpha} dr < +\infty, \quad (2)$$

где  $n(r)$  – количество нулей функции  $f$  в круге  $|z| < r$  с учетом их кратности.

2) Если для последовательности комплексных чисел  $\{a_k\}_1^{+\infty}$  ( $|a_k| > 0, |a_k| \uparrow +\infty$ ) выполнено условие (2), тогда существует целая функция  $f$ , нули которой совпадают с заданной последовательностью. При этом  $f(z) \in N(\alpha, \sigma_0, \beta_0)$ , где  $\sigma_0 \geq \frac{\sigma}{\alpha} e^{\alpha-1}$ , а  $\beta_0 \in \mathbf{R}$  – произвольная постоянная, если  $\sigma_0 > \frac{\sigma}{\alpha} e^{\alpha-1}$  или  $\beta_0 < \beta - 2\alpha$ , если  $\sigma_0 = \frac{\sigma}{\alpha} e^{\alpha-1}$ .

При  $\alpha \geq 1$  нам удалось улучшить достаточные условия.

**Теорема 1.** Пусть  $\alpha \geq 0, \sigma > 0, \beta \in \mathbf{R}$ . Если для последовательности комплексных чисел  $\{a_k\}_1^{+\infty}$  ( $|a_k| > 0, |a_k| \uparrow +\infty$ ) выполнено условие (2), тогда существует целая функция  $f$ , нули которой совпадают с заданной последовательностью. При этом  $f(z) \in N(\alpha, \sigma, \beta_0)$ , где  $\beta_0 < \beta - 3\alpha$

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (задание №1.1704.2014К)

Доказательство теоремы основано на нескольких вспомогательных утверждениях.

**Лемма 1.** Пусть последовательность  $\{z_k\}_1^{+\infty}$  ( $|z_k| > 0, |z_k| \uparrow +\infty$ ) удовлетворяет условию (2), тогда

$$n(r) \leq cr^{2\alpha-\beta-1} \exp(\sigma r^\alpha) \tag{3}$$

и сходится ряд

$$\sum_{k=1}^{+\infty} |z_k|^{\beta-2\alpha+1} \exp(-\sigma |z_k|^\alpha) < +\infty. \tag{4}$$

Доказательство очевидным образом получается непосредственной оценкой соответствующих выражений.

Пусть  $\{z_k\}_1^{+\infty}$  ( $|z_k| > 0, |z_k| \uparrow +\infty$ ) - произвольная последовательность комплексных чисел. Положим  $p(t) = \max\{\gamma t^\alpha + \delta, 1\}$ , где  $\gamma > 0, \delta \in \mathbb{R}$  - некоторые вещественные постоянные, и  $p_k = [p(|z_k|)]$ . Рассмотрим бесконечное произведение типа Вейерштрасса

$$W(z, z_k) = \prod_{k=1}^{+\infty} \left(1 - \frac{z}{z_k}\right) \exp\left(\sum_{j=1}^{p_k-1} \frac{1}{j} \left(\frac{z}{z_k}\right)^j\right). \tag{5}$$

Если  $p_k = 1$ , то соответствующий экспоненциальный множитель в (5) заменяется единицей. Условия сходимости введенного бесконечного произведения установлены в следующей лемме.

**Лемма 2.** Пусть последовательность комплексных чисел  $\{z_k\}_1^{+\infty}$  ( $|z_k| > 0, |z_k| \uparrow +\infty$ ) удовлетворяет условию (2). Тогда бесконечное произведение (5), где  $\gamma \geq \sigma$  (при  $\gamma = \sigma$  дополнительно выполняется  $\delta \geq \alpha - \beta$ ), сходится равномерно в каждом круге  $|z| \leq R$  и обращается в ноль только в точках последовательности  $\{z_k\}_1^{+\infty}$ .

Доказательство. Оценивая элементарный множитель произведения (5)

$$A(z, z_k) = \left(1 - \frac{z}{z_k}\right) \exp\left(\sum_{j=1}^{p_k-1} \frac{1}{j} \left(\frac{z}{z_k}\right)^j\right) \text{ при } |z| \leq r \text{ и при } k \geq k_0, |z_k| \geq er, \text{ не трудно получить}$$

$$\ln|A(z, z_k)| \leq \frac{e}{(e-1)(\gamma|z_k|^\alpha + \delta - 1)} \left(\frac{r}{|z_k|}\right)^{\delta-1} \exp(-\gamma|z_k|^\alpha) \leq cr^{\delta-1} |z_k|^{1-\delta-\alpha} \exp(-\gamma|z_k|^\alpha). \tag{6}$$

Так как по лемме 1 ряд (4) сходится, то из (6) и известного признака сходимости бесконечных произведений следует равномерная сходимость произведения (5) в каждом круге  $|z| \leq r$  при условии  $\delta \geq \alpha - \beta$  если  $\gamma = \sigma$  или  $\forall \delta \in \mathbb{R}$  при  $\gamma > \sigma$ . Что и требовалось доказать.

**Доказательство теоремы 1.** Пусть задана произвольная последовательность комплексных чисел  $\{a_k\}_1^{+\infty}$  ( $|a_k| > 0, |a_k| \uparrow +\infty$ ), удовлетворяющая условию (2). Для доказательства теоремы достаточно показать, что произведение  $W(z, a_k)$  при некоторых  $\gamma$  и  $\delta$  принадлежит классу  $N(\alpha, \sigma, \beta_0)$ . Не уменьшая общности, будем считать, что в круге  $|z| \leq R_0$  нет точек последовательности  $\{a_k\}_1^{+\infty}$ , где  $R_0$  - некоторое фиксированное на протяжении доказательства положительное число, удовлетворяющее  $\gamma R_0^\alpha + \beta_0 + \delta > 0$ . Очевидно при этом будем иметь  $n(R_0) = 0$ .

Воспользуемся известной оценкой элементарных множителей произведения Вейерштрасса (см. [4], с. 51)

$$\ln|A(z, a_k)| \leq 2(\ln^+(p_k - 1) + 2) \min\left\{\left|\frac{z}{a_k}\right|^{p_k}, \left|\frac{z}{a_k}\right|^{p_k-1}\right\}. \tag{7}$$

Положим  $|z| = r$  и оценим  $T(r, W)$ . Учитывая (7), получим

$$T(r, W) \leq \sum_{|z_k| \leq r} 2 \left( \ln^+(p_k - 1) + 2 \right) \left| \frac{z}{z_k} \right|^{p_k - 1} + \sum_{|z_k| > r} 2 \left( \ln^+(p_k - 1) + 2 \right) \left| \frac{z}{z_k} \right|^{p_k}.$$

Перепишем последнюю оценку в интегральной форме

$$T(r, W) \leq c \int_{R_0}^r \left( \frac{r}{t} \right)^{[p(t)]-1} \ln p(t) dn(t) + c \int_r^{+\infty} \left( \frac{r}{t} \right)^{[p(t)]} \ln p(t) dn(t) \leq c \int_R^{+\infty} \left( \frac{r}{t} \right)^{p(t)-1} \ln p(t) dn(t),$$

где  $c = 4/\ln 2$ . Упростим последний интеграл и проинтегрируем его по частям. Получим

$$\begin{aligned} I &= \int_{R_0}^{+\infty} \left( \frac{r}{t} \right)^{p(t)-1} \ln p(t) dn(t) = \int_{R_0}^{+\infty} \left( \frac{r}{t} \right)^{\gamma^\alpha + \delta - 1} \ln(\gamma^\alpha + \delta) dn(t) \leq \\ &\leq c_1 r^{\delta-1} \int_{R_0}^{+\infty} n(t) \exp\left(\gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) \left\{ \gamma^{\alpha-\delta} \left(1 - \alpha \ln \frac{r}{t}\right) \ln t - t^{-\delta} (1 - (\delta-1) \ln t) \right\} dt. \end{aligned} \quad (8)$$

Учтем теперь в (8), что при условии  $0 < t \leq e^{-1/\alpha} r$  имеет место неравенство  $1 - \alpha \ln \frac{r}{t} \leq 0$ ,

а при  $t \geq e^{-1/\alpha} r$  справедлива оценка

$$\gamma^{\alpha-\delta} \left(1 - \alpha \ln \frac{r}{t}\right) \ln t - t^{-\delta} (1 - (\delta-1) \ln t) \leq c_2 t^{\alpha-\delta} \ln^2 t.$$

Поэтому

$$I \leq c_2 r^{\delta-1} \int_{re^{-1/\alpha}}^{+\infty} n(t) \exp\left(\gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) t^{\alpha-\delta} \ln^2 t dt + c_1 (\delta-1) r^{\delta-1} \int_{R_0}^{re^{-1/\alpha}} n(t) \exp\left(\gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) t^{-\delta} \ln t dt \quad (9)$$

При  $\delta \leq 1$  второй интеграл в (9) можно отбросить (выбираем  $\delta \geq \alpha - \beta$  при  $\gamma = \sigma$  или  $\delta = 0$  при  $\gamma > \sigma$  для обеспечения сходимости бесконечного произведения, дополнительные условия на  $\delta$  будут указаны ниже).

Оценим интеграл  $M_W = \int_1^{+\infty} T(r, W) \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta_0} dr$ . Применяя (9), будем иметь

$$\begin{aligned} M_W &\leq c_2 \int_1^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta_0 + \delta - 1} \int_{re^{-1/\alpha}}^{+\infty} n(t) \exp\left(\gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) t^{\alpha-\delta} \ln^2 t dt dr + \\ &+ (\delta-1) c_1 \int_1^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta_0 + \delta - 1} \int_{R_0}^{re^{-1/\alpha}} n(t) \exp\left(\gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) t^{-\delta} \ln t dt dr \stackrel{def}{=} c_2 I' + c_1 I''. \end{aligned}$$

Рассмотрим каждый из интегралов. Изменим порядок интегрирования в  $I'$ . Учитывая, что  $n(t) \equiv 0$  при  $t \in [1, R_0]$ , будем иметь

$$I' = \int_1^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta_0 + \delta - 1} \int_{re^{-1/\alpha}}^{+\infty} n(t) \exp\left(\gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) t^{\alpha-\delta} \ln^2 t dt dr$$

Применим к  $n(t)$  оценку (3). Получим

$$\begin{aligned} I' &\leq c \int_1^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta_0 + \delta - 1} \int_{re^{-1/\alpha}}^{+\infty} t^{2\alpha - \beta - 1} e^{\sigma t^\alpha} \exp\left(\gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) t^{\alpha-\delta} \ln^2 t dt dr \leq \\ &\leq c_1 \int_1^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta_0 + \delta - 2} \ln^2 r \int_{re^{-1/\alpha}}^{+\infty} t^{3\alpha - \beta - \delta} \exp\left(\sigma t^\alpha + \gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) dt dr \end{aligned} \quad (10)$$

В последней оценке мы учли, что  $t^{-1} \ln^2 t$  убывает при  $t > e$ . Для оценки внутреннего интеграла  $I_r = \int_{re^{-1/\alpha}}^{+\infty} t^{3\alpha - \beta - \delta} \exp\left(\sigma t^\alpha + \gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) dt$  в (10) учтем, что функция  $g(t) = \sigma t^\alpha + \gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}$

достигает максимума в точке  $t=re^{(\alpha\sigma-\gamma)/\alpha\gamma}t = re^{(\alpha\sigma-\gamma)/\alpha\gamma} > re^{-1/\alpha}$  и соответственно

$$I_r \leq \exp\left(\sigma r^\alpha e^{(\alpha\sigma-\gamma)/\gamma} + r^\alpha \frac{\gamma - \alpha\sigma}{\alpha} e^{(\alpha\sigma-\gamma)/\gamma}\right) \int_{re^{-1/\alpha}}^{+\infty} t^{3\alpha-\beta-\delta} dt.$$

При  $3\alpha - \beta + 1 < \delta$   $I_r \leq cr^{3\alpha-\beta-\delta+1} \exp\left(\frac{\gamma e^{(\alpha\sigma-\gamma)/\gamma}}{\alpha} r^\alpha\right)$ . Подставим последнюю оценку в (10),

получим

$$I' \leq c \int_1^{+\infty} r^{\beta_0+3\alpha-\beta-1} \exp\left(-\sigma r^\alpha + \frac{\gamma e^{(\alpha\sigma-\gamma)/\gamma}}{\alpha} r^\alpha\right) \ln^2 r dr \tag{11}$$

Последний интеграл сходится при  $\gamma=\alpha\sigma$  и  $\beta_0 < \beta - 3\alpha$ .

Теперь оценим  $I'' = (\delta - 1) \int_1^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta_0+\delta-1} \int_R^{re^{-1/\alpha}} n(t) \exp\left(\gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) t^{-\delta} \ln t dt dr$ .

Если  $\delta \leq 1$ , то  $I'' \leq 0$ . Поэтому рассмотрим случай  $\delta > 1$ . Изменим порядок интегрирования, получим

$$\begin{aligned} I'' &= (\delta - 1) \int_1^{+\infty} n(t) t^{-\delta} \ln t \int_{te^{1/\alpha}}^{+\infty} \exp\left(-\sigma r^\alpha + \gamma^\alpha \ln \frac{r}{t}\right) r^{\beta_0+\delta-1} dr dt = \\ &= (\delta - 1) \int_1^{+\infty} n(t) \exp(-\gamma^\alpha \ln t) t^{-\delta} \ln t \int_{te^{1/\alpha}}^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha + \gamma^\alpha \ln r) r^{\beta_0+\delta-1} dr dt. \end{aligned}$$

Оценим  $I_t = \int_{te^{1/\alpha}}^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha + \gamma^\alpha \ln r) r^{\beta_0+\delta-1} dr = \int_{te^{1/\alpha}}^{+\infty} \exp(-\sigma r^\alpha + \gamma^\alpha \ln r + \lambda \ln r) r^{-1-\varepsilon} dr$ , где

$\lambda = \beta_0 + \delta + \varepsilon$ , и  $\varepsilon > 0$  - выбрано произвольно. Рассмотрим функцию  $g(r) = -\sigma r^\alpha + \gamma^\alpha \ln r + \lambda \ln r$ ,  $r \geq te^{1/\alpha}$ . Ее максимум достигается при  $r^* = \left(\frac{\gamma^\alpha + \lambda}{\alpha\sigma}\right)^{1/\alpha} = t \left(\frac{\gamma}{\alpha\sigma}\right)^{1/\alpha} \left(1 + \frac{\lambda}{\gamma^\alpha}\right)^{1/\alpha}$ . Т.о. при  $r \geq te^{1/\alpha}$

$$g(r) \leq g(r^*) \sim t^\alpha \left(-\frac{\gamma}{\alpha} + \gamma \ln t + \frac{\gamma}{\alpha} \ln\left(\frac{\gamma}{\alpha\sigma}\right)\right) + \lambda \left(\ln t + \frac{1}{\alpha} \ln\left(\frac{\gamma}{\alpha\sigma}\right)\right) \text{ при } t \rightarrow +\infty.$$

Подставим полученную оценку в  $I_t$ . Получим

$$I_t \leq \exp(g(r^*)) \int_{te^{1/\alpha}}^{+\infty} r^{-1-\varepsilon} dr \leq ct^{\beta_0+\delta} \exp\left(t^\alpha \left(-\frac{\gamma}{\alpha} + \gamma \ln t + \frac{\gamma}{\alpha} \ln\left(\frac{\gamma}{\alpha\sigma}\right)\right)\right) \tag{12}$$

Подставим (12) в  $I''$ , получим

$$I'' \leq c \int_1^{+\infty} n(t) t^{\beta_0} \ln t \exp\left(t^\alpha \left(-\frac{\gamma}{\alpha} + \frac{\gamma}{\alpha} \ln\left(\frac{\gamma}{\alpha\sigma}\right)\right)\right) dt. \tag{13}$$

В виду условия (2) последний интеграл сходится при  $\gamma=\alpha\sigma$  и  $\beta_0 < \beta - \alpha$ .

Окончательно, учитывая оценки (11) и (13), получаем, что

$$M_W = \int_1^{+\infty} T(r, W) \exp(-\sigma r^\alpha) r^{\beta_0} dr < +\infty$$

при  $\gamma=\alpha\sigma$  и  $\beta_0 < \beta - 3\alpha$  и при выполнении этих условий функция  $W(z, a_k)$  (при  $\delta > 3\alpha - \beta + 1$ ) принадлежит классу  $N(\alpha, \sigma, \beta_0)$ . Теорема доказана.

Рассмотрим класс  $N(\alpha, \sigma) = \bigcup_{\beta \in \mathbb{R}} N(\alpha, \sigma, \beta)$ .

**Следствие 1.** Для того чтобы последовательность  $\{z_k\}_1^{+\infty}$  ( $|z_k| \uparrow +\infty$ ) была множеством нулей класса  $N(\alpha, \sigma)$ , ( $\alpha \geq 1, \sigma > 0$ ), необходимо и достаточно, чтобы она при некотором  $\beta \in \mathbb{R}$  удовлетворяла условию

$$\int_1^{+\infty} n(r) e^{-\sigma r} r^\beta dr < +\infty. \quad (14)$$

Некоторые свойства функций, принадлежащих классу  $N(\alpha, \sigma, \beta)$  и не обращающихся в ноль, установлены в [5]. В частности, имеет место

**Теорема В.** Пусть  $\alpha > 1, \sigma > 0$  и  $f(z) = e^{h(z)}$ , где  $h(z)$  - целая функция.

Если  $f(z) \in N(\alpha, \sigma, \beta)$ , тогда справедлива оценка  $\max_{|z| < r} |h(z)| \leq c_{\alpha, \sigma} r^{2\alpha - \beta - 1} e^{\sigma r}$ .

Обратно, если  $h(z)$  - целая функция, удовлетворяющая условию  $\max_{|z| < r} |h(z)| \leq c_h r^{\beta_h} e^{\sigma r}$ , то  $f(z) \in N(\alpha, \sigma, \beta)$  для любых  $\beta \in \mathbf{R}$ , удовлетворяющих условию  $\beta + \beta_h < -1$ .

Учитывая теоремы 1 и В, очевидным образом можно получить факторизационное представление функций класса  $N(\alpha, \sigma)$ .

**Теорема 2.** Класс  $N(\alpha, \sigma)$ ,  $\alpha \geq 1, \sigma > 0$ , совпадает с классом целых функций, допускающих представление вида

$$f(z) = z^n W(z, a_k) \exp\{h(z)\}, \quad z \in \mathbf{C}, \quad (15)$$

где последовательности комплексных чисел  $\{a_k\}_1^{+\infty}$  удовлетворяет условию (2) при некотором  $\beta \in \mathbf{R}$ ,  $W(z, a_k)$  - бесконечное произведение (5), построенное по нулям функции  $f$ , с параметрами  $\gamma = \alpha\sigma$  и  $\delta \in \mathbf{R}$  (если  $\alpha = 1$ , то дополнительно  $\delta \geq 1 - \beta$ ),  $h(z)$  - целая функция, удовлетворяющая условию  $M_h(r) = \max_{|z| < r} |h(z)| \leq c_h r^\mu e^{\sigma r}$  при некотором  $\mu \in \mathbf{R}$ ,  $n$  - кратность нуля  $f(z)$  в начале координат.

#### Список литературы

1. Левин Б. Я. Распределение корней целых функций. М.: Гостехиздат, 1956. – 632с.
2. Неванlinna Р. Однозначные аналитические функции / Пер. с нем./ - М.-Л.: ГИТТЛ, 1941. - 388 с.
3. Шубабко Е.Н. факторизация и параметрическое представление классов мероморфных функций с ограничениями на рост характеристики Неванlinna. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. СПб, 2002. – 107с.
4. Хейман У. Мероморфные функции. – М.: Мир, 1966. – 447 с.
5. Шубабко Е.Н. Условия принадлежности функции, не имеющей нулей, классу целых функций с экспоненциальным ростом характеристики Неванlinna // Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Брянского государственного университета им. ак. И.Г. Петровского. г. Новозыбков, Брянская обл., 15-16 октября 2015г.: в 2-х ч. Ч.2. – Брянск: Изд. БГУ, 2015. с. 312-318.

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.10

О.В. Белова, А.В. Лисов, А.А. Леонтьевский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина Российской академии наук (ИБФМ РАН),  
ssl206@rambler.ru

**СИНТЕЗ КСИЛООЛИГОСАХАРИДОВ С ПОМОЩЬЮ БИОКАТАЛИЗАТОРА –  
КСИЛАНАЗЫ БАКТЕРИИ *CELLULOMONAS FLAVIGENA***

Получен препарат биокатализатора - рекомбинантной ксиланазы из бактерии *Cellulomonas flavigena*. В работе показаны результаты гидролиза ксилана под воздействием ксиланазы. Показано, что основными продуктами гидролиза ксилана под воздействием ксиланазы являются ксилобиоза и ксилотетраоза. Результаты указывают на возможность использования ксиланазы бактерии *Cellulomonas flavigena* для синтеза ксилоолигосахаридов.

Ключевые слова: биокатализатор, ксиланаза, ксилоолигосахариды, биокаталитический синтез.

В мире существует возрастающий интерес к ксилоолигосахаридам (КОС). Эти соединения обладают биологическим эффектом и могут быть использованы в качестве пробиотиков [1]. КОС являются хорошим субстратом для роста бактерий рода *Bifidobacteria*, обитающих в пищеварительной системе людей и благотворно влияющих на пищеварение [2]. Бактерии рода *Bifidobacteria* способны снижать риск заболевания раком прямой кишки, способствуют укреплению иммунитета [3, 4].

КОС могут быть получены путём гидролиза ксилана. Ксилан является полисахаридом, состоящим из мономера – ксилопиранозы, связанной  $\beta$ -1,4- связями [5]. Ксилан составляет основную часть гемицеллюлозы клеточных стенок растений и в большом количестве содержится в растительных отходах. Многие микроорганизмы способны гидролизовать ксилан. Для этого они синтезируют различные ферменты. Основным ферментом, участвующим в гидролизе ксилана, является эндо- $\beta$ -1,4-ксиланаза (1,4-  $\beta$  -D-ксилан-ксиланогидролаза, ЕС 3.2.1.8). Фермент катализирует расщепление ксилана с образованием олигосахаридов различной молекулярной массы [6]. Ксиланаза может быть использована для получения КОС [7, 8]. Ксиланазы делят на несколько семейств в соответствии с их доменным строением (<http://www.cazy.org/Home.html>). Большая часть ксиланаз принадлежит к семействам GH10 и GH11. Образование КОС зависит от принадлежности ксиланаз к различным семействам. Под воздействием ксиланаз семейства GH10 в качестве продукта гидролиза ксилана образуется ксилоза, для ксиланаз семейства GH11 это не характерно [9].

## Материалы и методы

Бактерия *Cellulomonas flavigena* Ас-1139 была получена из Всероссийской коллекции микроорганизмов (<http://vkm.ru/>). Культивирование проводили при 29°C на среде следующего состава (г/л): пептон – 5; дрожжевой экстракт – 3;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,2; глюкоза – 5. Рекомбинантный продуцент на основе *E. coli* M15[pREP4] был согласно ранее описанной методике [10]. Праймеры для ПЦР были сконструированы на основе последовательности ксиланазы из генома бактерии *C. flavigena* DSM 20109 (NCBI Reference Sequence белка: UP\_003635918.1). Анализ последовательности на наличие специфических доменов проводили с помощью программы InterPro (<http://www.ebi.ac.uk/interpro/>). Препарат ксиланазы был получен с помощью металл-хелатной хроматографии на колонке с Ni-сефарозой.

Активность ксиланазы определяли по скорости накопления восстанавливающих сахаров в результате гидролиза ксилана бука. За единицу активности принимали количество фермента, катализирующего образование 1 мкМ восстанавливающих сахаров в минуту. Гидролиз ксилана бука в присутствии ксиланазы проводили при оптимальном значении pH – 6,0, концентрация ксилана – 1% (масса/объем). Объем реакционной смеси – 1 мл, количество фермента – 5 Ед/мл. Реакцию проводили при температуре 40°C, пробы для анализа отбирали каждые через 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 24 часа и выдерживали в кипящей воде в течение двух минут для остановки реакции. Разделение продуктов реакции проводили с помощью тонкослойной хроматографии на пластинках НРТLC Silica gel 60 (Merck, Германия). Элюирующая система – бутанол: уксусная кислота: вода, взятых в соотношении 2:1:1. После проведения хроматографии пластинку высушивали при температуре 105°C и проводили опрыскивание проявителем. Для приготовления проявителя 50 мг дифениламина, 50 мкл анилина, растворяли в 5 мл ацетона и перед опрыскиванием добавили 0,5 мл 85% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. После опрыскивания пластинку выдерживали при 120°C десять минут. Продукты гидролиза ксилана элюировали с пластинки метанолом и идентифицировали с помощью tandemного масс-спектрометра LCQ Advantage MAX (Thermo Finnigan).

#### Результаты

Анализ аминокислотной последовательности ксиланазы выявил наличие двух доменов ксиланазы семейства GH10 – с 122 по 444 и с 471 по 543 аминокислотные остатки. В составе последовательности обнаружен сигнальный пептид с 1 по 42 аминокислоты, что указывает на то, что ксиланаза бактерии *C. flavigena* является секретрируемым белком. Для работы использовали зрелый белок – с удалённым сигнальным пептидом.

Ксиланаза обладала высокой удельной активностью в отношении ксилана – 245 Ед/мг белка. Оптимальное значение pH для гидролиза ксилана – 6,0. Ксиланаза гидролизовала ксилан до КОС (Рис. 1).

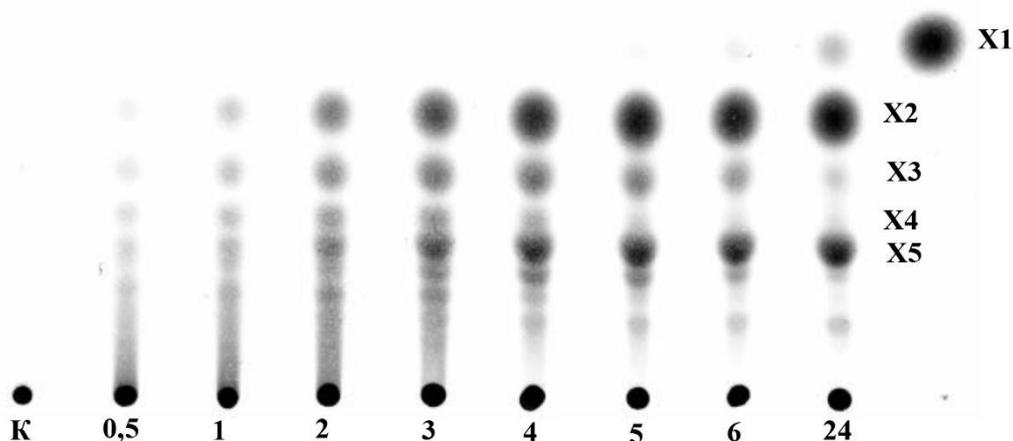


Рис. 1 – Тонкослойная хроматография продуктов гидролиза ксилана под воздействием ксиланазы бактерии *C. flavigena* с образованием КОС. X1 – ксилоза; X2 – ксилобиоза; X3 – ксилотриоза; X4 – ксилотетраоза; X5 – ксилопентаоза; К – контроль. Цифры указывают время отбора пробы в часах.

Как видно из результатов, представленных на Рис. 1 состав КОС изменялся со временем протекания реакции. В течение первого часа реакции происходило накопление равного количества всех КОС. Далее, начиная со второго часа реакции, состав КОС начал меняться. Ксилотетраоза накапливалась на протяжении 2 – 4 часов реакции, после чего происходило уменьшение количества этого соединения до полного исчезновения за 6 – 24 часов реакции. Уменьшение количества ксилотетраозы связано с тем, что это соединение является субстратом ксиланазы и гидролизуется до двух молекул ксилобиозы [7]. Так же происходило уменьшение в ходе реакции количества ксилотриозы, что особенно видно через 24 часа реакции. Это так же возможно связано с гидролизом ксилотриозы до ксилобиозы и ксилозы, что подтверждается образованием ксилозы в ходе реакции. Ксилоза являлась

продуктом гидролиза ксилана, наибольшая концентрация этого сахара наблюдалась через 24 часа реакции. Образование ксилозы в ходе реакции дополнительно указывает на принадлежность ксиланазы бактерии *C. flavigena* к семейству GH10.

Основными продуктами гидролиза ксилана под воздействием ксиланазы бактерии *C. flavigena* были ксилобиоза и ксилонпентаоза. Концентрация этих соединений увеличивалась на протяжении всего времени реакции и достигала максимума после 24 часов гидролиза, составляя более 90% продуктов реакции. При этом происходит уменьшение концентрации остальных КОС в реакционной смеси (кроме ксилозы, концентрация которой незначительна) что облегчает последующее выделение основных продуктов реакции.

Таким образом, ксиланаза бактерии *C. flavigena* обладает высокой активностью в отношении ксилана и может быть использована для получения ксилобиозы и ксилонпентаозы из ксилана и ксилан содержащего растительного сырья.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ. Идентификатор проекта RFMEFI60714X0013.

### Список литературы

1. Ayyappan Appukuttan Aachary, Siddalingaiya Gurudutt Prapulla Xylooligosaccharides (XOS) as an emerging prebiotic: microbial synthesis, utilization, structural characterization, bioactive properties, and applications. // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2010. V. 10. Is.1. P.2-16.
2. Okazaki M., Fujikawa S., Matsumoto N. Effect of xylooligosaccharide on the growth of bifidobacteria. // Bifidobact. Microflora. 1990. V. 9. P.77–86.
3. Hsu C.-K., Liao J.-W., Chung Y.-C., Hsieh C.-P., Chan Y.-C. Xylooligosaccharides and fructooligosaccharides affect the intestinal microbiota and precancerous colonic lesion development in rats. // J. Nutr. 2004. V.134. P. 1523–1528.
4. Picard C., Fioramonti J., Francois A., Robinson T., Neant F., Matuchansky C. Review article: bifidobacteria as probiotic agents – physiological effects and clinical benefits. // Aliment. Pharmacol. Therap. 2005. V.22. Is.6, P.495–512.
5. Ebringerova A. Structural Diversity and Application Potential of Hemicelluloses. // Macromol. Symp. 2006. V.232, P.1–12.
6. Saha B. C., and Bothast R. J. Enzymology of xylan degradation. // Biopolymers. ACS Symposium Series. 1999. V.723. P. 167–194.
7. Yan Q., Hao S., Jiang Z., Zhai Q., Chen W. Properties of a xylanase from *Streptomyces matensis* being suitable for xylooligosaccharides production. // J. Molec. Catal. B: Enzymatic. 2009. V.58. P. 72–77.
8. Li X., Li E., Zhu Y., Teng C., Sun B., Song H., Yang R. A typical endo-xylanase from *Streptomyces rameus* L2001 and its unique characteristics in xylooligosaccharide production. // Carb. Res. 2012. V. 359. P. 30–36.
9. Kaneko S., Kuno A., Muramatsu M., Iwamatsu S., Kusakabe I., Hayashi K. Purification and characterization of a family G/11 beta-xylanase from *Streptomyces olivaceoviridis* E-86. // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2000. V.64. P.447-451.
10. Lisov A.V., Belova O.V., Andreeva-Kovalevskaya Z.I., Budarina Z.I., Solonin A.A., Vinokurova N.G., Leontievsky A.A. Recombinant xylanase from *Streptomyces coelicolor* Ac-738: characterization and the effect on xylan-containing products. // W. J. Microbiol. Biotechnol. 2014. V.30. P.801-8.

02.00.02

**О.В. Гребенникова, Е.И. Шиманская к.х.н., В.П. Молчанов к.х.н.**

Тверской государственной технической университет, кафедра биотехнологии и химии,  
Тверь, [omatveeva@mai.ru](mailto:omatveeva@mai.ru)

### **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТООТДЕЛЯЕМОГО КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ ПЕРОКСИДАЗЫ ДЛЯ ОКИСЛЕНИЯ 2,3,6-ТРИМЕТИЛФЕНОЛА**

*В данной работе описывается способ синтеза биокатализатора для окисления 2,3,6-триметилфенола пероксидом водорода. Биокатализатор представляет собой пероксидазу, иммобилизованную на магнитные наночастицы, которые были синтезированы методом соосаждения и полиольным методом. Для полученного биокатализатора представлены физико-химические характеристики: просвечивающая электронная микроскопия, изучение магнитных характеристик с помощью вибрационного магнитометра и низкотемпературная адсорбция азотом.*

Ключевые слова: *магнитные наночастицы, пероксидаза, иммобилизация, окисление.*

В последние годы в качестве носителей для иммобилизации ферментов в биотехнологии используют магнитные наночастицы [1-3]. Использование последних имеет такое преимущество, как простота отделения гетерогенного катализатора от реакционной среды с помощью внешнего магнита [4]. Так, пероксидазу, которую применяют для окисления фенольных соединений, все чаще иммобилизуют на магнитные носители.

В данной работе предлагается магнитоотделяемый катализатор на основе пероксидазы, иммобилизованной на магнитные наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , для окисления 2,3,6-триметилфенола пероксидом водорода до 2,3,5-триметилгидрохинона (полупродукта витамина Е).

Из множества существующих способов получения магнитных наночастиц, были выбраны для сравнения метод соосаждения и полиольный метод. Оба способа отличаются простотой синтеза и доступностью реагентов [5-6]. Для выбора эффективного носителя синтезированные наночастицы исследовались с помощью физико-химических методов, таких как просвечивающая электронная микроскопия, изучение магнитных характеристик с помощью вибрационного магнитометра и низкотемпературная адсорбция азотом.

#### **Экспериментальная часть**

По методу соосаждения смесь солей железа (25 мл, 2.8 г  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и 5.2 г  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) при постоянном перемешивании по каплям добавляли к 250 мл, 1.5 М раствора  $\text{NaOH}$ . Затем, оксид железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в виде черного осадка от реакционной среды отделяли с помощью неодимового магнита и несколько раз промывали этанолом.

В полиольном методе изучались два растворителя этиленгликоль и 1,2-пропиленгликоль. В химическом стакане были полностью растворены в 30 мл этиленгликоля (или 1,2-пропиленгликоля)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (3 ммоль), янтарная кислота (1 ммоль) и мочевины (30 ммоль). Затем раствор выдерживался 4 ч при 200 °С в автоклаве из нержавеющей стали (Parr Instr.). Полученные наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  отделялись с помощью неодимового магнита и несколько раз промывались этанолом.

Для иммобилизации пероксидазы наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  обрабатывались 3-аминопропилтриэтоксисиланом (АПТС, 2 мкл/мл) для модификации поверхности носителя реакционноспособными аминогруппами. Затем на модифицированный оксид железа наносилась пероксидаза (HRP, 0.15 мг/мл).

Изучение магнитных наночастиц методом просвечивающей электронной микроскопии осуществлялось на приборе JEOL JEM1010. Намагниченность образцов измерялась с помощью вибрационного магнитометра на установке PPMS-14 фирмы Quantum Design. Методом низкотемпературная адсорбция азотом проводились измерения площади поверхности и пористости биокатализаторов на приборах BECMAN COULTER™ SA 3100™ и BECMAN COULTER™ SA-PREP™.

Полученный биокатализатор исследовался в реакции окисления 2,3,6-триметилфенола пероксидом водорода в термостатированном стеклянном реакторе, снабженном магнитной мешалкой. Анализ реакционной пробы проводился с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (Ultimate 3000 (Dionex)).

**Результаты и обсуждения**

На рисунке 1 представлены результаты просвечивающей электронной микроскопии, полученные полиольным методом при использовании этиленгликоля (Рис. 1а) и 1,2-пропиленгликоля (Рис. 1б) и методом соосаждения (Рис. 1в).

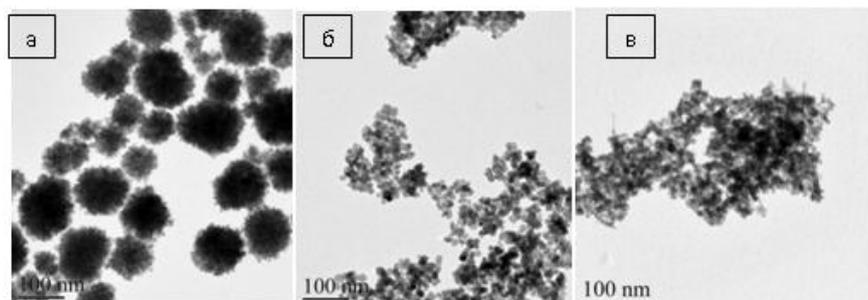


Рис. 1 – Микрофотографии наночастиц Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, полученных: полиольным методом с использованием а) этиленгликоля, в) 1,2-пропиленгликоля, г) методом соосаждения

Из рис. 1а видно, наночастицы, синтезированные полиольным методом с использованием этиленгликоля собираются в крупные кластеры. В то время как наночастицы, синтезированные полиольным способом с использованием 1,2-пропиленгликоля (Рис. 1б) и методом соосаждения (Рис. 1в) не образовывали кластеров. В качестве носителя для фермента были выбраны наночастицы, синтезированные полиольным методом с использованием этиленгликоля, т.к. их морфология является более регулярной.

Для изучения магнитных свойств образцов использовались кривые намагничивания (Рис. 2), которые представляли собой зависимость удельной намагниченности (M) от величины магнитного поля (H) [6].

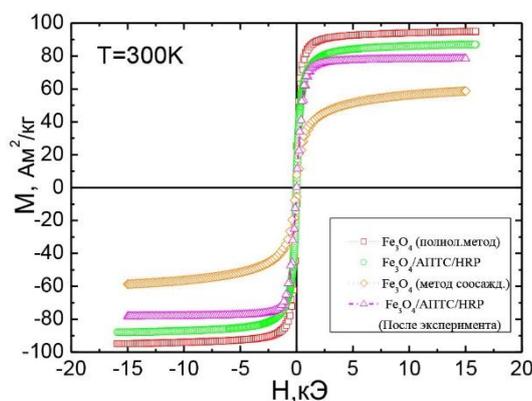


Рис. 2 – Кривые намагничивания (T = 300 К)

Рис. 2 показывает, что удельная намагниченность магнитных наночастиц, синтезированных полиольным методом выше, чем удельная намагниченность наночастиц синтезированных методом соосаждения. После иммобилизации пероксидазы на поверхность носителя и после эксперимента удельная намагниченность образцов немного снижается, что может быть связано с уменьшением магнитной восприимчивости. Наночастицы, синтезированные полиольным способом являются более предпочтительными, так как их удельная намагниченность больше, следовательно, они проще будут отделяться от реакционной среды.

Для определения удельной площади биокатализатора образцы исследовались методом низкотемпературной адсорбции азотом. В Таблице представлены значения удельных площадей поверхности биокатализатора, полученные с помощью модели полимолекулярной адсорбции (модель БЭТ).

Таблица – Удельная площадь поверхности исследуемых биокатализаторов

Образец	Площадь поверхности, м <sup>2</sup> /г
	Модель БЭТ
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	35.1
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /АПТС	33.1
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /АПТС/HRP	31.3
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /АПТС/HRP (после эксперимента)	26.4

Таблица показывает, что немодифицированные наночастицы имеют наибольшую удельную площадь поверхности. После того как образец обработали АПТС и HRP, а также после эксперимента, удельная площадь немного уменьшилась. Это может быть связано с закупориванием пор носителя.

С образцом биокатализатора на основе HRP, иммобилизованной на магнитные наночастицы (синтезированные полиольным методом), проводились эксперименты по окислению 2,3,6-триметилфенола при разной температуре. На Рис. 3 представлены кинетические зависимости концентрации продукта от времени при варьировании температуры от 30 до 40 °С.

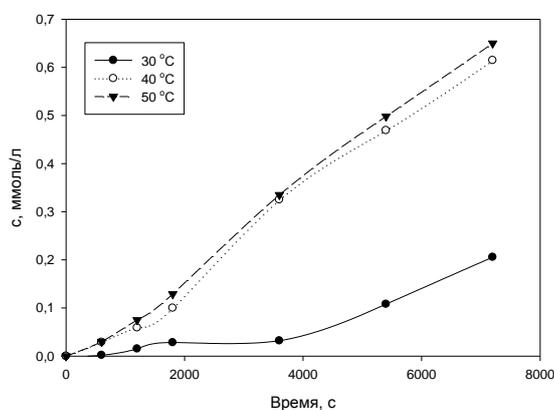


Рис. 3 – Кинетические зависимости концентрации 2,3,5-триметилгидрохинона от времени при варьировании температуры ( $c_0^{\text{ТМФ}} = 1.5$  ммоль/л,  $c_0(\text{H}_2\text{O}_2) = 1.5$  моль/л, pH 6.5,  $c_{\text{кат}} = 0.2$  г/л)

Из Рис. 3 видно, что оптимальной температурой процесса окисления 2,3,6-триметилфенола является 40 °С. При увеличении температуры выше этого значения не происходит сильного изменения концентрации готового продукта, что может быть связано с ингибированием фермента при высоких температурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 15-08-00256)

#### Список литературы

1. Ma M., Zhang Y., Yu W. et al. Preparation and characterization of magnetite nanoparticles coated by amino silane // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2003. № 212. P. 219 -/226
2. Corgie S.C., Kahawong P., Duan X. et al. Self-Assembled Complexes of Horseradish Peroxidase with Magnetic Nanoparticles Showing Enhanced Peroxidase Activity // *Adv. Funct. Mater.* 2012. № 22. P. 1940–1951
3. Deepthi S.S., Prasad I E., Reddy B. V. S. et al. Green Approach towards the Synthesis of Enantio Pure Diols Using Horse Radish Peroxidase Enzyme Immobilized on Magnetic Nanoparticles // *Green and Sustainable Chemistry*. 2014. № 4. P. 15-19
4. Polshettiwar V., Luque R., Fihri A. et al. Magnetically recoverable nanocatalysts // *American Chemical Society Chem. Rev.* 2011. № 111. P. 3036–3075
5. Jadhav S.A., Bongiovanni R. Synthesis and organic functionalization approaches for magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles // *Adv. Mat. Lett.* 2012. № 3(5). P. 356-361
6. Cheng C., Xuw F., Gu H. Facile synthesis and morphology evolution of magnetic iron oxide nanoparticles in different polyol processes // *NewJ. Chem.* 2011. № 35. P. 1072–1079

02.00.00

А.Е. Дудник, А.С. Чепурненко<sup>1</sup>, С.В. Литвинов<sup>1</sup>

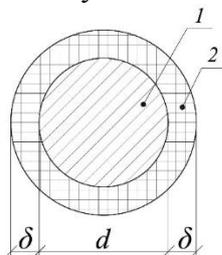
Ростовский государственный строительный университет,  
Кафедра сопротивления материалов, г. Ростов–на–Дону, litvstep@gmail.com

### НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ С ПВХ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Получено решение нестационарной задачи теплопроводности для одножильного медного кабеля с изоляцией из ПВХ-пластиката. Решение выполнено численно при помощи метода конечных элементов с учетом внутренних источников тепловыделения, а также конвективного теплообмена на границе между изоляцией и окружающей средой. Представлены графики роста температуры кабеля при различной силе тока, а также распределение температуры по толщине изоляции.

**Ключевые слова:** теплопроводность, метод конечных элементов, электрический кабель, изоляция, ПВХ-пластикаты.

Рассматривается медный одножильный кабель с диаметром сечения  $d$ . Кабель имеет однослойную изоляцию из ПВХ толщиной  $\delta$  (рис. 1).



При протекании по кабелю электрического тока  $I$ , с течением времени происходит его нагрев. При нагреве, во-первых, в кабеле возникают температурные деформации и как следствие напряжения в его изоляции. Во-вторых, температура является фактором, оказывающим сильное влияние на физико-механические характеристики материала изоляции [2].

**Рис. 1. Сечение кабеля:**

1 – медь, 2 – ПВХ

Поэтому для решения задачи термоупругости в первую очередь необходимо определить температурное поле. Будем считать, что температура кабеля по его длине не меняется, а является функцией только от  $x$  и  $y$ . Уравнение Фурье в случае плоской задачи при нестационарном температурном поле имеет вид [1]:

$$\lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho_0 c \frac{\partial T}{\partial t} - W, \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – плотность материала,  $c$  – удельная теплоемкость,  $W$  – плотность внутренних источников тепловыделения.

Пусть на границе между изоляцией и окружающей средой, температура которой равна  $T_\infty$ , происходит конвективный теплообмен. Тогда граничное условие для уравнения (1) запишется в виде [1]:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} + h(T - T_\infty) = 0, \quad (2)$$

где  $h$  – коэффициент теплоотдачи,  $n$  – нормаль к контуру изоляции.

Плотность внутренних источников тепловыделения  $W$  можно определить из закона Джоуля-Ленца. Количество теплоты  $Q$ , которое выделяется в проводнике сопротивлением  $R$  за время  $t$  при постоянной силе тока, равной  $I$ , определяется следующим образом:

$$Q = I^2 R t \quad (3)$$

Электрическое сопротивление участка проводника длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $A_0$  вычисляется следующим образом:

$$R = \rho l / A_0 \quad (4)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление.

Используя формулы (3) и (4), можно найти величину  $W$ :

$$W = \frac{Q}{tV} = \frac{I^2 \rho l / A_0}{A_0 l} = \frac{I^2 \rho}{A_0^2}. \quad (5)$$

Задачу теплопроводности будем решать при помощи метода конечных элементов. В вариационном исчислении устанавливается, что решение уравнения (1) с граничным условием (2) соответствует минимуму следующего функционала [3]:

$$\chi = \int_V \frac{1}{2} \left( \lambda \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right] - 2(W - \rho_0 c \frac{\partial T}{\partial t}) T \right) dV + \frac{1}{2} \int_S h(T - T_\infty)^2 dS. \quad (6)$$

Для частной производной температуры по времени примем линейную аппроксимацию:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_t - T_{t-\Delta t}}{\Delta t}, \quad (7)$$

где  $T_t$  – температура в текущий момент времени  $t$ ,  $T_{t-\Delta t}$  – температура в момент времени  $t - \Delta t$ .

Индекс « $t$ » у температуры в текущий момент времени далее будет опущен. Для упрощения будем считать, что длина кабеля  $l = 1$  м. С учетом (7) функционал  $\chi$  переписывается в виде:

$$\begin{aligned} \chi = & \frac{\lambda}{2} \int_V \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right] dA + \frac{\rho_0 c}{\Delta t} \int_A T^2 dA - (W + \frac{\rho_0 c T_{t-\Delta t}}{\Delta t}) \int_A T dA + \\ & + \frac{h}{2} \left( \int_S T^2 dS - 2T_\infty \int_S T dS + T_\infty^2 S \right). \end{aligned} \quad (8)$$

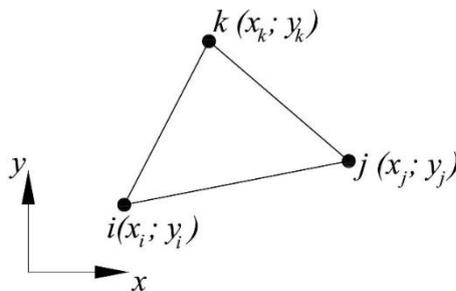
При решении задачи будем использовать треугольный симплекс-элемент, показанный на рисунке 2. Температура в пределах элемента аппроксимируется следующим образом:

$$T = N_i T_i + N_j T_j + N_k T_k = \{N_i \ N_j \ N_k\} \{T\}, \quad (9)$$

где  $\{T\}$  – вектор температур в узлах,  $N_i, N_j, N_k$  – функции формы.

$$\{N_i\} = (a_i + b_i x + c_i y) / 2A, \quad (10)$$

где  $A$  – площадь элемента,  $a_i = x_j y_k - x_k y_j$ ,  $b_i = y_j - y_k$ ,  $c_i = x_k - x_j$ .



**Рис. 2. Треугольный симплекс-элемент**

Остальные коэффициенты  $a$  и  $b$  записываются при помощи циклической замены индексов.

Поверхностные интегралы вычисляются для элементов, ребра которых попали на границу с окружающей средой. Пусть граница проходит по ребру  $ij$  элемента, тогда на этом ребре  $N_k = 0$ . Интегралы по поверхности  $S$  примут вид:

$$\begin{aligned} \int_S T dS &= \{T\}^T \int_{L_{ij}} \{N_i \ N_j \ 0\}^T dL = \{T\}^T \frac{L_{ij}}{2} \{1 \ 1 \ 0\}^T; \\ \int_S T^2 dS &= \{T\}^T \int_{L_{ij}} \begin{bmatrix} N_i^2 & N_i N_j & 0 \\ N_i N_j & N_j^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} dL \{T\} = \{T\}^T \frac{L_{ij}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \{T\}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $L_{ij}$  – длина ребра.

Аналогично вычисляются поверхностные интегралы для ребер  $ik$  и  $jk$ . Далее выполняется

минимизация функционала  $\chi$  по узловым значениям температуры  $\{T\}$ :  $\frac{\partial \chi}{\partial \{T\}} = 0$ . В итоге

задача теплопроводности сводится к системе линейных алгебраических уравнений:

$$[K]\{T\} = \{P\}, \tag{12}$$

где  $[K]$  – матрица теплопроводности,  $\{P\}$  – вектор нагрузки.

$$[K] = \frac{\lambda}{4A} \left( \begin{bmatrix} b_i^2 & b_i b_j & b_i b_k \\ b_i b_j & b_j^2 & b_j b_k \\ b_i b_k & b_j b_k & b_k^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_i^2 & c_i c_j & c_i c_k \\ c_i c_j & c_j^2 & c_j c_k \\ c_i c_k & c_j c_k & c_k^2 \end{bmatrix} \right) + \frac{\rho_0 CA}{12\Delta t} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} + \int_S h \begin{bmatrix} N_i^2 & N_i N_j & N_i N_k \\ N_i N_j & N_j^2 & N_j N_k \\ N_i N_k & N_j N_k & N_k^2 \end{bmatrix} dS. \tag{13}$$

$$\{P\} = (W + \frac{\rho_0 c T_{t-\Delta t}}{\Delta t}) \frac{A}{3} \{1 \ 1 \ 1\}^T + h T_\infty \int_S \{N_i \ N_j \ N_k\}^T dS. \tag{14}$$

Временной интервал, на котором рассматривается процесс теплопроводности, разбивается на  $N_t$  шагов  $\Delta t$ . На первом шаге при  $t = \Delta t$  температура в предыдущий момент времени  $T_{t-\Delta t}$  равна температуре окружающей среды  $T_\infty$ . Зная температуру в момент времени  $T_{t-\Delta t}$ , можно найти вектор  $\{P\}$  и затем температуру в текущий момент времени.

Была решена модельная задача при следующих исходных данных: удельное сопротивление меди  $\rho_m = 1.75 \cdot 10^{-8}$  Ом·м,  $\lambda_{\text{меди}} = 401$  Вт/(м·К),  $\lambda_{\text{ПВХ}} = 0.19$  Вт/(м·К),  $c_{\text{меди}} = 390$  Дж/(кг·К),  $c_{\text{ПВХ}} = 1050$  Дж/(кг·К), плотность меди  $\rho_{\text{меди}} = 8920$  кг/м<sup>3</sup>, плотность ПВХ  $\rho_{\text{ПВХ}} = 1350$  кг/м<sup>3</sup>,  $d = 4$  мм,  $\delta = 1.5$  мм,  $T_\infty = 30$  °С,  $h = 5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Вычисления выполнялись в математическом пакете Matlab с использованием библиотеки PDE.

На рисунке 3 приведены графики изменения температуры в центре кабеля в зависимости от времени при различных значениях силы тока  $I$ . Во всех случаях температура с течением времени приходит к конечному значению. На рисунке 4 показано распределение температуры в кабеле при  $I = 50$  А и  $t = 2$  ч. Перепад температур между внутренней и внешней поверхностью изоляции незначительный – всего 1,6 °С.

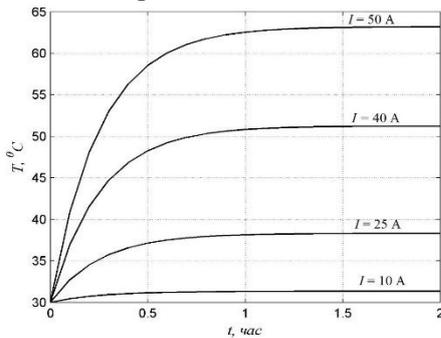


Рис. 3. Изменение температуры в центре кабеля

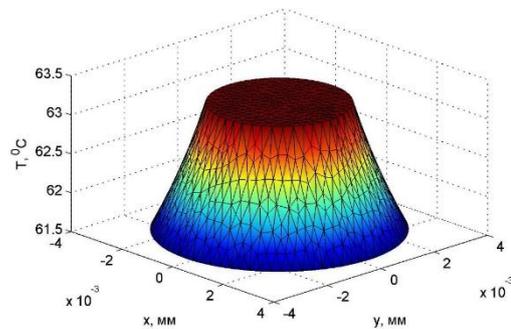


Рис. 4. Распределение температуры в кабеле при  $I = 50$  А и  $t = 2$  ч.

Отметим, что рассматриваемая задача могла быть решена в осесимметричной постановке, однако метод конечных элементов позволяет определить температурное поле для более сложных случаев, например, при многослойной изоляции, либо, когда кабель имеет несколько жил. Зная температуру в каждом конечном элементе в любой момент времени, можно перейти к решению задачи термоупругости.

**Список литературы**

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
2. Черных Л.Ф., Лозан М.В. ПВХ как материал для изготовления оконных профилей // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2010. №. 36. С. 113-124.
3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 390 с.

02.00.12

**Н.В. Лакина к.х.н., И.П. Шкилева к.х.н., В.Ю. Долуда к.х.н., В.В. Шумилов,  
О.С. Бурматова, К.Е. Сальникова, М.А. Рубин, Е.И. Шиманская к.х.н.**

Тверской государственной технической университет, кафедра биотехнологии и химии,  
Тверь, lakina@yandex.ru, science@science.tver.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БИОКАТАЛИЗАТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИНТЕЗЕ БИОДИЗЕЛЯ**

*В статье представлены результаты исследования биокатализаторов на основе липазы, иммобилизованной на модифицированную поверхность магнитных наночастиц. При обработке поверхности магнитных наночастиц модифицирующим и сшивающим агентами происходит образование прочных ковалентных связей между соответствующими функциональными группами, что подтверждается данными ИК-спектроскопии образцов. Проведение реакции переэтерификации в сверхкритических условиях в присутствии таких биокатализаторов отличалось наибольшей эффективностью по сравнению с реакцией переэтерификации, проводимой при атмосферном давлении.*

**Ключевые слова:** биокатализатор, липаза, ИК-Фурье спектроскопия, реакция переэтерификации, сверхкритические условия.

Основными компонентами биодизеля являются метиловые эфиры жирных кислот. В настоящее время существует множество способов их получения. Наиболее экологически чистым способом является применение липазокатализируемой реакции переэтерификации растительных жиров, представляющие собой триглицериды жирных кислот.

На рисунке 1 представлена общая схема реакции переэтерификации.

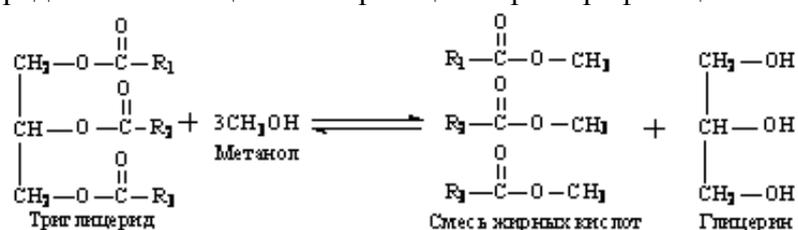


Рис. 1 Реакция переэтерификации триглицеридов жирных кислот и метанола

Наиболее перспективным направлением в изучении ферменткатализируемых реакций является использование иммобилизованных ферментов. В настоящее время этой теме посвящено большое количество работ [1-6].

В данной работе были синтезированы биокатализаторы на основе липазы, иммобилизованной на модифицированную поверхность магнитных наночастиц 3-(аминопропил)-триэтоксисиланом, исследовалась их химическая структура с помощью ИК-Фурье спектроскопии. Была проведена сравнительная характеристика активности и стабильности полученных биокатализаторов в среде сверхкритического CO<sub>2</sub> в реакции переэтерификации растительного масла и метанола. Активность биокатализаторов определялась в конце каждого эксперимента, проводимого как в среде сверхкритического диоксида углерода. Стабильность оценивалась после 10 рециклов реакции.

#### **Экспериментальная часть**

В качестве носителя фермента в данной работе использовали магнитные наночастицы, которые готовили согласно методу, основанному на реакции В. Элмора [7]. Полученные в ходе синтеза образцы биокатализатора – МНЧ, МНЧ/APTS, МНЧ/APTS/Glu, МНЧ/APTS/Glu/Lip–анализировали методом ИК-Фурье спектроскопии.

Активность исследуемых образцов (А) биокатализаторов оценивалась по модифицированному методу Андерсона-Маккарти и определялась в единицах на

миллиграмм (ед./мг) [8]. Исследования инфракрасного (ИК) поглощения проведены с помощью Фурье-спектрофотометра IRPrestige-21 (Schimadzu) в интервале волновых чисел  $5000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ .

Для проведения реакции в среде сверхкритического диоксида углерода использовался реактор высокого давления Parr Instruments 4307 (США), с общим объемом колбы  $250\text{ см}^3$  и максимальным рабочим давлением 60 МПа.

### Результаты и обсуждения

#### Изучение химической структуры биокатализаторов с помощью ИК-Фурье спектроскопии

Как следует из представленных на рис.2 данных, ИК-спектр образца МНЧ содержит полосы поглощения в областях  $3400\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ ,  $3600\text{--}3500\text{ см}^{-1}$  и  $1200\text{--}1040\text{ см}^{-1}$ , относящиеся к валентным колебаниям свободных ОН-групп на поверхности  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Пик в области  $870\text{--}680\text{ см}^{-1}$  обусловлен валентными колебаниями связи Fe–O наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

ИК-спектр образца биокатализатора, содержащего иммобилизованную липазу содержит полосы поглощения в областях  $3500\text{--}3300\text{ см}^{-1}$ ,  $1150\text{--}1050\text{ см}^{-1}$ , относящиеся, соответственно, к валентными и деформационными колебаниями –NH– группы фермента. Полосы поглощения в области  $1670\text{--}1650\text{ см}^{-1}$  и  $3300\text{--}3080\text{ см}^{-1}$  свидетельствуют о наличии пептидной связи –NH–CO–, характеризующие химическую структуру фермента, находящегося на поверхности модифицированных магнитных наночастиц. Полосы поглощения в области  $1650\text{--}1550\text{ см}^{-1}$  указывает на наличие азометиновой связи  $\text{C}=\text{N}$  между ферментом и сшивающим агентом – глутаровым диальдегидом.

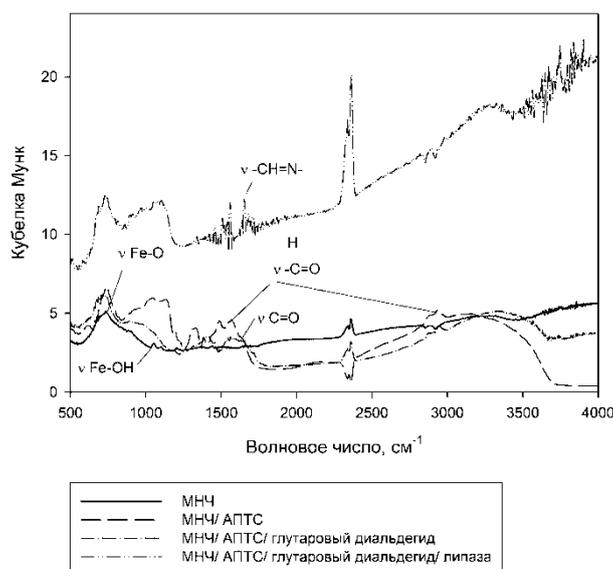


Рис. 2. ИК–спектры образцов биокатализаторов на основе МНЧ, модифицированных 3-аминопропилтриэтоксисиланом:

1 –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ; 2 –  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{APTS}$ ; 3 –  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{APTS}/\text{Glu}$ ; 4 –  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{APTS}/\text{Glu}/\text{Lip}$

На рисунке 2 представлены ИК-спектры образца биокатализатора, синтезированного с помощью модифицирующего агента APTS. Присутствие химических связей между функциональными группами модифицирующего агента APTS и –ОН группами  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  доказывает наличие пика при  $1092\text{ см}^{-1}$ , обусловленного вибрацией растяжения C–N– связи; колебание вблизи  $1045\text{ см}^{-1}$  отвечает валентным колебаниям Si–O–связи; колебания при  $850\text{--}780\text{ см}^{-1}$ ,  $1600\text{--}1540\text{ см}^{-1}$ ,  $3200\text{--}3000\text{ см}^{-1}$  обусловлены наличием –NH<sub>2</sub> группы. Также, определено наличие азометиновых связей –CH=N– между (3-аминопропил)-триэтоксисиланом и глутаровым диальдегидом, глутаровым диальдегидом и липазой ( $1650\text{--}1550\text{ см}^{-1}$ ).

### **Сравнительная оценка эффективности и стабильности биокатализаторов**

Для оценки активности и стабильности были проведены реакции переэтерификации растительных масел с метанолом в среде сверхкритического диоксида при оптимальных параметрах:  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 18.0\text{ МПа}$ , время реакции 3 ч, в нейтральной среде с использованием в качестве катализатора нативного фермента липазы ( $A = 200\text{ ед/мг}$ ), а также, синтезированных образцов биокатализаторов МНЧ/APTS/Glu/Lip.

Анализ результатов реакции переэтерификации, проведенной в среде сверхкритического  $\text{CO}_2$ , указывает на то, что в среде сверхкритического диоксида углерода активность биокатализаторов Lip, и  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{APTS}/\text{Glu}/\text{Lip}$  составила 133 ед/мг и 150 ед/мг, соответственно.

### **ВЫВОДЫ**

В работе показана перспективность изучения наиболее активных и стабильных биокатализаторов на основе магнитных наночастиц, используемых в реакции переэтерификации растительных масел в сверхкритической среде диоксида углерода с целью получения компонентов биотоплива.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант №13-08-00831).

### **Список литературы**

1. *Матвеева О.В., Лакина Н.В., Долуда В.Ю., Сульман Э.М.* // Изв.вузов. Химия и химическая технология. 2014. Т. 57. Вып. 7. С. 11-15.
2. *Dyal A., Loos K., Noto M., Chang S.W., Spagnoli C.* // Journal of the American Chemical Society. 2003. V. 125. P. 1684–1685.
3. *Cui Y., Yanfeng Li, Yong Yang, Xiao Liu, Lin Lei, Lincheng Zhou, Fei Pan.* // Biotechnology. 2010. V. 150. P. 171-174.
4. *Guncheva M.; Tashev E.; Zhiryakova D.; Tosheva T.; Tzokova N.* // Application in wax ester synthesis. Process Biochemistry. 2011. V. 46. P. 923-930.
5. *Meng X Xiao, Gang Xu, Qin-Li Zhou, Jian-Ping Wu, Li-Rong Yang.* // Food Chemistry. 2014. V. 143. P. 319-324.
6. *Jenjob S., Sunintaboon P., Inprakhon P., Anantachoke N., Reutrakul V.* // Carbohydrate Polymers. 2012. V.89. P. 842-848.
7. *Ming Ma, Yu Zhang, Wei Yu, Hao-ying Shen, Hai-gian Zhang, Ning Gu* // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2003. V.212. P. 219-226.
8. *Anderson M.M.* // Analytical Biochemistri. 1972. V.45. P.271-276.

02.00.04

**А.И. Пичугина, В.И. Луцк**

Тверской государственной технической университет,  
химико-технологический факультет, кафедра Химии,  
Тверь, pichugina\_anna\_igorevna@bk.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ МИЛЛЕРИТА В УСЛОВИЯХ РАВНОДОСТУПНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

В работе представлены результаты изучения кинетики гидролитического и окислительного растворения миллерита в растворах серной, азотной кислот и пероксида водорода. Методом вращающегося диска определены значения удельной скорости ( $W$ , моль/дм<sup>2</sup>с) перехода никеля в раствор. Получены адекватные математические модели процесса, позволяющие рассчитать скорость растворения миллерита при одновременном изменении концентрации реагентов ( $C_n$ , моль/дм<sup>3</sup>), температуры ( $T$ , К), частоты вращения диска ( $\omega$ , с<sup>-1</sup>) и продолжительности ( $\tau$ , с). Установлены режимы взаимодействия, выявлены лимитирующие стадии и рассмотрены механизмы. Рассчитаны значения эффективной энергии активации ( $E_a$ ) и константы скорости растворения миллерита ( $K_{298}$ ).

Ключевые слова: миллерит, скорость растворения, эффективная энергия активации, константа скорости, полиномиальная модель.

Извлечение цветных металлов из сульфидных соединений с использованием пирометаллургических процессов сопряжено со значительными выбросами в атмосферу токсичных продуктов и большими энергетическими затратами. Разработка экологически менее опасных гидрохимических технологий возможна после получения фундаментальных сведений по кинетике процессов растворения важнейших минералов, прежде всего в кислых средах. В связи с этим исследование кинетики и механизма растворения миллерита в растворах серной и азотной кислот, а также пероксида водорода является актуальной научной задачей.

#### **Методы исследования процессов растворения миллерита**

При выполнении работы использованы методы вращающегося диска [1], переменноточковой полярографии, атомно-абсорбционного анализа. Для изучения структуры и состояния поверхности образцов применены методы рентгенофазового анализа (РФА), рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

Сульфид никеля (II) синтезирован методом осаждения из раствора NiCl<sub>2</sub> сероводородом. По данным РФА в составе синтезированного сульфида основным компонентом является миллерит 86%.

Удельную скорость растворения оценивали по количеству катионов Ni<sup>2+</sup>, переходящих в раствор за единицу времени с единицы площади поверхности диска ( $Q$ , моль/дм<sup>2</sup>). При значительной продолжительности опыта >100 мин во всех случаях наблюдали линейную зависимость переходящего в раствор никеля ( $Q$ , моль/дм<sup>2</sup>) от времени ( $\tau$ , с) [2, 3].

#### **Результаты и обсуждения**

Для выбранных реагентов (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>) исследовали зависимости удельной скорости ( $W$ , моль/дм<sup>2</sup>с) от молярной концентрации эквивалента этих соединений (рис. 1).

Анализируя зависимости, представленные на рис.1 выбирали область эксперимента, используя метод полного факторного эксперимента (ПФЭ) строили полиномиальные модели исследуемых процессов. Для упрощения задачи построения модели в качестве функции отклика брали lg( $W$ ), а влияющие факторы представлены в виде lg( $C$ ), 1/ $T$  и lg( $\omega$ ).

Растворение NiS в серной кислоте в диапазоне значений  $0.5 \leq C_n(\text{H}_2\text{SO}_4) \leq 5.0$ ,  $293 \leq T \leq 323$  К и  $1.6 \leq \omega \leq 10$  с<sup>-1</sup> получена адекватная полиномиальная модель, преобразованная в уравнение:

$$W = 3.98 \cdot 10^{-6} \cdot C^{0.02} \cdot e^{-1847/T} \cdot \omega^0. \quad (1)$$

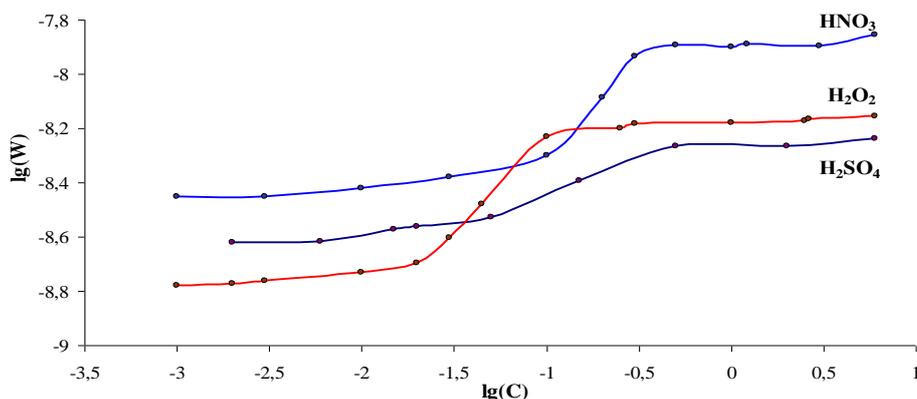


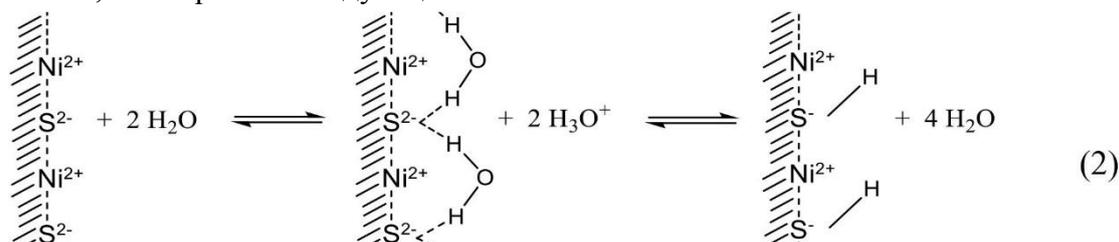
Рис. 1 - Влияние молярной концентрации эквивалента реагентов на удельную скорость растворения миллерита при 298 К и  $\omega = 10 \text{ с}^{-1}$

Из (1) следует: порядок по  $\text{H}_2\text{SO}_4$  практически нулевой; частота вращения диска не влияет на скорость процесса;  $E_a = 15.4 \pm 0.6 \text{ кДж/моль}$ ;  $K_{298} = 8.09 \cdot 10^{-9} \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-1.9} \cdot \text{с}^{-1}$  при 298 К. Это соответствует кинетическому режиму протекания процесса.

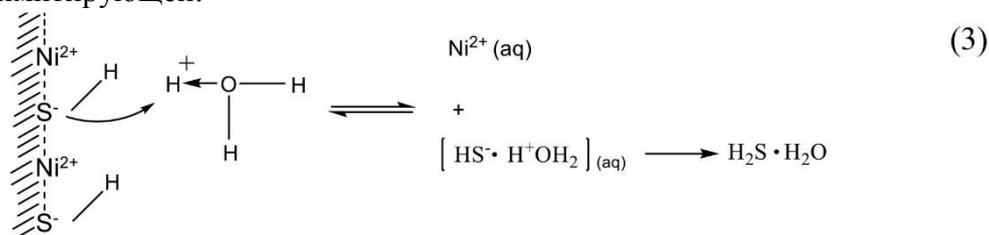
Отдельными опытами показано, что гидратация [2] миллерита является необходимой стадией его растворения в серной кислоте.

Процесс не сопровождается окислением сульфидной серы, что подтверждено результатами исследования методом РФЭС и СЗМ, на которых отсутствует элементная сера. Обсуждаемый механизм является гидролитическим.

Предполагаемый механизм взаимодействия сульфида никеля (II) с растворами серной кислоты включает стадии гидратации и последующей протонизации гидратированной поверхности, что отражает следующая схема:



Дальнейшей стадией процесса растворения является гидролитическое взаимодействие протонированной поверхности с ионами гидроксония, с последующим образованием неустойчивых соединений, разлагающихся на сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) и  $\text{H}_2\text{O}$ . Стадия гидролитического разложения продуктов гидратации поверхности предположительно является лимитирующей:



Она включает адсорбцию  $\text{H}_3\text{O}^+$  на протонированной поверхности миллерита. Нулевой порядок по серной кислоте при её концентрации выше  $1 \text{ моль} \cdot \text{экв} / \text{дм}^3$  показывает, что наиболее медленной стадией выступает адсорбция ионов гидроксония, и процесс протекает в условиях адсорбционного насыщения.

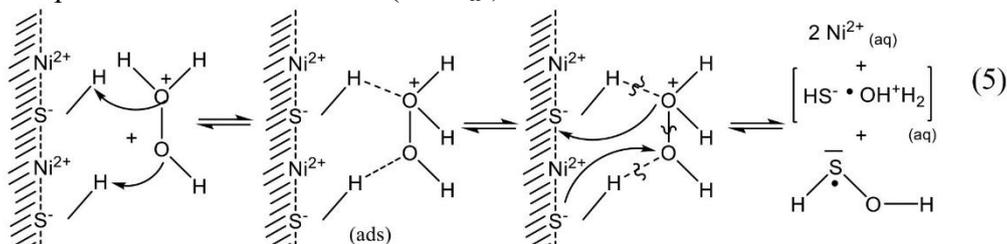
Растворение миллерита в присутствии пероксида водорода при  $C_{\text{H}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.25 - 2.5 \text{ моль} \cdot \text{экв} / \text{дм}^3$  при  $293 \leq T \leq 323 \text{ К}$  и  $1.6 \leq \omega \leq 10 \text{ с}^{-1}$  описывает уравнение:

$$W = 8.31 \cdot 10^{-7} \cdot c^{0.1} \cdot e^{-1405/T} \omega^0. \quad (4)$$

Согласно (4) порядок по  $\text{H}_2\text{O}_2$  практически нулевой; частота вращения диска и продолжительность растворения не влияет на скорость процесса;  $K_{298} = 7.46 \cdot 10^{-9} \text{ моль}^{0.9} \cdot \text{дм}^{-1.7} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $E_a = 11.7 \pm 0.2 \text{ кДж/моль}$ .

Отметим, что рН раствора  $H_2O_2$  при его эквивалентной концентрации 1 моль·экв/дм<sup>3</sup> составляет 2.8. В растворах  $H_2SO_4$  при такой же концентрации ионов  $H^+$  скорость растворения миллерита в 2.5 раза ниже наблюдаемой для серной кислоты. Следовательно, в растворах пероксида водорода механизм растворения окислительный. При этом исследование поверхности NiS методом СЗМ и РФЭС не показывает присутствия на ней серы.

В этих условиях  $H_2O_2$  существует в форме гидроксилгидроксония, который адсорбируется (схема 5) на поверхности сульфида (вероятная лимитирующая стадия). Процесс протекает в условиях адсорбционного насыщения ( $W \sim C_H^0$ ).

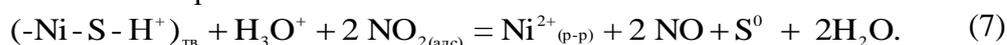


Для растворения миллерита в  $HNO_3$  при  $C = 0.5 - 3$  моль/дм<sup>3</sup>,  $T = 323 - 293$  К, и  $\omega$  от 1.6 до  $10 \text{ с}^{-1}$  справедливо уравнение скорости:

$$W = 3.3 \cdot 10^{-7} \cdot c^{0.82-218/T} \cdot e^{-683/T} \omega^0. \quad (6)$$

Модель (6) отражает взаимное влияние концентрации кислоты и температуры. Порядок по кислоте изменяется от 0 при 293 К до 0.14 при 323 К близок к нулю. Частота вращения диска не влияет на скорость процесса.  $K_{298} = 1.39 \cdot 10^{-7}$  моль<sup>0.9</sup>·дм<sup>-1.6</sup>·с<sup>-1</sup>,  $E_a$  возрастает по мере увеличения концентрации кислоты от  $3.6 \pm 0.3$  кДж·моль<sup>-1</sup> при  $C = 0.5$  моль/дм<sup>3</sup> до  $6.8 \pm 0.3$  кДж·моль<sup>-1</sup> при  $C = 3.0$  моль/дм<sup>3</sup>.

Процесс растворения NiS в  $HNO_3$  при  $C > 0.3$  моль/дм<sup>3</sup> протекает значительно быстрее, чем в  $H_2SO_4$ . Что свидетельствует об окислительном механизме растворения. Первой и необходимой стадией процесса является гидратация, за которой следует протонизация реакционной поверхности. Затем протекает окисление:



Лимитирующей стадией, вероятно, является адсорбция  $NO_2$ , образующегося в результате разложения  $HNO_3$ .

### Заключение

Исследована кинетика гидролитического и окислительного растворения синтезированного миллерита в растворах серной кислоты, пероксида водорода, азотной кислоты методом вращающегося диска в условиях равнодоступной поверхности. Изучены зависимости удельной скорости этих процессов от концентрации реагента, температуры, интенсивности перемешивания и продолжительности взаимодействия. Построенные адекватные математические модели процессов растворения миллерита и полученные при их физико-химической интерпретации кинетические характеристики могут быть использованы для разработки перспективных технологий гидрохимического извлечения никеля из сульфидного сырья.

### Список литературы

1. Луцк В.И., Соболев А.Е. Кинетика гидролитического и окислительного растворения сульфидов металлов //Тверь.: ТГТУ, 2009. 140 с.
2. Пичугина А.И., Луцк В.И. Скорость взаимодействия сульфида никеля (II) с азотной кислотой//Вестник Тверского государственного технического университета. 2012. № 20. С. 130-133.
3. Пичугина А.И., Луцк В.И., Епифанова Н.А. Кинетика гидролитического и окислительного растворения сульфида никеля (II) в кислой среде//Вестник Тверского государственного университета. Серия «Химия». 2014. №2. С. 82-88.

02.00.10

**Е.А. Прутенская<sup>1</sup> к.б.н., И.В. Ущатовский<sup>1,2</sup> к.б.н., Э.М. Сульман<sup>1</sup> д.х.н., А.С. Васильев<sup>1</sup>**

Тверской государственной технической университет<sup>1</sup>,  
кафедра Биотехнологии и химии, г.Тверь, prutenskaya@mail.ru  
ФГБНУ ВНИИМЛ, г.Тверь<sup>2</sup>

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ КАК БИОСТИМУЛЯТОРОВ НА СЕМЕНАХ ЛЬНА**

*В работе показано, что гуминовые вещества торфа, не зависимо от их происхождения, в оптимальных дозах стимулируют прорастание семян льна, увеличивают сырую биомассу проростков. Гуминовые вещества повышают неспецифическую устойчивость семян в стрессовых условиях. Показано разнообразие отклика сортов льна в широком диапазоне концентраций – от стимуляции до ингибирования ростовых процессов.*

Ключевые слова: *гуминовые вещества торфа, лён, стрессовые условия.*

**Введение.** Одним из интенсивно изучаемых классов соединений, относимых к биостимуляторам, являются гуминовые вещества (ГВ). Гуминовые вещества оказывают прямое физиологическое влияние на растения, что проявляется в повышении проницаемости клеточных мембран, увеличении активности ферментов дыхания и т.д. [1].

Очевидно, что ГВ из сырья различного происхождения имеют различный состав компонентов [2]. В определенной степени этим объясняется различная степень отклика биологических объектов на обработки гуминовыми веществами, отмечаемая на многих сельскохозяйственных культурах и, особенно, в стрессовых условиях [3-5]. В связи с этим актуальной становится проблема стандартизации промышленных гуминовых препаратов [4].

Целью данной работы является изучение влияния гуминовых веществ из образцов торфа различного происхождения на прорастание семян льна при оптимальных и пониженных температурах.

**Экспериментальная часть.** В качестве объекта исследований использовали семена льна-долгунца двух сортов селекции ФГБНУ ВНИИЛ (г.Торжок, Тверской обл.) - Ленок и Новоторжский.

Обработку посевного материала осуществляли гуматами калия низинного торфа из двух месторождений Тверской области – Лихославльского (ГВ<sub>л</sub>) и Васильевского мха (ГВ<sub>вм</sub>). Выделение гуминовых веществ (ГВ) из образцов осуществляли по традиционной схеме [5]. Диапазон примененных концентраций составил от 0,12 до 6,33 г/л [1,3,4]. Контролем для прорастания семян служила водопроводная вода. Проращивание семян проводили в двух температурных режимах: в термостате при температуре 20-22<sup>0</sup>С и в холодильной камере при 3-4<sup>0</sup>С.

**Результаты и их обсуждение.** Энергия прорастания семян (ЭП) рассматривается как один из качественных показателей семенного материала, имеющий прогностический характер. Высокая ЭП, в большинстве случаев, позволяет успешную реализацию сортового потенциала в оптимальных условиях вегетации поэтому, использование стимуляторов для повышения ЭП является одним из широко используемых приемов в растениеводстве.

Полученные результаты выявили различия в исходном уровне энергии прорастания (контроль) двух изученных сортов при оптимальном температурном режиме (20-22<sup>0</sup>С). ЭП Ленка была значительно выше, чем у Новоторжского – 98% и 68%, соответственно. При изначально высоком уровне ЭП нецелесообразно использование стимуляторов для повышения именно этого показателя, т.к. увеличение до максимально возможной величины (100%) находится в пределах статистической ошибки опыта. В случае с сортом Ленок это составило 2%. Тогда как использование ГВ при проращивании семян Новоторжского привело к значимому (на 25% от исходного уровня) увеличению ЭП - 85% в варианте с концентрацией ГВ<sub>вм</sub> 2.71 г/л. Оценка всех изученных вариантов выявила непрямолинейную зависимость ЭП от увеличения концентрации ГВ. Проведенный дисперсионный анализ

данных указывал на значимость отклика ЭП на два изученных фактора - сорт и концентрацию ГВ. Тогда как третий изученный фактор - источник ГВ не оказал значимого влияния на ЭП.

Данные по прорастанию семян льна в растворах ГВ указывают, что в изученном диапазоне концентраций выявлен не только стимулирующий, но и ингибирующий ЭП эффект, наблюдаемый у обоих сортов в варианте с ГВ<sub>ВМ</sub> 6,33%. Данный эффект снижения ЭП может быть связан с избыточной концентрацией ГВ. Таким образом, объясним узкий интервал эффективных концентраций гуминовых веществ, рекомендуемый для стимуляции сельскохозяйственных культур. Однако, эти предположения нуждаются в дальнейших исследованиях.

Оценка развития льна, выполненная на основе учета сырой биомассы проростков, на 10 сутки опыта подтверждает наличие интервала стимулирующих и ингибирующих концентраций, отмеченных при анализе ЭП (рис.1).

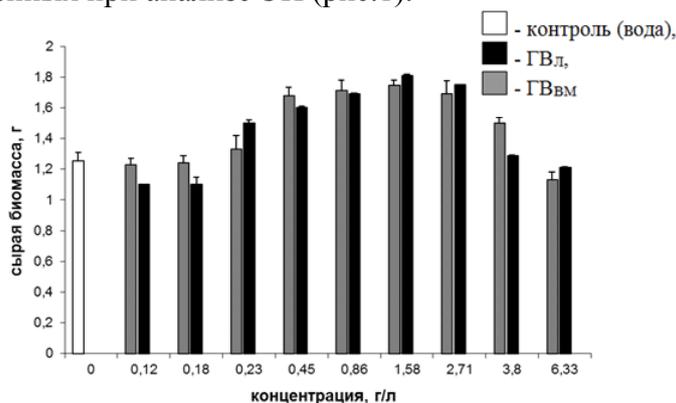


Рис. 1– Ростстимулирующая активность ГВ на этапе прорастания семян льна сорта Ленок

Эффективность ГВ<sub>л</sub> наблюдалась в диапазоне концентраций от 0,45 до 2,71 г/л. У ГВ<sub>ВМ</sub> данный эффект проявлялся в диапазоне от 0,23 до 1,58 г/л. Многофакторный дисперсионный анализ прироста биомассы не выявил значимого отклика на фактор «источник ГВ», тогда как сорт и концентрация были значимыми факторами [6]. Способность гуминовых субстанций к мелкодисперсной растворимости в воде приводит к повышенной способности их проникновения в растения, тогда как концентрации более 6 г/л имеют большую дисперсность по сравнению с другими растворами.

Оценка прорастания семян льна в растворах ГВ при низких температурах, моделирующих стрессовые условия, показала сходный результат по ЭП и по накоплению сырой биомассы. Прорастание семян сорта Ленок при низкой температуре началось только на 3-и сутки, но обработка ГВ<sub>ВМ</sub> привела к почти трёхкратному превышению проросших семян над контролем. Реакция по приросту сырой биомассы проростков льна в зависимости от влияния ГВ была, в целом, подобна реакции при оптимальных температурах, но имела ряд отличий (рис.2).

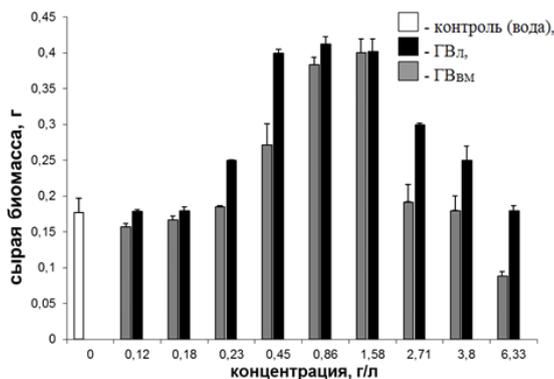


Рис.2 – Ростстимулирующая активность ГВ при прорастании семян льна в условиях низкой температуры (сорт Ленок)

Диапазон стимулирующих концентраций ГВ представляет более узкий интервал, но реакции отклика в относительных величинах значительно больше, чем при оптимальных условиях. Высокая концентрация ГВ - 6,33 г/л и при пониженных температурах также оказала ингибирующее действие. Дисперсионный анализ выявил значимость влияния на биомассу в низкотемпературных условиях всех изученных факторов – источника ГВ, сорта и концентрации ГВ. Стимулирующее действие ГВ<sub>ВМ</sub> было более выраженным, чем ГВ<sub>Л</sub>.

Полученные данные согласуются с исследованиями на различных культурах, указывающих на значимость положительных эффектов от использования гуминовых препаратов в экстремальных условиях [6]. Обработка ГВ не предотвращала замедления ростовых процессов в условиях низких температур, но стимулирование роста, т.е. линейные размеры корешка и гипокотыля, в вариантах обработки, были больше (в относительных величинах), чем в контроле. Этот эффект отмечен и на общей биомассе проростков.

Стимуляция роста проростков льна-долгунца – общая реакция на гуминовые вещества. Однако, необходимо учитывать имеющуюся сортоспецифичность в отклике на ГВ. В случае пониженных температур сорт Ленок оказался более отзывчивым на ГВ, чем Новоторжский.

В целом, обработка ГВ оказала благоприятное действие на прорастание семян, что лежит в основе использования стимулирующих веществ в растениеводстве для увеличения дружности всходов как в оптимальных, так и в стрессовых условиях [1,4,6].

Таким образом, препараты ГВ из торфяных месторождений Тверской области характеризуются ростстимулирующей активностью на первых этапах развития льна-долгунца и способностью повышать неспецифическую устойчивость, что определяет их большую практическую значимость для увеличения продуктивности различных сельскохозяйственных культур.

#### **Список литературы**

1. Чудинова Ю.В. Влияние препаратов гуминовой природы на продуктивность льна. //Достижения науки и техники АПК. 2010. №12. С.38-39
2. Прутенская Е.А., Косивцов Ю.Ю., Быстрова Г.И. Характеристика гуминовых кислот различного происхождения. Вестник Тверского государственного технического университета. 2008. № 13. С. 246-249.
3. Belopukhov S.L., Grishina E.A., Dmitrevskaya I.I., Lukomets V.M., Uschapovsky I.V. Effect of humic-fulvic complex on flax fiber and seed yield characteristics. Известия ТСХА. 2015. вып. 4. С.71-81.
4. Якименко О.С., Терехова В.А. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации // Почвоведение.2011. №11. С. 1334-1343.
5. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации/ Д.С. Орлов. - М.: Изд-во МГУ. 1990. 325с.
6. Ghanifathi T., Shahryari R., Mollasadeghi V. Effect of potassium humate on early growth of Gobustan wheat variety. African Journal of Biotechnology. 2012. Vol. 11(5). pp.1123-1126.

02.00.15

**В.В. Шумилов<sup>1,2,3</sup>, Л. Нура<sup>3</sup> д.х.н., Д.Ю. Мурзин<sup>3</sup> д.х.н., Э.М. Сульман<sup>1</sup> д.х.н.**<sup>1</sup>Тверской государственной технической университет, кафедра биотехнологии и химии, Тверь, Россия<sup>2</sup>Тверской государственной университет, кафедра физической химии, Тверь, Россия<sup>3</sup>Abo Akademi University, Турку, Финляндия

vladimir.shumilov42@mail.ru, lhupa@abo.fi, dmurzin@abo.fi, sulman@online.tver.ru

## КАТАЛИТИЧЕСКИЕ НОСИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Целью настоящего исследования является изучение возможности проведения реакций гидрирования и восстановительного аминирования на основе пористой керамической каталитической системы. Приведен обзор пористых материалов, применяемых в химической промышленности. Рассмотрены основные методы производства пористой керамики, используемой в гетерогенном катализе. Осуществлен подбор и оптимизация подходящей технологии создания пористого каталитического носителя, пригодного для проведения искомым реакций.*

Ключевые слова: *пористые материалы, каталитический носитель, гидрирование, восстановительное аминирование.*

### Введение

Пористые материалы с разными типами и размерами пор, изготовленные из керамики, полимеров или металлов, широко применяются в химической промышленности. Уникальные свойства пористых материалов делают их востребованными в таких процессах, как катализ, изоляция и теплозащита, фильтрация, эндопротезирование.

Настоящая статья дает обзор свойств, методов производства, направлений использования пористой керамики. Наиболее подробно авторы рассматривают применимость пористых керамических материалов в реакциях гетерогенного катализа.

### Пористая керамика

За последние годы интерес к пористой керамике неуклонно возрастает. Керамика имеет преимущества перед металлами и полимерами, которые заключаются в коррозионной стойкости, устойчивости к высоким температурам, возможности длительного использования при минимальной изнашиваемости.

Керамическая пена является легким и прочным материалом с ячеистой структурой, состоящей из открытых или закрытых пор.

Типичными материалами, используемыми при создании керамических пен, являются карбид кремния (SiC), оксид алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), оксид циркония (ZnO<sub>2</sub>), оксид титана (TiO<sub>2</sub>), оксид кремния (SiO<sub>2</sub>) [1].

Проницаемость и прочность пористых материалов обратнозависимы [2,3]. При увеличении пористости и размера пор увеличивается проницаемость и уменьшается прочность.

Блочные (сотовые) и пористые катализаторы, изготавливаемые из керамики, применяются в тех процессах, где нежелателен большой перепад давления.

Площадь поверхности, еще одно важнейшее свойство неорганического материала, зависит как от пористости, так и от размера и формы частиц, образующих материал. Это свойство является критичным, если материал предназначен для использования в качестве каталитического носителя. В данной работе был использован оксид алюминия в альфа-фазе (корунд), который был выбран в связи с высокими прочностными характеристиками. Корунд также имеет недостаток – его площадь поверхности низка и недостаточна для нанесения активного каталитического компонента. Поэтому дополнительно на поверхность был нанесен оксид алюминия в гамма-фазе, с низкой прочностью из-за «дефектной»

кристаллической решетки, но обладающий развитой площадью поверхности (до 296 м<sup>2</sup>/г в данном исследовании).

Наибольшее значение в процессах гетерогенного катализа имеет перенос вещества и тепла внутри пористой частицы катализатора. Молекулярная диффузия в пористых телах, аналогичная молекулярной диффузии в объеме, наблюдается только для систем с крупными порами при относительно высокой плотности газа и в тех случаях, когда поры полностью заполнены жидкостью.

Также высокопористой керамике соответствуют малая кажущаяся плотность в сочетании с достаточной конструктивной прочностью, малая теплопроводность, низкая диэлектрическая проницаемость.

### **Методы производства пористой керамики**

Существуют различные методы изготовления пористой структуры в керамических изделиях.

Эти методы можно разделить на следующие основные способы:

1. Введение в керамическую суспензию добавок, а затем их удаление с помощью различных процессов, что приводит к образованию пор.

2. Введение в исходную композицию пористых наполнителей.

3. Образование в керамической суспензии пузырьков газа при введении газа механическим путем, разложения хотя бы одного из компонентов массы или выделяющегося газа в результате химических реакций, с последующим закреплением структуры при сушке и обжиге.

Одним из наиболее эффективных способов является метод реплики, состоящий в нанесении керамической суспензии на поверхность полиуретановой (ПУ) губки с открытыми порами и последующем выжигании полимерного каркаса. На рисунке 1 изображены каталитические носители в различных стадиях изготовления.



Рис. 1 – подготовленная ПУ матрица; ПУ матрица, с керамической суспензией на поверхности; пористый керамический носитель

Пены, полученные этим методом, характеризуются высокой механической прочностью, могут обладать порозностью между 20% и 90% и варьруемым размером пор [4]. Материал, предназначенный для использования в качестве каталитического носителя, должен быть высокопроницаем для химических реагентов.

В качестве альтернативы используется метод литья гелем, в котором пенообразующий агент добавляется в керамическую суспензию, после чего смесь вспенивается механическим путем [5].

Еще один метод – производство пористой керамики с помощью метода пустотелых гранул [6, 7]. Эта технология подразумевает уменьшение объемной массы изделий при введении в суспензию пористых наполнителей или пустотелых гранул, имеющих как природное, так и искусственное происхождение.

Использование метода консолидации крахмала является привлекательным ввиду дешевизны и экологической безопасности [8]. В данном методе крахмал является гелеобразующим агентом. Шликер, содержащий крахмал, керамический порошок и воду, перемешивают, после чего прессуют, формуют, коагулируют, сушат и обжигают.

### **Способы применения пористых керамических материалов**

Керамические пены находят множество способов применения: как легковесные материалы, огнеупорная футеровка, биоматериалы, фильтры пыли, расплавов металла, сажи, горячих газов, используются в сенсорах и силовых приводах, биореакторах.

В статье [9] авторы описывают три интересных проекта, в которых применены пористые материалы.

В первом случае пены из муллита, изготовленные методом реплики ПУ матрицы, были созданы для удаления интерметаллидов из расплава алюминия. Другим проектом является захват частиц сажи для дизельных двигателей. Разработанный материал обеспечивал фильтр минимальным перепадом давления, плотность и размер пор тщательно подбирались. В третьем исследовании пены, изготовленные различными методами, были применены для производства основ для костных имплантатов.

Характеристиками индустриальных каталитических процессов являются высокие температуры и давления, коррозионные среды и необходимость в интенсивном перемешивании. Каталитические системы должны отвечать подобным требованиям особой прочностью, высокими показателями тепло- и массопереноса, сохраняя при этом развитую площадь поверхности.

Каталитические носители имеют три основных функции: (i) увеличить площадь поверхности катализатора, (ii) улучшить гидрофобные свойства и термическую, гидrolитическую и химическую стабильность, (iii) увеличить срок службы катализатора [9]. Носитель также может увеличить каталитическую активность, выступая в роли сокатализатора.

Материалы с иерархической структурой пор привлекают внимание своими свойствами массопереноса и мультифункциональностью. К примеру, цеолиты, обладающие такой структурой, являются эффективным решением для проблемы массопереноса, типичной для цеолитов в каталитических реакциях [10].

В настоящем исследовании, методом реплики ПУ матрицы был получен каталитический носитель на основе корунда (макропористая структура) с увеличенной площадью поверхности за счет нанесения дополнительного слоя оксида алюминия в гамма-фазе (мезопористый слой). Каталитически активный компонент – платина – был нанесен путем прокачивания раствора гексахлорплатиновой кислоты через носитель с последующим восстановлением. Катализатор был протестирован в реакции гидрирования этилбензоилформиата в R- и S-манделаты. Конверсия составила 81%, селективность 87 %.

### **Заключение**

Выбранная структура катализатора показала свою эффективность в гетерогенном катализе. Проведенный литературный обзор показал необходимость использования пористых каталитических систем в химической индустрии.

### **Список литературы**

1. *Montanaro L.* [et al.] Ceramic foams by powder processing // J. Eur. Ceram. Soc. 1998. №18. P. 1339-1350.
2. *Sharafat S.* [et al.] Breeder foam: An innovative solid breeder material for fusion application // J. Am. Ceram. Soc. 2006. №81. P. 455-460.
3. *Dhara S.* [et al.] A simple direct casting route to ceramic foams // J. Am. Ceram. Soc. 2003. №86. P. 1645-1650.
4. *Stuart A.R.* [et al.] Processing routes to macroporousceramics // J. Am. Ceram. Soc., 2006. №89. P. 1771–1789
5. *Sepulveda P.*, Gelcasting of foams for porous ceramics // J. Am. Ceram. Soc. 1997.№76.P.61-65.
6. *Thijs I.* [et al.] Producing ceramic hollow spheres // J. Am. Ceram. Soc. 2003. №87.P.170–172
7. *Zivcova Z.* [et al.] Thermal conductivity of porous alumina ceramics prepared using starch as a pore-forming agent // J. Eur. Ceram. Soc. 2009. №29
8. *Luyten J.* [et al.] Different methods to synthesize ceramic foams // J. Eur. Ceram. Soc. 2009. №29. P. 829-832
9. *Matatov-Meytal Y., Sheintuch M.* Catalytic abatement of water pollutants // Industrial & engineering chemistry research. 1998. №37 P. 309-326
10. *Xiaoyun LI* [et al.] Synthesis and applications of hierarchically porous catalysts //Chinese Journal of Catalysis. 2013. №34. P. 22–47

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

05.13.01

**С.Б. Андреев**

Костромской государственной технологической университет,  
факультет автоматизированных систем и технологий,  
кафедра информационных технологий и защиты информации,  
Кострома, andrejevsvb@gmail.com

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫМ  
ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ РЕСУРСОВ  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В данной статье представлен системный подход к управлению на основе анализа использованных ресурсов предприятия с проекцией на конечные продукты в разрезе статей затрат.*

Ключевые слова: *управление, бизнес-процесс, контроллинг, многономенклатурное производство.*

В условиях многономенклатурного производства возникает проблема отнесения различных видов ресурсов на себестоимость конечного продукта. Современные информационные системы не позволяют осуществлять сбор и анализ себестоимости в режиме реального времени, ее анализ можно осуществлять только по завершения технологических циклов, действующих на предприятии. Это создает ряд сложностей при принятии управленческих решений.

В данной статье в качестве концепции повышения эффективности управления многономенклатурным производством предлагается системный подход к управлению на основе анализа использованных ресурсов предприятия с проекцией на конечные продукты в разрезе статей затрат.

Работа выполнена с использованием нового инструментального средства «COBRA++», который позволяет проектировать бизнес-процессы, создавать регламенты сбора и анализа информации и осуществлять сборку интегрированных показателей о состоянии производственного процесса [1-4].

Основная идея данной концепции заключается в повышении эффективности стратегического и оперативного управления предприятием посредством создания методической и информационно-аналитической управляющей системы, представляющей собой синтез элементов планирования, учета, контроля и анализа. Получившаяся интегрированная информационная система позволит управлять проекцией затрат из которых складывается будущая себестоимость продукции. Под проекцией затрат понимается их отношение к конкретному изделию на конкретном этапе его жизненного цикла.

В основе данной концепции лежит интеграция систем менеджмента и контроллинга, в результате которой получившаяся интегрированная система обладает отличными качествами в целом по сравнению с отдельно менеджментом и контроллингом. Результирующий синергетический эффект заключается в том, что, используя новые инструментальные средства управления, соединение создает новое качество – можно управлять проекцией на конечный продукт в разрезе статей затрат многономенклатурного производства. В существующих подходах к управлению, как правило, преобладает ретроспективный, т.е. управление по конечному результату, который не позволяет оперативно решать возникающие производственные проблемы [5].

Предлагаемый в данной статье подход к управлению включает в себя: механизм прямой связи (постановка целей и задач системой менеджмента системе контроллинга), мониторинга (процедура отслеживания отклонений плановых показателей от фактических, проводимых в

режиме реального времени), обратной связи (представление полученных результатов отклонений менеджменту предприятия), координации (обеспечение бесперебойности, непрерывности, согласования целей систем менеджмента и контроллинга, их интеграция в единое целое).

В условиях неопределенности, когда нет стабильного перечня вариантов исполнения номенклатурного ряда, версий продукта, с учетом влияния изменения стоимости ресурсов, в условиях нестабильности экономической системы, возможного влияния комплекса возмущающих факторов внешней среды, смены поставщиков и т.п. предсказать себестоимость конечного продукта затруднительно [6].

Реализация предлагаемого подхода состоит в поэтапном выполнении следующих шагов:

1. Выбор целевого процесса управления.

На данном этапе проводится декомпозиция технологической системы, определение точек съема информации о преобразовании ресурсов в технологическом процессе. Сферы ответственности, находящиеся между соседними точками съема информации можно определить как центр ответственности.

2. Выделение центров ответственности.

Деление организации на центры ответственности определяется спецификой конкретного процесса и отвечает следующим основным требованиям:

- центры ответственности необходимо увязать с производственной структурой предприятия;
- необходимо определить сферу полномочий и ответственности каждого центра ответственности (отвечает только за те показатели, которые он может контролировать);
- во главе каждого центра ответственности назначается ответственное лицо;
- в каждом центре ответственности осуществляется проверка показателей для измерения объема деятельности, которые должны поддаваться измерению.

3. Привязка информационной системы к точкам съема информации.

На данном этапе необходимо провести фиксацию итогов исполнения этапов технологического процесса, где ресурс овеществляется (стоимость ресурса преобразуется в стоимость продукции).

Определяется общий и постатейный диапазон отклонений, который должен приводить к управленческому воздействию. Управление системой происходит распределенно, т.е. управление не сосредоточено в руках одного человека, а распределяется по системе управления. Информационный ресурс дается на центр затрат и там осуществляется его контроль. Результаты могут просматриваться линейными руководителями по всей цепочке управленческой структуры через схему Захмана.

4. Формирование регламента исполнения бизнес-процесса и съема информации.

Введем следующие определения и условные обозначения:

**Прирост стоимости (ПС)** – величина, которая показывает сколько рублей добавляется к стоимости информации (конечного продукта, работы или услуги) на конкретном этапе процесса по конкретной статье. Можно выделить два вида: нормативный и фактический. В итоговой проекции значение принимается равным фактическому, если этап завершен и нормативным, если этап обработки не завершен (незавершенное производство).

**Коэффициент прироста стоимости (КПС)** – коэффициент, который показывает долю каждой статьи каждого этапа бизнес-процесса в общей стоимости информации (конечного продукта, работы или услуги).

$$\text{КПС} = \frac{\text{ПС}}{\sum \text{ПС}}$$

**Выход (В)** – отражает количество операций по преобразованию информации на конкретном этапе процесса, приведших к увеличению итоговой стоимости информации (конечного продукта, работы или услуги) за определенный период. В общем случае это выпуск, объем продукции.

**Количество отклонений (К)** – количество случаев негативных отклонений контролируемых показателей информации (фактических значений от нормативных).

**Коэффициент отклонений (КО)** – коэффициент, который показывает долю отклонений в общем объеме выхода информации (конечного продукта, работы или услуги) на конкретном этапе процесса по конкретной статье за определенный ретроспективный период.

$$КО = \frac{К}{В}$$

**Стоимость отклонений (СО)** – вероятностная стоимость потерь в суммовом выражении, вызванных отклонениями.

$$СО = ПС * КО$$

**Коэффициент контроля (КК)** – доля вероятностной стоимости потерь на конкретном этапе процесса по конкретной статье в общей стоимости отклонений.

$$КК = \frac{СО}{\sum СО}$$

**Периодичность контроля операций (П)** – количество операций, через которые необходимо контролировать значения показателей на конкретном этапе процесса по конкретной статье.

$$П = \frac{1}{КК}$$

На данном этапе необходимо проранжировать все потоки информации по приросту добавленной стоимости к общей стоимости продукта, работы или услуги с учетом специального коэффициента, который отражает частоту возникновения отклонений по конкретной статье в конкретном центре ответственности.

Для расчета всех показателей и коэффициентов для существующих продуктов, работ, услуг используются данные прошлых периодов. Для новых продуктов, работ, услуг возможно установление показателей и коэффициентов методом аналогий.

Результат вычислений распределения ресурсов по объектам производства (владельца дерева, проекции) можно представить в виде сводной таблицы (таблица 1) или дерева проекции себестоимости, где уровнями выступают объект производства, этап, статья.

Таблица 1 – Сводная таблица показателей контроля

Этап	Статья	ПС	КПС	В	К	КО	СО	КК	П
1	1	...	...	...	...	...	...	...	...
1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	N	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	1	...	...	...	...	...	...	...	...
n	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	N	...	...	...	...	...	...	...	...

Также возможна дополнительная агрегация по статьям и этапам бизнес-процесса.

Снимаемая информация подается на интегрирующий модуль, который позволяет видеть постатейные проекции себестоимости и их значения с нарастающим итогом. Это доступно начиная с самого верхнего уровня руководства (владельцу предприятия) и можно дерево раскрыть вплоть до конкретной статьи. Ограничением в данном случае выступают настройки зоны видимости для конкретного пользователя системы в схеме Захмана.

5. Определение количества и расположения точек съема информации для контроля и принятия управленческих воздействий.

Информационные потоки выстраиваются в порядке убывания коэффициента контроля. Таким образом, для ответа на вопрос на каких этапах процесса и как часто необходимо контролировать значения показателей из таблицы 1, отсортированной по колонке КК (коэффициент контроля), необходимо оставить первые две и последние две колонки (таблица 2).

Количество строк в итоговой таблице может быть ограничено определенным законом или отбором по коэффициенту контроля выше конкретного значения.

Если на конкретном предприятии не планируется или не ведется постатейная детализация, то данные таблицы будут содержать только сводные показатели по этапам процесса.

Таблица 2 – Показатели, требующие контроля

Этап	Статья	КК	П
1	1	...	...
1	...	...	...
1	N	...	...
...	...	...	...
N	1	...	...
N	...	...	...
N	N	...	...

6. Настойка информационной системы под цель управления на конкретном предприятии.

Поставленные задачи были реализованы на высокоавтоматизированном предприятии по производству специализированной обуви DanceMaster [7-9].

Таким образом, предложенный метод проекции затрат на объекты производства на этапах жизненного цикла изделий позволяет осуществлять сбор и анализ затрат по структуре себестоимости в режиме реального времени.

#### Список литературы

1. Шведенко В.В., Щекочихин О.В., Ипатов В.А. Агрегирование данных в процессно-ориентированной СУБД «COBRA++» // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – с. 429-433.
2. Шведенко В.В., Веселова Н.С. Методика проектирования объектно-процессных систем управления предприятием на платформе ОО СУБД «COBRA++» // «Интеграл». – 2014. – № 5-6 (79-80). – с. 115.
3. Шведенко В.В., Шведенко П.В. Агрегирование данных в ОО СУБД «COBRA++» // «Интеграл». – 2014. – № 5-6 (79-80). – с. 31.
4. Шведенко В.В., Лебедев Д. Показатели адаптивной настройки объектно-процессной ИУС // «Интеграл». – 2014. – № 1 (74). – с. 89.
5. Чиков Д.Э. Информационные управленческие системы и их влияние на деятельность компании // Финансовая газета. – 2011. – № 3 (995). – с. 14-15.
6. Золотухина А.Д. Методы учета затрат и калькулирования себестоимости продукции (работ, услуг) // Аудит и финансовый анализ. – 2009. – № 2. – с. 30-38.
7. Андреев С.Б. Реализация усовершенствованного метода контроллинга на промышленном предприятии на базе объектно-процессной технологии «COBRA++» // «Интеграл». – 2014. – № 5-6 (79-80). – с. 128.
8. Шведенко В.В., Андреев С.Б. Система динамического бюджетирования деятельности предприятия на базе объектно-процессной технологии «COBRA++» // «Интеграл». – 2013. – № 3 (71). – с. 97.
9. Андреев С.Б. Теория управления себестоимостью продукции в режиме реального времени на основе метода оперативного контроллинга с учетом ее жизненного цикла // Экономика и современный менеджмент: теория и практика: сб. ст. по материалам XLVIII междунар. науч.-практ. конф. № 4 (48), часть I, Новосибирск, изд. «СибАК», 2015. – с. 112-117.

05.22.10

**В.В. Аникеев, В.А. Бузин**

Тюменский государственный нефтегазовый университет, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин, Тюмень, satm\_tsogu@mail.ru

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

*В статье рассматриваются способы очистки воздуха используемые на автотракторных двигателях с учетом типов воздухоочистителей. Проанализированы значения величин степень очистки и степени сопротивления воздуха для различных типов воздухоочистителей автотракторных двигателей. Предложен расчет степени очистки воздуха от пыли и степени сопротивления воздухоочистителя.*

Ключевые слова: *фильтрующий элемент, воздухоочиститель, степень очистки воздуха, сопротивление, ресурс двигателя.*

Запыленность воздуха – один из климатических факторов, существенно влияющих на изменение технического состояния автомобильных двигателей [1, 3, 4, 5]. Для очистки поступающего в двигатель воздуха от пыли используются воздухоочистители. К ним предъявляются следующие основные требования:

- степень очистки воздуха должна достигать 99,9-100% при минимальном сопротивлении воздухоочистителя;
- пропускная способность воздухоочистителя должна обеспечить приемлемую продолжительность его работы без технического обслуживания;
- воздухоочиститель должен быть компактным и иметь небольшой вес

Выполнение перечисленных требований является сложной технической задачей, решение которой достигается в той или иной степени выбором принципа работы и конструкции воздухоочистителя [6].

По способу очистки воздуха используемые на автотракторных двигателях воздухоочистители можно разделить на три группы: инерционные, фильтрующие и комбинированные. В зависимости от того, смачиваются ли рабочие поверхности маслом или нет, инерционные и фильтрующие воздухоочистители могут быть сухими или мокрыми. Комбинированные воздухоочистители могут быть сухими (сухая инерционная и сухая фильтрующая очистка), мокрыми (мокрая инерционная и мокрая фильтрующая очистка) или смешанными (сухая инерционная и мокрая фильтрующая очистка).

В зависимости от типа автомобиля и условий эксплуатации применяются либо одноступенчатые, либо комбинированные двухступенчатые воздухоочистители с фильтрующими элементами (ФЭ). В качестве первой ступени очистки воздуха двухступенчатых воздухоочистителей обычно используются инерционные воздухоочистители.

Основным назначением первой ступени очистки воздуха является снижение пылевой нагрузки на вторую ступень воздухоочистителя и, следовательно, увеличение продолжительности работы его до технического обслуживания.

Исходя из проведенного анализа существующих типов воздухоочистителей, по параметрам работы, а именно из одноступенчатого, двухступенчатого и масляно-инерционного, первое место занимает двухступенчатый воздухоочиститель. Рассматривая воздушную систему питания двигателя, выявляются причины, которые оказывают отрицательное воздействие на детали цилиндропоршневой группы, так как в состав пыли входят кварцевые соединения, которые оказывают абразивное воздействие на поршень и цилиндр, а при попадании пыли в масло - на подшипники коленчатого вала и распределительных валов. Повышенное содержание пыли ведет к повышению интенсивности изнашивания деталей двигателя, снижению его ресурса, увеличению потребности в запасных частях [2, 4, 9, 11].

Результаты исследований показывают, что при использовании автомобилей на грунтовых дорогах основной причиной выхода из строя двигателей до 30% является попадание слабо очищенного воздуха в цилиндры двигателя [8]. Воздух через заборник поступает для предварительной очистки в первую ступень фильтра (с инерционной решеткой). В результате резкого изменения направления потока воздуха в инерционной решетке крупные частицы пыли отделяются и под действием разряжения в диффузоре выбрасываются в атмосферу вместе с отработавшими газами. Предварительно очищенный в первой ступени воздух попадает во вторую ступень (со сменными картонным фильтрующим элементом) для более тонкой очистки, где, проникая через поры картона, оставляют на поверхности мелкие частицы пыли. По мере засорения воздушных фильтров и возрастания, вследствие этого, величины разряжения во впускном патрубке, срабатывает индикатор засоренности, сигнализируя об необходимости промывания или замены фильтрующего элемента. Сигнализирующим устройством индикатора является барабан с чередующимися по окружности полосками красного цвета, которые видны через прозрачное окно при срабатывании индикатора.

Перед началом эксплуатации сигнализирующий барабан индикатора устанавливается в исходное (рабочее) положение поворотом крышки до упора в направлении, указанном стрелкой.

При достижении предельно допустимой засоренности воздушных фильтров (разрежение во впускном патрубке возрастает до 500 мм водяного столба, в окне индикатора появляется ярко-красная окраска) требуется проведение обслуживания воздушных фильтров.

При выполнении задач различного типа автомобилем Урал-4320 в летнее время наблюдалась большая запыленность воздуха, в результате чего у данных автомобилей, оснащенных двигателями КАМАЗ-740, наблюдался выход из строя этих двигателей. В этой связи необходимо при определении периодичности обслуживания фильтров учитывать сезонные условия [8], тип дорожного покрытия, на котором используется автомобиль [7, 10].

В настоящее время для автомобилей, эксплуатируемых в сильно запыленной местности, применяют воздухоочистители с бумажным фильтрующим элементом, обеспечивающие высокую степень очистки воздуха от пыли (коэффициент пропуска бумажными фильтрами 0,1-0,3%, а инерционно-масляными очистителями - 0,5-4,5%).

При выборе типа и размеров воздухоочистителя исходят из литража и типа двигателя, а также из условий эксплуатации машины.

Наличие у двигателя воздухоочистителя может быть оправдано лишь в том случае, если последний гарантирует при данной запыленности воздуха необходимую степень очистки его от пыли.

Степень очистки воздуха от пыли можно определять по формуле

$$B = \frac{A - a}{tQS_d},$$

где  $B$  - степень очистки;

$A$  - количество пыли в граммах, поступившей вместе с воздухом в очиститель за время  $t$ ;

$a$  - количество пыли в граммах, уловленной очистителем за время  $t$ ;

$Q$  - количество воздуха, прошедшего через очиститель,  $m^3/ч$ ;

$S_d$  - пылесодержание, при котором допустима работа двигателя без воздухоочистителя,  $г/м^3$ .

$S_d$  можно принять равным пылесодержанию, имеющему место в зонах зеленых насаждений, а именно  $S_d \approx 0,001 г/м^3$ .

Если подсчитанная по формуле величина равна или меньше 1, можно считать степень очистки данного воздухоочистителя приемлемой [9].

Для определения степени сопротивления воздухоочистителя, характеризующей потерю мощности двигателя, можно использовать следующую формулу.

$$\gamma_c = \left(1 - \frac{P_o - P_B}{P_o}\right) 100\%$$

где  $p_0$  - давление окружающего воздуха, мм вод.ст.;

$p_b$  - сопротивление воздухоочистителя, мм вод.ст.

В таблице 1 приведены значения  $B$  и  $\gamma_c$  для воздухоочистителей, применяемых в настоящее время на автотракторных двигателях.

Таблица 1. Значения величин  $B$  и  $\gamma_c$  для воздухоочистителей автотракторных двигателей

Тип воздухоочистителя	Степень очистки $B$		Степень сопротивления $\gamma_c$		Материал фильтра
	воздух	запыленный воздух	чистый воздух	запыленный воздух	
Инерционные сухие	30-95	30-95	0,3-0,7	0,3-0,7	-
Фильтрующие сухие То же	1,0-3,0	0,1-1,0	0,2-0,8	0,2-2,0	Войлок Бумага
	1,0-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,3-2,0	
Комбинированные смешанные	1-2	1	0,4-1,5	1,8-2,5	Капроновая нить
Комбинированные мокрые	3-5	3-5	0,15-2,0	0,15-2,0	Проволока, капроновая нить

Данные таблице 1 свидетельствуют о низкой степени очистки инерционных воздухоочистителей и значительном влиянии фильтрующего материала на величины  $B$  и  $\gamma_c$ .

### **Список литературы**

1. Захаров, Н.С. Взаимосвязь между климатическими факторами [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Н. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 26-29.
2. Захаров Н.С. Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей // Известия вузов. Нефть и газ. - 1999. - №3. - С. 105-111.
3. Захаров, Н.С. Влияние условий эксплуатации на долговечность автомобильных шин [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. – 139 с.
4. Зиганшин, Р.А. Формирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных факторов [Текст] / Р.А. Зиганшин, Н.С. Захаров, А.В. Зиганшина // Перспективы науки. – 2013. – №10(49). – С.11-17.
5. Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М., Шефер В.В., Иванов А.А. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин (Строительные машины): учебник / – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 436 с.
6. Кузнецов Е.С., Болдин А.П., Власов В.М. Техническая эксплуатация автомобилей – М.: Наука, 2001. – 535 с.
7. Мерданов Ш.М., Машина для ремонта временных зимних дорог [Текст] / Сысоев Ю.Г., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. // Инженерный вестник Дона. 2014. Т. 29. № 2. С. 101.
8. Новоселов, О.А. Влияние сезонных условий на интенсивность эксплуатации бульдозеров при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / О.А. Новоселов, В.Н. Пермяков, Е.И. Макаров // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. – № 3. – С. 177-180.
9. Новоселов, О.А. Закономерности формирования расхода запасных частей для транспортно-технологических машин [Текст] / О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 288–290.
10. Пермяков, В.Н. Моделирование закономерностей распределения наработок на отказ бульдозеров при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Электронный ресурс] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №2. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2435> (доступ свободный). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
11. Пермяков, В.Н. Оценка надежности бульдозеров Б170М1Б.01В4 при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 199-201.9. Гнеденко Б.В., Беляев В.К., Соколов А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

05.07.05

**А.Н. Аношкин, Д.И. Федоровцев, П.В. Писарев, В.М. Осокин**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего профессионального образования "Пермский национальный исследовательский политехнический университет" (ПНИПУ) Пермь,  
pisarev85@live.ru, d.fedorovtcev@gmail.com, anoshkin@pstu.ru, osokin-kt@pstu.ru,.

**«АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТА В ВИДЕ РАССЛОЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ФЛАНЦА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

*В работе проведен анализ влияния дефекта в виде расслоения, на напряженно-деформированное состояние (НДС) фланца. Рассматриваемый дефект был помещен между первым и вторым слоем внешнего угла фланца. Отработана методика расчета НДС фланца с дефектом в виде расслоения. По результатам вычислительных экспериментов проведен анализ полей напряжений, в наиболее нагруженных участках фланца.*

Ключевые слова: *авиационные двигатели, узлы соединений, композиционные материалы, численное моделирование, дефект в виде расслоения, напряженно-деформированное состояние, фланец, слоистая модель.*

Многие полимерные композиционные материалы, в частности, применяемые в узлах авиационных двигателей, имеют слоисто-волоконистую структуру. Низкая межслойная прочность делает конструкции из ПКМ высокочувствительными к дефектам типа расслоений. Кроме того, разрушение фланцевых узлов корпусных деталей, выполненных из ПКМ, происходит именно по типу расслоения вследствие высоких нормальных и касательных напряжений на границе слоев [1-3]. Для повышения точности прогнозирования несущей способности и оценки живучести таких конструкций необходимо разрабатывать методы расчета и оценки напряженно-деформированного состояния (НДС), учитывающие возникновение в конструкциях различных дефектов, в том числе, расслоений (рис. 1).

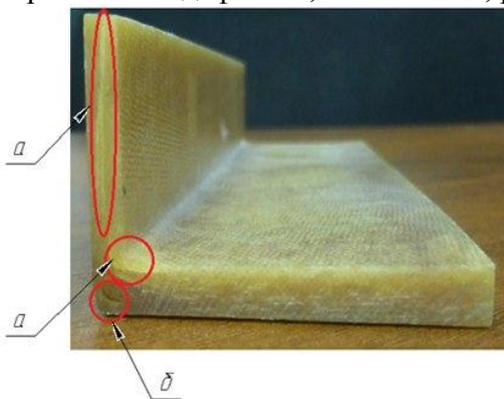


Рисунок 1 Видимые дефекты в конструкции фланца  
а – расслоение структуры материала; б – смоляные карманы

Для отработки методики численного моделирования НДС с дефектом в виде расслоения были построены две геометрические модели фланца из полимерных композиционных материалов. Общий вид геометрической модели фланца представлен на рисунке 2.

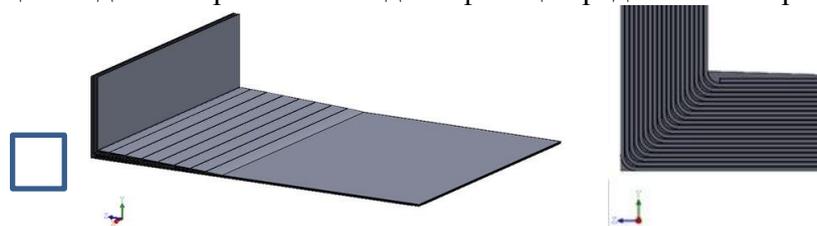
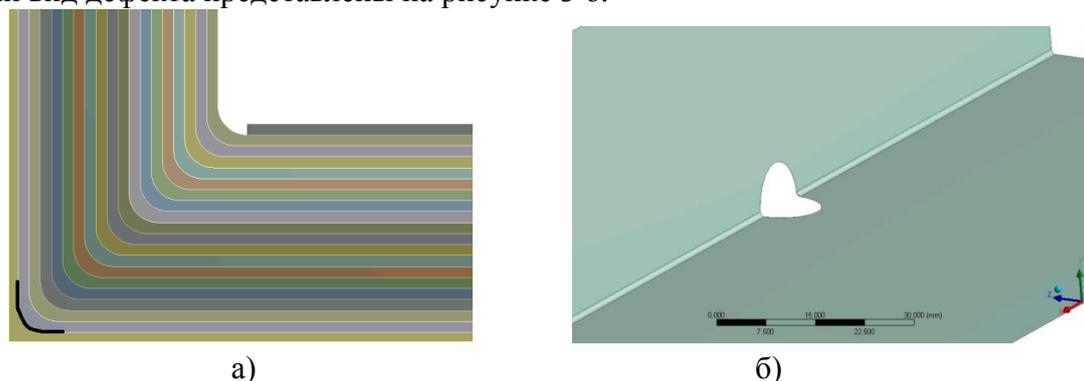


Рисунок 2. Общий вид геометрической модели.

Рассматриваемый дефект был помещен между первым и вторым слоем внешнего угла фланца, на рисунке 3 а изображено расположение дефекта между слоями материала. Дефект моделировался отсутствием контакта в заданной области. Дефект имеет размер 10 мм, форма и общий вид дефекта представлены на рисунке 3 б.



а)   
 б)   
 Рисунок 3 – Расположение дефекта в виде расслоения между слоями   
 а –расположение дефекта в разрезе расчетной модели расслоения,   
 б –форма дефекта на слое материала.

Математическая постановка стационарной задачи теории упругости для рассматриваемой неоднородной конструкции в вариационной формулировке заключается в отыскании минимума функционала Лагранжа [2], вариация которого при отсутствии массовых сил имеет вид

$$\delta J_u = \int_V \varepsilon_{ij} C_{ijkl} \delta \varepsilon_{kl} dV - \int_{S_f} F_i \cdot \delta u_i dS, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{ij}$  и  $\delta \varepsilon_{ij}$  - тензор и вариация тензора деформаций,  $C_{ijkl}$  - тензор упругих модулей,  $\delta u_i$  - вариация вектора перемещений,  $F_i$  - вектор внешних сил.

Многосвязная область  $V$  конструкции имеет внешнюю границу  $S=S_u+S_f$  и состоит из подобластей  $V^{(p)}$ , соответствующих слоям композиционного материала различной ориентации, с межслойной границей  $S_d$

Дополнительными условиями для функционала (1) являются геометрические уравнения:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}), \quad (2)$$

Таблица 1

Упругие свойства материалов

Материал	$E_{11}$ , ГПа	$E_{22}$ , ГПа	$E_{33}$ , ГПа	$G_{12}$ , ГПа	$G_{13}$ , ГПа	$G_{23}$ , ГПа	$\nu_{12}$	$\nu_{13}$	$\nu_{23}$
Стеклопластик	24,6	18,6	6	4	3	3	0,15	0,42	0,18
Смола	2,9	0	0	10	0	0	0,356	0	0
композитный стеклопластик	24	18	6	4	3	3	0,15	0,42	0,18

В качестве нагрузок задавались силы, равномерно распределенные по силовым слоям, на торце конструкции фланца задавалось жесткая заделка. Такие граничные условия соответствуют условиям нагружения образцов-сегментов, вырезанных из кожуха, при лабораторных механических испытаниях.

Конфигурация расчетной сетки принималась следующая. Для лучшей сходимости решения и снижения погрешностей получаемых результатов генерировалась расчетная сетка, ячейки которой имеют призматическую форму. Общее количество расчетных элементов составило 700 тысяч. На рисунке 5 представлен общий вид конечно элементной сетки в разрезе.

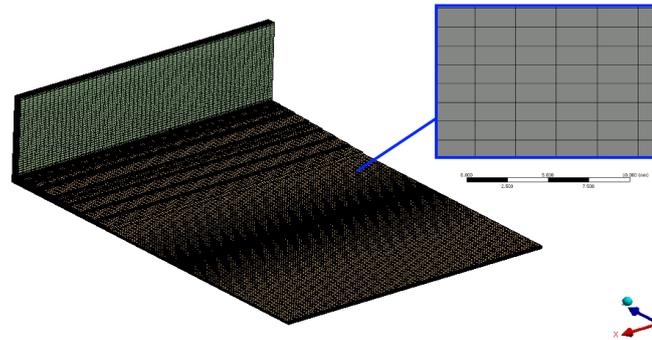


Рис. 5 Общий вид конечно-элементной сетки в изометрии.

По результатам вычислительных экспериментов были получены картины напряженно-деформированного состояния для всех слоев фланца, так как напряженное состояние трехосное то в качестве расчетных напряжений приведены эквивалентные напряжения по критерию Мизеса. На рисунке 6 представлено распределение эквивалентных напряжений для модели без дефекта в плоскости симметрии.

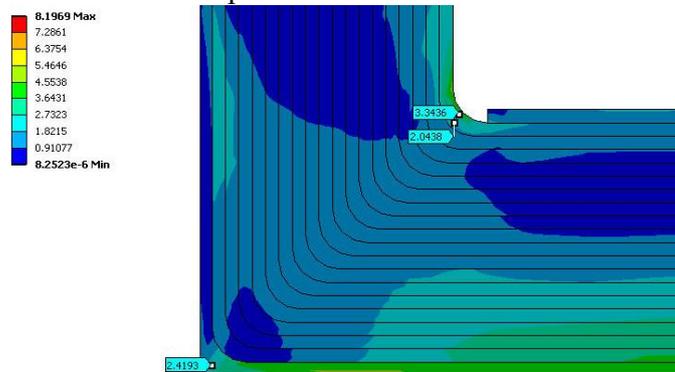


Рисунок – 6 Поле распределения эквивалентных напряжений для модели без дефекта в плоскости симметрии.

Анализ распределения полей напряжений (в глобальной системе координат) для расчетного варианта без дефекта показывает, что они достигают наибольшего значения в окрестности зоны перегиба слоев, в районе внутреннего угла фланца и проходят по всей длине внутреннего угла фланца. При этом, максимальные значения эквивалентных напряжений возникают на поверхности первого слоя, их значения составили 3,43 МПа.

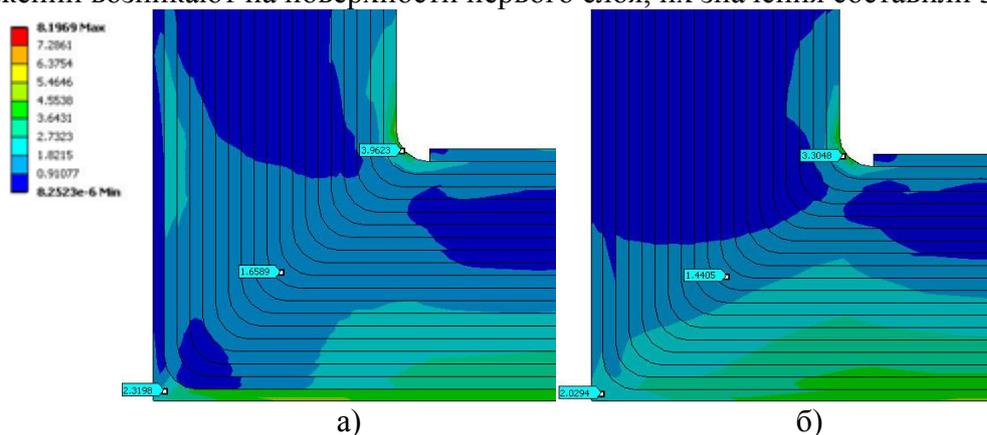


Рисунок – 7 Поле распределения эквивалентных напряжений для модели с дефектом: а - в плоскости симметрии, б - в плоскости между дефектом и краем фланца.

При рассмотрении результатов численно моделирования для модели с дефектом в плоскости симметрии рисунок 7 а, обнаружилось, что область максимальных напряжений совпадает с областью высоких напряжений для модели без дефектов. При этом характерные размеры области повышенных напряжений увеличились для модели с дефектом. Значение максимальных эквивалентных напряжений на поверхности первого слоя составило 3,96 МПа, т.е. произошло усиление максимальных напряжений на 13 %.

При рассмотрении результатов численно моделирования для модели с дефектом в плоскости между дефектом и краем фланца, обнаружилось незначительное снижение максимальных напряжений 3,34 МПа.

В рамках исследования отработана методика расчета НДС фланцев в трехмерной постановке. Обнаружено увеличение характерных размеров области повышенных напряжений для модели с дефектом и усиление максимальных напряжений на 13% в первом внутреннем слое в районе перегиба слоев.

*Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда по теме «Создание портативной установки для микрофокусной рентгенографии с целью оперативного контроля микроструктуры, физико-химических свойств и определения остаточного ресурса авиационных деталей и узлов из полимерных композиционных материалов». Номер проекта 15-19-00259.*

#### **Список литературы**

1. *Рубцов С.М.* Полимерные волокнистые композиты в конструкции турбовентиляторного авиационного двигателя ПС-90А // Конверсия в машиностроении. –2007. –№3. – С. 19–26.
2. *А.Н. Аношкин, А.А. Ташкинов.* Прогнозирование несущей способности композитных фланцев корпусных деталей авиадвигателей. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 1998. – 101 с.
3. *Thomas Joffre, Arttu Miettinen, Erik L.G. Wernersson, Per Isaksson, E. Kristofer Gamstedt.* Effects of defects on the tensile strength of short-fibre composite materials // Mechanics of Materials Volume 75, August 2014, Pages 125–134.

05.13.10

**Р.Г. Асадуллаев, И.С. Шаповалова, А.В. Кисиленко**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, институт инженерных технологий и естественных наук, кафедра прикладной информатики и информационных технологий,  
Белгород, asadullaev@bsu.edu.ru, shapovalova@bsu.edu.ru, kisilenko@bsu.edu.ru

### **РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ В ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРЕ**

*В представленной статье авторы освещают проблему управления и оценки социальных рисков, возникающих в техногенной сфере. Выявлены особенности процесса оценки социальных рисков с точки зрения его автоматизации. Определены и систематизированы факторы, детерминирующие возникновение риска. Построена функциональная модель оценки социальных рисков, учитывающая экспертные знания и специфику техногенной сферы.*

Ключевые слова: *функциональная модель, оценка риска, техногенная сфера, база знаний, рискогенные факторы, рискогенная отрасль.*

Управление рисками, в том числе социальными, является сложной многокритериальной задачей, при решении которой особое внимание должно уделяться анализу рисков, то есть идентификации потенциальных угроз, определению их характеристик и оценке текущего состояния риска. Использование методологии оценки риска ориентирует нас в части приоритетных факторов негативного воздействия и в конечном итоге позволяет обосновывать и принимать оптимальные управленческие решения в отношении источников опасности при осуществлении комплекса мер по нейтрализации рисков или минимизации их до приемлемого уровня. В работе [1] авторами представлена функциональная схема процесса управления социальными рисками и систематизированы параметры и факторы, учет которых необходим для адекватной оценки социальных рисков. В данной схеме управления используются модели «параметр-фактор» и «фактор-социальный риск», однако не приводится формального описания работы моделей, что и обуславливает актуальность настоящей статьи.

Перед построением модели необходимо определить основные элементы в форме теоретико-множественного описания, взаимосвязь которых будет отражать процесс ее функционирования. При этом модель на описанном наборе будет выдавать адекватные результаты лишь для техногенной сферы. В случае применения модели к другим сферам среды обитания человека (например, социокультурной, природно-экологической) будет необходима корректировка модели как по набору входных параметров, так возможно и взаимоотношениям между ее элементами. В качестве основополагающих блоков модели мы выделяем следующие элементы [1]:

1. Множество  $SR = \{sr_i\}$ ,  $i = \overline{1, k}$ , элементами которого являются социальные риски  $|SR| = k = 4$ .

2. Множество  $CHTS = \{chts_i\}$ ,  $i = \overline{1, p}$ , элементами которого являются чрезвычайные ситуации техногенного характера  $|CHTS| = p = 11$ .

3. Множество  $RO = \{ro_i\}$ ,  $i = \overline{1, f}$ , содержащее все возможные рискогенные отрасли в техногенной сфере  $|RO| = f = 21$ .

4. Множество  $RF = \{rf_i\}$ ,  $i = \overline{1, d}$ , элементами которого являются рискогенные факторы  $|RF| = d = 8$ .

5. Множество  $MSR = \{msr_i\}$ ,  $i = \overline{1, s}$ , содержащее в качестве элементов меры по снижению техногенных рисков  $|MSR| = s = 13$ .

Эмпирические данные (Всероссийский экспертный опрос, апрель-июнь 2015 г.), характеризующие состояние техногенной сферы среды обитания человека, фиксируют зависимость уровня социального риска от нескольких показателей. Ключевыми из них являются вероятность возникновения чрезвычайных техногенных ситуаций и эффективность мер по снижению техногенных рисков. В свою очередь, вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера детерминирована влиянием представленных в регионе рискогенных отраслей и факторов.

Многокритериальность задачи оценки риска заключается в том, что в цепочке расчета уровня риска постоянно требуется определение интегрального показателя  $I$ , который можно получить, например, посредством матриц свертки [2] либо на основании нечетких множеств [3]. Использование интегрального показателя  $I$  обусловлено следующим:

- в каждом регионе присутствует несколько рискогенных отраслей с различной степенью представленности;
- каждый рискогенный фактор в определенной степени оказывает влияние на каждый вид риска;
- на социальный риск влияет определенная группа чрезвычайных техногенных ситуаций, определяемых на основании наличия в регионе рискогенных отраслей;
- эффективность мер снижения техногенных рисков определяется в зависимости от уровня их применения в регионе.

На основании выделенных множеств элементов, принимающих участие в процессе оценки уровня риска и заключения о целесообразности использования в расчетах интегральных показателей, разработана функциональная модель процесса оценки социальных рисков в техногенной сфере (рисунок 1). Модель состоит из следующих элементов:

- база данных, содержащая сведения о рискогенных факторах, отраслях и другие параметры необходимые для оценки социальных рисков. При этом источниками информации для БД являются инфологические модели предметной области, выраженные в форме графиков, таблиц, документов, результатов социологических исследований и экспертных знаний;
- база знаний, содержащая правила расчета индексов и оценки уровня социального риска в техногенной сфере;

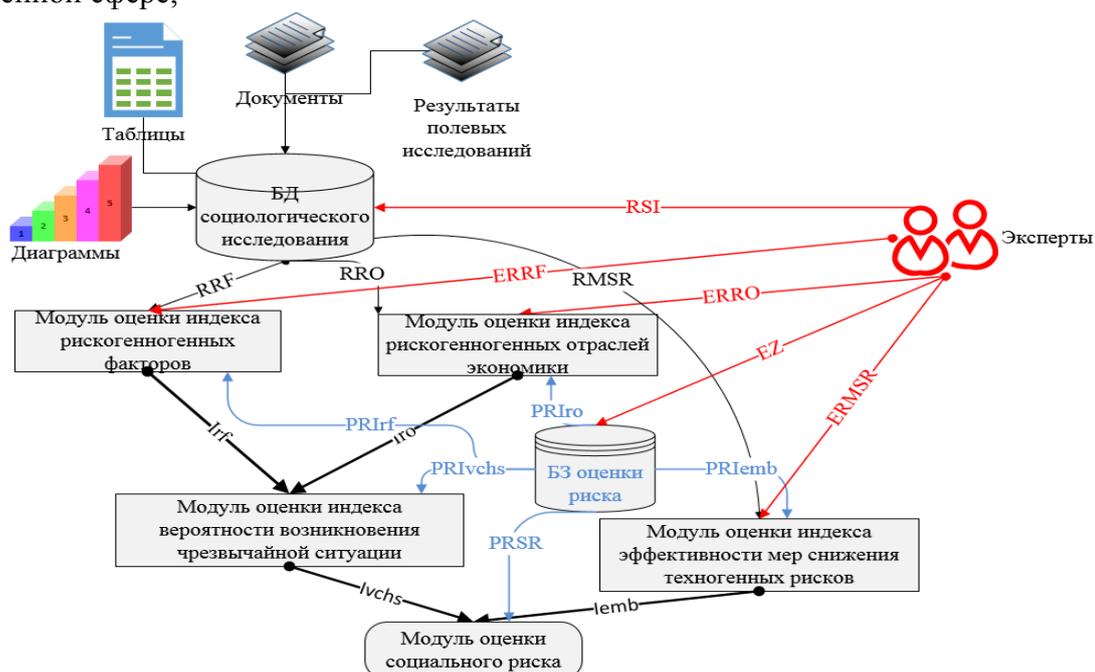


Рис. 1 - Функциональная модель процесса оценки рисков в техногенной сфере

– эксперт, выступающий, с одной стороны, как пользователь модели, с другой стороны, способный напрямую сформировать сами индексы или же правила их расчета;

– модули оценки индексов – аналитические средства расчета интегральных показателей с учетом сведений из БД и правил из БЗ.

В процессе расчета риска БД передает модулям следующую информацию  $RRF \subseteq RF$ ,  $RRO \subseteq RO$ ,  $RMSR \subseteq MSR$  (о рискогенных факторах, рискогенных отраслях и мерах снижения рисков). Жирными черными линиями обозначены каналы обмена информацией между модулями ( $Irf$  – индекс рискогенных факторов,  $Iro$  – индекс рискогенных отраслей,  $Ivchs$  – индекс вероятности возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций,  $Iembrf$  – индекс эффективности мер снижения техногенных рисков). Линии синего цвета соответствуют информационным каналам обмена с БЗ, по которым передаются правила расчета индексов. Здесь подписи каналов аналогичны каналам обмена информацией между модулями, за исключением приставки  $PR$  – правила. Каналы обмена информацией с экспертов выделены красным цветом и обозначают введенные экспертом ( $RSI$  – результаты оценки экспертного мнения,  $ERRF$  – рискогенные факторы,  $ERRO$  – рискогенные отрасли,  $EZ$  – знания в БЗ,  $ERMSR$  – меры снижения техногенных рисков). При этом эксперт самостоятельно оценивает уровень проявления введенных параметров относительно заявленного региона.

В том случае, когда с моделью работает пользователь ему необходимо лишь ввести регион и риск, который он желает оценить. На основании статистической информации и экспертных знаниях модель оценит пользователю уровень риска.

Таким образом, разработана функциональная модель оценки рисков в техногенной сфере, основанная на модулях оценки индексов факторов, оказывающих влияние на динамику рисков. При этом в модели учтены экспертные знания и результаты полевых исследований, являющиеся базой для оценки рисков. Модель позволяет самостоятельно оценивать факторы и вносить коррективы в процесс оценки рисков. Данная модель может служить основанием для расчета социальных рисков и в других сферах обитания человека с учетом корректировки экспертных знаний и дополнительных полевых исследований.

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

### Список литературы

1. Асадуллаев, Р.Г. Формальные средства прогнозирования и управления социальными рисками [Текст] / Р.Г. Асадуллаев, В.В. Ломакин // Научные ведомости Белгородского государственного университета: научный журнал. – Белгород: Издательский дом «Белгород». – 2015. – №13(210) вып. 35/1. – С. 150-156.
2. Ломакин, В.В. Система поддержки принятия решений с автоматизированными средствами корректировки суждений экспертов [Текст] / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко // Научные ведомости Белгородского государственного университета: научный журнал. – Белгород: Издательский дом «Белгород». – 2014. – №1(172) вып. 29/1. – С. 114-120.
3. Рыжаков, В.В. Алгоритмические и утилитарные методики диагностирования состояния объектов техносферы на основе нечеткой информации и элементов искусственных нейронов [Текст] / В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. – Пенза: ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет». – 2011. – №26. – С. 635-640.

05.02.02

**Л.В. Беляев к.т.н., А.Б. Иванченко к.т.н., А.В. Жданов к.т.н.**

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, blv\_vlsu@mail.ru

### **ПРИМЕНЕНИЕ CAD/CAM/CAE/RP/PLM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА**

*В данной статье рассматривается подход к проектированию пульсирующих систем искусственного сердца на основе применения CAD/CAM/CAE/RP/PLM-технологий, который реализован путем замены части физических экспериментальных исследований на численные, осуществляемые при помощи компьютерного моделирования и информационной поддержки каждого этапа проектирования.*

Ключевые слова: *искусственное сердце, ИПИ-технологии, CAD/CAM/CAE/RP-системы.*

Создание сложных изделий медицинского назначения, таких как имплантируемые системы искусственного сердца (ИС), сопряжено с решением комплекса технических, биологических, биохимических и медицинских задач. Разработка указанных систем связана с постоянным анализом и оценкой явлений, требующих привлечения специалистов из различных областей науки и техники, что превращает разработку систем в длительный многоэтапный процесс. Решение данных задач только на основе сравнительных экспериментальных исследований разных вариантов конструкций, путем последовательного приближения функциональных характеристик систем к требуемым параметрам, заложенным в медико-технических требованиях, влечет за собой удорожание конструкции и увеличивает сроки выпуска готового изделия.

В этой связи перспективным является направление, связанное с разработкой нового подхода на основе применения ИПИ-технологий, обеспечивающего информационную поддержку изделия на всех стадиях жизненного цикла. Приоритетным направлением технологии проектирования систем ИС представляется направление по созданию средств и методов автоматизации проектирования на базе CAD/CAM/CAE/RP-систем. Это позволяет не только сокращать сроки и исключать ошибки при проектировании, но и дает возможность промоделировать работу созданного объекта в условиях эксплуатации, автоматизировать процесс изготовления, в условиях жесткой конкуренции оперативно переходить на производство новых изделий или на новые технологии производства.

В данной статье рассматривается подход к проектированию пульсирующих систем ИС на основе применения CAD/CAM/CAE/RP/PLM-технологий, который реализован путем замены части физических экспериментальных исследований на численные, осуществляемые при помощи компьютерного моделирования и информационной поддержки каждого этапа проектирования.

Процесс проектирования начинается с формулирования и анализа требований, предъявляемых к имплантируемым системам ИС, которые формулируются в виде технического задания на изготовление изделия [1]. Следующим является этап геометрического моделирования, на котором происходит создание и геометрический анализ твердотельных моделей (рис. 1), которые являются основой для всех следующих этапов создания изделия.

После проведения декомпозиции прорабатываются отдельные элементы систем ИС. Например, одним из важных этапов является этап анализа гемодинамических явлений в камере насоса крови. Гемодинамический анализ включает создание математических моделей гидродинамики, разбиение твердотельной модели на конечные элементы, назначение краевых условий, проведение конечно-элементного анализа, определение индекса гемолиза [2] (рис. 2) и основных показателей течения жидкости в камере насоса крови. Результатом гемодинамического анализа является модификация ранее созданной твердотельной геометрии насоса крови с учетом заданных показателей по гемодинамике.

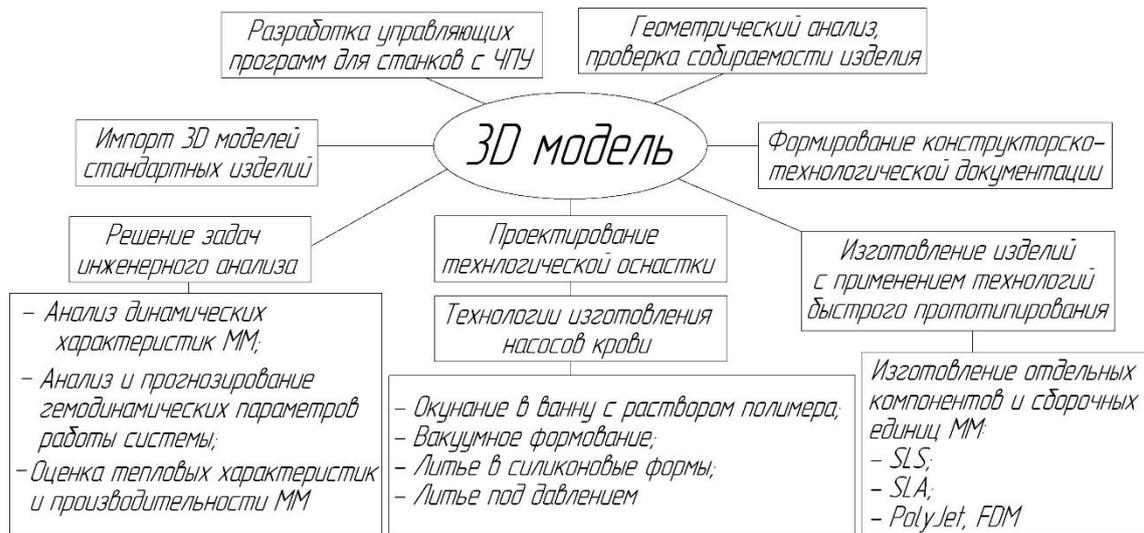


Рис. 1 – Реализация методики проектирования систем ИС на основе трехмерного моделирования

Для остальных элементов систем ИС решаются свои виды научно-инженерных задач: определение динамических показателей работы исполнительного привода, оценка тепловых потерь, определение напряженно-деформированного состояния элементов исполнительного механизма и др., позволяющие получить оптимальные решения.

После получения геометрии, отвечающей заданным показателям гемодинамики, целесообразно изготовить прототип с применением технологий быстрого прототипирования, которые позволяют получить как отдельные детали устройства, так и сборку изделия в целом. Обзор технологий быстрого прототипирования и возможность создания прототипов имплантируемых систем ИС рассмотрены в работе [3].

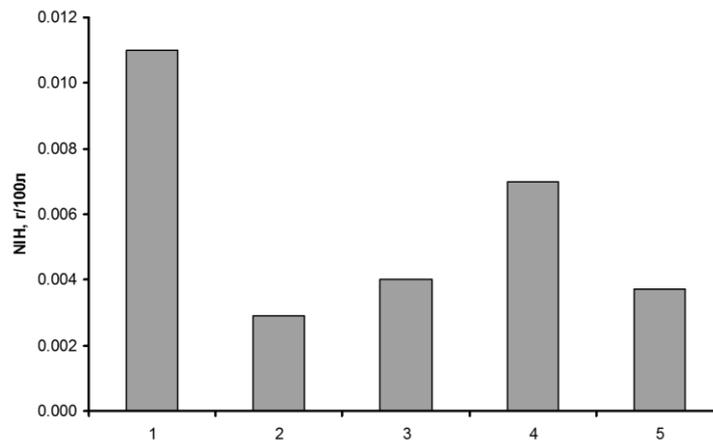


Рис. 2 – Индекс гемолиза (НИН) различных конструкций ИС: 1 – система «Ясень»; 2 – система «CentriMag®»; 3 – система «Medtronic BP-80»; 4 – система «GYRO®»; 5 – разработанная конструкция ИС

После создания прототипа необходимо провести гидродинамические испытания образца с целью определения производительности изделия (рис. 3). Методики проведения испытания, конструкции стендов и влияние химического состава и свойств модельных жидкостей описаны в работах [4, 5].

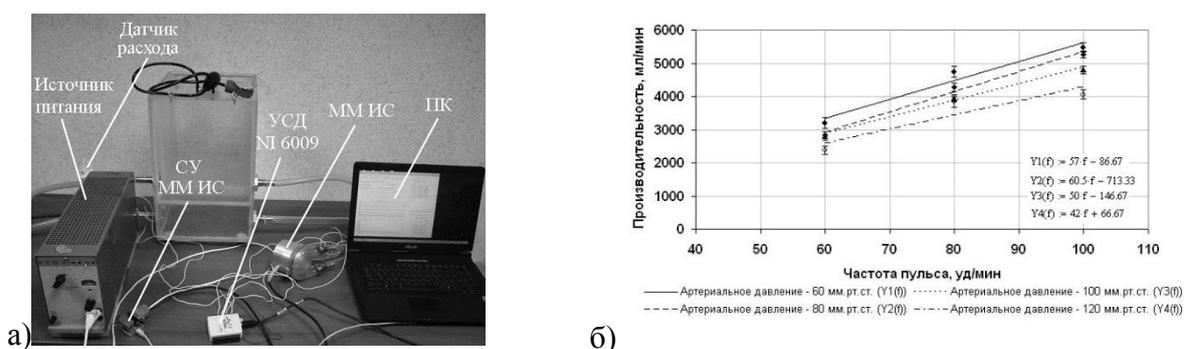


Рис. 3 – Гидродинамические испытания системы ИС: а) фотография стенда; б) результаты испытаний. На рисунке обозначено: ММ ИС – мехатронный модуль системы искусственного сердца, УСД – устройство сбора данных, СУ – система управления

Этап технологической подготовки производства начинается с выбора материала и анализа технологий для его переработки [6]. Итогом проведения этапа технологической подготовки производства является выбор материала и технологии изготовления изделия, отработка технологии изготовления, а так же изготовление оснастки для выбранного метода получения изделия. Каждый из описанных этапов проектирования был реализован на основе соответствующего программного обеспечения: геометрическое моделирование – CAD/CAM/CAE-система Pro/Engineer WF 5 (PTC, США); проектирование оснастки и подготовка конструкторско-технологической документации CAD/CAM/CAE-система Pro/Engineer WF 5 (PTC, США); оценка динамических показателей работы системы – высокоуровневый язык технических расчетов MathLab (The MathWorks, Inc, США); численные экспериментальные исследования – CAE-система Ansys CFX (ANSYS, Inc., США); натурные экспериментальные исследования – система сбора и обработки данных LabView (National Instruments, США); изготовление прототипов системы – система подготовки моделей Magic RP (Materialise NV, Бельгия); управление данными о проекте – PLM-система Windchill PDMLink (PTC, США).

Схема описанной выше методики проектирования имплантируемых систем ИС, отражающая обратные связи между отдельными этапами проектирования представлена на рис. 4.

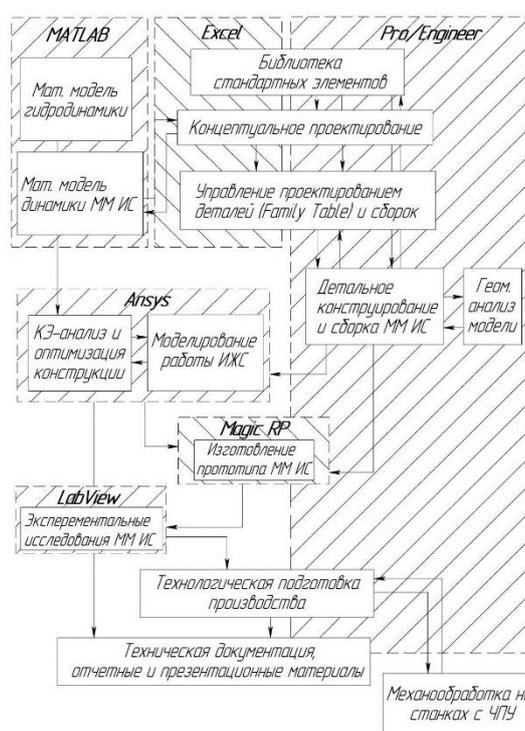


Рис. 4 – Методика проектирования ММ ИС, с заданными гидродинамическими характеристиками на основе программного обеспечения с обратными связями

Применение описанной выше методики, разработанной в рамках современного подхода к проектированию систем ИС, позволяет эффективно использовать обратные связи между отдельными этапами проектирования, и реализуется на базе современных ИПИ-технологий, применяемых на различных этапах жизненного цикла изделий и позволяет создать системы ИС, удовлетворяющие медико-техническим требованиям.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-97538 р\_центр\_а».

#### **Список литературы**

1. Медико-технические требования на создание электромеханической имплантируемой системы обхода левого желудочка сердца. – М.: НИИТиЮ, 2001. – 10 с.
2. American Society for Testing and Materials. Standard practice for assessment of hemolysis in continuous flow blood pumps. Standard F 1841– 97, ASTM.
3. Морозов В.В., Жданов А.В. Использование технологий быстрого прототипирования при создании искусственных желудочков сердца систем вспомогательного кровообращения // Мехатроника, автоматизация, управление – М.: Новые технологии, 2008. - № 11. – С. 30-31.
4. Беляев Л.В., Морозов В.В. Жданов А.В. Обоснование конструкций стендов для исследования характеристик систем вспомогательного кровообращения и искусственного сердца. Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 2. – с. 51 – 55.
5. Невзорова Н.А. Разработка метода управления качеством при создании изделий медицинского назначения: автореф. дис. канд. техн. наук – Москва, 2013. – 22 с.
6. Беляев Л.В., Волкова И.В., Жданов А.В. Технологии изготовления компонентов искусственных желудочков сердца пульсирующих систем вспомогательного кровообращения и искусственного сердца из гемосовместимых материалов // Научно-технический вестник Поволжья. №5 2015г. – Казань. – С. 132-135.

05.09.12

**Н.Н. Беспалов к.т.н., Л.П. Дудина**

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

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ ТИРИСТОРАХ БЕСЩЁТОЧНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ МОЩНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Проведены экспериментальные исследования переходных процессов в силовых тиристорах бесщёточных возбудительных устройств для мощных синхронных двигателей для определением причины отказов тиристором. Разработано новое техническое решение системы управления, обеспечивающее снижение вероятности отказов.*

Ключевые слова: *силовой тиристор, эрозия, кремний, схема управления, бесщёточное возбудительное устройство, синхронный двигатель.*

В настоящее время существует проблема отказов силовых тиристором (СТ) в схемах управления широко распространённых бесщёточных возбудителей синхронных двигателей. Анализ эксплуатационных режимов включения СТ в бесщёточных возбудителях показывает, что из-за локальности формирования области первоначального включения (ОПВ) в тиристорной структуре основная часть этапа нарастания тока в открытом состоянии протекает при больших плотностях тока в ней. Это вызывает возникновение в ОПВ коммутационной энергии потерь и, соответственно, локальное повышение её температуры. Причём, чем выше скорость нарастания тока в открытом состоянии и меньше величина тока управления к моменту начала процесса включения, тем выше уровень выделяемой в ОПВ энергии потерь и, соответственно, выше перепад температуры ОПВ.

Из анализа отказавших тиристорных структур, используемых в бесщёточных возбудителях серии БВУП, было установлено, что в области управляющего электрода (УЭ) наблюдаются эрозийные каналы проплавления кремния между УЭ и катодной металлизацией. Эти нарушения тиристорной структуры, характерны для случая, когда в управляющей цепи создаются импульсы тока управления с низкими значениями амплитуды тока управления и скорости его нарастания, а в силовой цепи протекает ток в открытом состоянии с высокими значениями скорости нарастания, превышающими предельно допустимую величину [1–5].

Для исследования режимов включения тиристорной схемы, аналогичной схеме бесщёточных возбудителей серии БВУП, были разработаны макетные образцы испытательных блоков с известными, применяемыми в практике, системами управления (СУ) (рис. 1а и 1б). Также была разработана новая система управления, макетный образец которой испытывался вместе с известными схемами управления (рис. 1в). В качестве аналогов известных СУ были выбраны системы управления, приведенные в ТО и ИЭ бесщёточных возбудительных устройств серии БВУП ИВЖ.579.048Т.О. Исследования проводились при включении силового тиристором Т2-160. Напряжение на тиристором в закрытом состоянии перед включением было выбрано равным 500 В. В ходе исследования проведены измерения переходных процессов тока и напряжения управления, тока и напряжения в открытом состоянии, и были определены временные зависимости электрической мощности потерь в ОПВ. Измерения осуществлялись с применением технологий National Instruments. На рис.2 представлены эти зависимости для всех исследуемых схем управления.

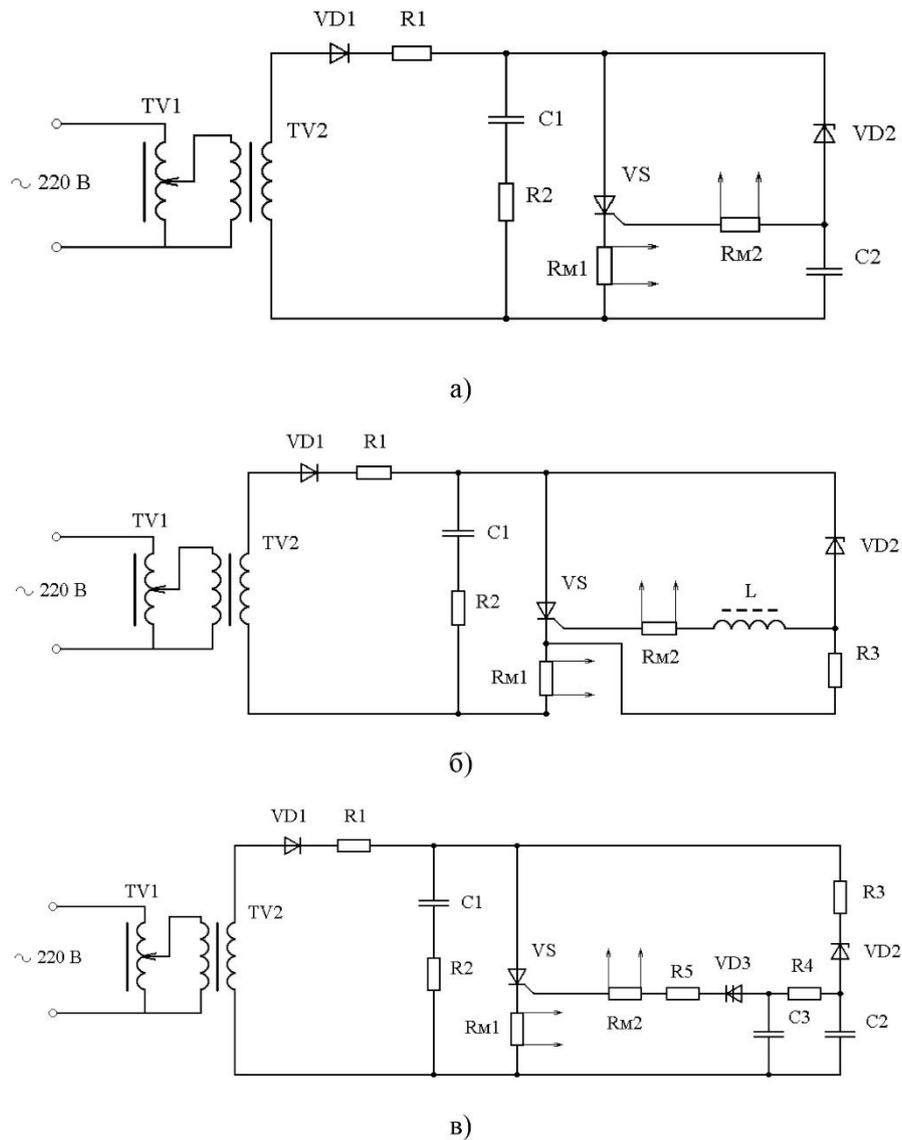


Рис. 1 – а) СУ коммутирующего тиристора защитной цепи со стабилитроном и шунтирующим конденсатором, б) СУ коммутирующего тиристора защитной цепи со стабилитроном и дросселем, в) СУ коммутирующего тиристора защитной цепи на основе предлагаемого технического решения

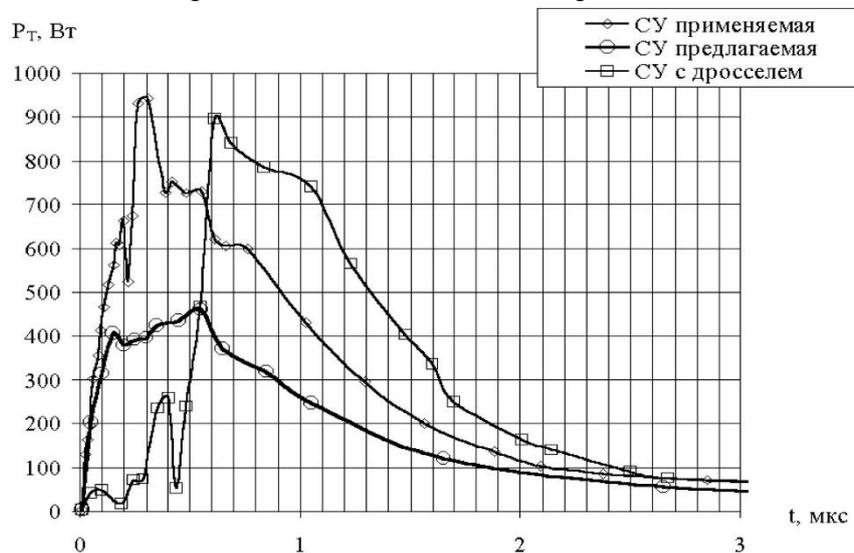


Рис. 2 – Временные зависимости мощности потерь  $P_T$  в ОПВ при включении СТ с напряжения 500 В от применяемых и вновь разработанной предлагаемой СУ

На рис. 3 представлены временные зависимости токов управления через тиристор при применении исследуемых СУ.

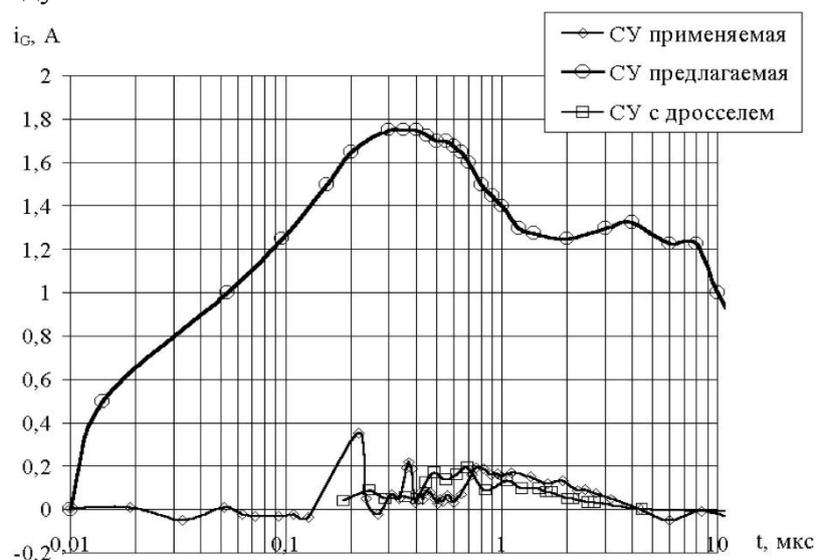


Рис. 3 – Временные диаграммы тока  $i_G$  управления СТ при включении с напряжения 500 В от применяемой и предлагаемой СУ

Приведенные экспериментальные данные показывают следующее.

1. Для снижения коммутационных потерь в СТ при включении требуются импульсы тока управления с амплитудой тока не менее 1 А, скоростью нарастания не менее 1 А/мкс и длительностью по основанию не менее 50 мкс [3-5], что также соответствует паспортным данным на параметры тока управления при эксплуатации СТ Т2-160 в условиях включения с повышенной скоростью нарастания тока в открытом состоянии. Однако применяемые в возбудителях СУ СТ (рис. 1а и 1б) не способны к формированию импульсов тока управления с требуемыми параметрами (рис. 4), что приводит к повышенным величинам мощности, а, соответственно, и энергии потерь в ОПВ. Эти обстоятельства существенно повышают вероятность возникновения термически активируемых разрушающих эрозионных процессов в ОПВ тиристорной структуры в области управления, приводящих к деградации и её отказу. Это свидетельствует о неэффективности известных и применяемых систем управления.

2. Предлагаемая СУ (рис. 1в), формирует ток управления с амплитудой тока не менее 1 А, скоростью нарастания не менее 1 А/мкс и длительностью по основанию не менее 50 мкс, что соответствует величинам требуемых параметров при которых обеспечивается заданная надёжность. Это обусловлено тем, что в тиристорной структуре при включении объём ОПВ будет формироваться с максимальной величиной, при котором наблюдаются минимальные коммутационные потери (рис. 2 и 3).

3. Переоснащение, используемых в практике СУ, бесщёточных возбудительных устройств серии БВУП, а также применение предлагаемого технического решения при их производстве, позволит существенно повысить надёжность мощных синхронных двигателей при эксплуатации.

**Список литературы**

1. Синегуб Г.А. Исследование  $(di/dt)$ -стойкости силовых тиристорov. Постановка проблемы и её современное состояние. / Г.А. Синегуб., В.Л. Шпер // «Электротехническая промышленность». – Серия «Преобразовательная техника», 1981.– Вып. 1. – С. 12–16.
2. Веревкин В.В. Надежность силовых тиристорov при высоких скоростях нарастания анодного тока. / В. В. Веревкин, А. М. Григорьев, В. Л. Шпер // Новые силовые полупроводниковые приборы и технология их изготовления: Сб. науч. тр. – М.: Изд-во ВЭИ им. В. И. Ленина, 1991. – С. 143–157.
3. Беспалов Н.Н. Экспериментальное исследование площади начального включения и потерь в тиристорах при включении по цепи управления. / Н. Н. Беспалов, Е. М. Гейфман // Электротехника, 1995. – №1. – С. 48–51.
4. Беспалов Н.Н. Причины отказов силовых тиристорov в режимах включения с высокими значениями скорости нарастания тока в открытом состоянии / Н. Н. Беспалов // Силовая электроника, 2005. – № 4. – С. 15–17.
5. Беспалов Н.Н. Путь повышения надёжности силовых тиристорov, использующихся при высокой скорости нарастания тока в открытом состоянии / Н. Н. Беспалов, Ю. М. Голембиовский, М. Н. Байбиков // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2006. – Т. 3. № 1(14). – С.154–159.

05.09.12

Н.Н. Беспалов к.т.н., С.С. Капитонов к.т.н., М.В. Ильин к.т.н., А.В. Евишев

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОТЕРЬ В СИЛОВЫХ ДИОДАХ В СОСТОЯНИИ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЫ

В статье на основе моделирования исследованы временные зависимости прямого тока через силовых диоды типа Д161-200, падения напряжения на их полупроводниковых структурах и электрической энергии потерь в них в состоянии высокой проводимости.

Ключевые слова: преобразователь, силовой полупроводниковый диод, полупроводниковая структура, диффузионная ёмкость, энергия потерь.

Современные преобразователи электрической энергии (ПЭЭ) реализуются на основе силовых полупроводниковых приборов (СПП), к которым относятся, в частности, и силовые полупроводниковые диоды (СПД). Надёжность ПЭЭ при эксплуатации в основном предопределяется надёжностью СПП, которая во многом определяется величиной температуры  $T_j$  их полупроводниковых структур (ПС).

При эксплуатации СПП периодически находится в состояниях низкой проводимости и высокой проводимости (СВП). При этом в СВП в ПС выделяется электрическая энергия, приводящая к наибольшему её перегреву. Для объективной оценки тепловых режимов необходимо правильно оценивать электрические потери в ПС. СПП в СВП, в частности СПД, может быть представлен эквивалентной схемой, состоящей из параллельно соединённых диффузионной ёмкости  $C_d$  и активного нелинейного резистора  $R_F$  [1].

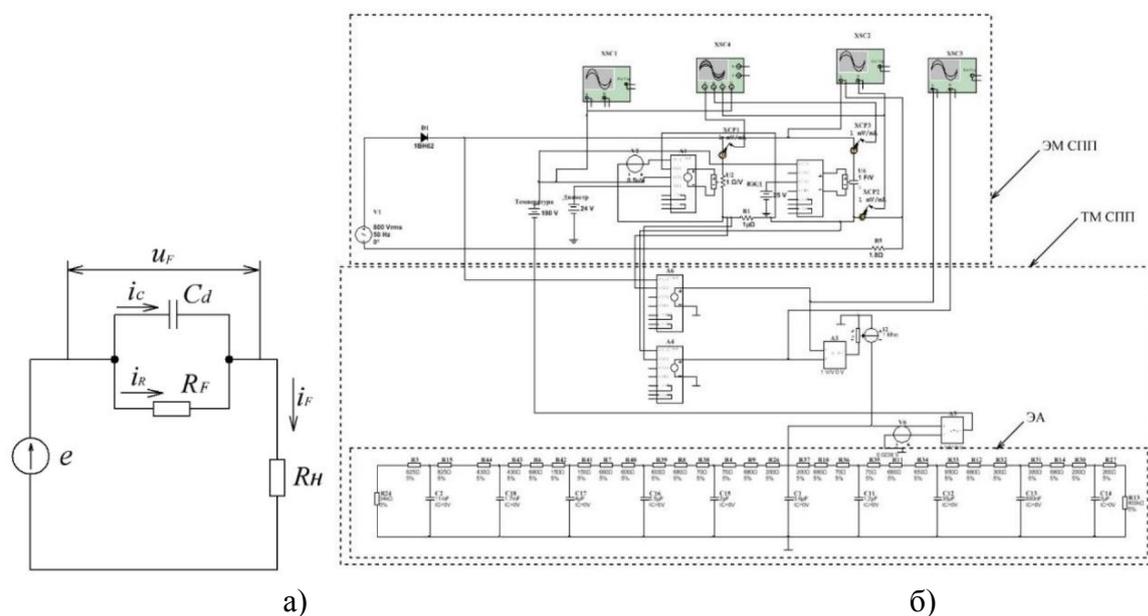


Рис. 1 – Схема однофазного однотактного выпрямителя с активной нагрузкой с эквивалентной схемой замещения СПД в СВП (а) и визуализация этой схемы с СПД в СВП с электрической и тепловой моделями, разработанные в программной среде Multisim (б)

На рис. 1а представлена эквивалентная схема СПД в СВП в цепи однофазного однотактного выпрямителя с активной нагрузкой  $R_H$  с питанием от источника синусоидального напряжения частотой 50 Гц. При этом ток нагрузки  $i_F$  через СПД разделяется на реактивную ёмкостную составляющую  $i_C$  и активную составляющую  $i_R$ , величина которой и будет предопределять активную мощность потерь, выделение которой в

ПС СПД будет перегревать её.

Для оценки электрических временных процессов в ПС СПД в СВП проведено их моделирование в схеме однофазного однократного выпрямителя с активной нагрузкой  $R_H$  при однократном воздействии импульса тока  $i_F$ . В качестве исследуемого прибора применялась эквивалентная схема замещения СПД типа Д161-200. Для исследования данной цепи применялась электротепловая модель СПД, изображённая на рис. 1б, разработанная нами ранее в программной среде Multisim [2, 3] на базе теории электротепловых процессов в СПД [1]. На рис. 1б представлены: ЭМ – электрическая модель СПП и ТМ – тепловая модель СПП, которые содержат: ЭА – электронный аналог конструкции СПП, позволяющий моделировать тепловые процессы, протекающие в приборе на основе метода электротепловой аналогии;  $R_F$  – нелинейное сопротивление СПП в СВП, управляемое напряжением;  $C_\delta$  – диффузионная ёмкость СПП в СВП, управляемая напряжением; А1 – блок управления нелинейным сопротивлением  $R_F$ ; А2 – блок управления нелинейной ёмкостью  $C_\delta$ ; А3 – умножитель, предназначенный для определения значения активной мощности  $P_{tot}$ ; А4 – вычитатель, предназначенный для определения сигнала с ТШ; А5 – умножитель, предназначенный для пересчёта напряжения в температуру ПС СПП; А6 – вычитатель, предназначенный для определения напряжения на СПП.

Разработанные ТМ вместе с ЭМ образуют электротепловую модель СПП, с помощью которой возможно проведение исследований электрических и тепловых процессов, протекающих в силовых диодах в СВП. Принцип работы схемы рассмотрен нами ранее, например, в [3]. Достоинством такого моделирования является применение аналитических зависимостей электрических процессов в ПС СПД в СВП с учётом воздействия на эти процессы тепловых воздействий.

На рис. 2 представлены результаты моделирования электрических процессов в ПС СПД типа Д161-200 при протекании через него в СВП однократного импульса тока  $i_F$  полусинусоидальной формы длительностью 10 мс и амплитудой равной  $3,14I_{пред} = 628$  А, где  $I_{пред}=200$  А есть величина предельного тока для данного типа СПД. Моделирование осуществлялось при начальных значениях температуры ПС равных:  $T_{j1}=-40^0\text{C}$  и при  $T_{j2}=+190^0\text{C}$ .

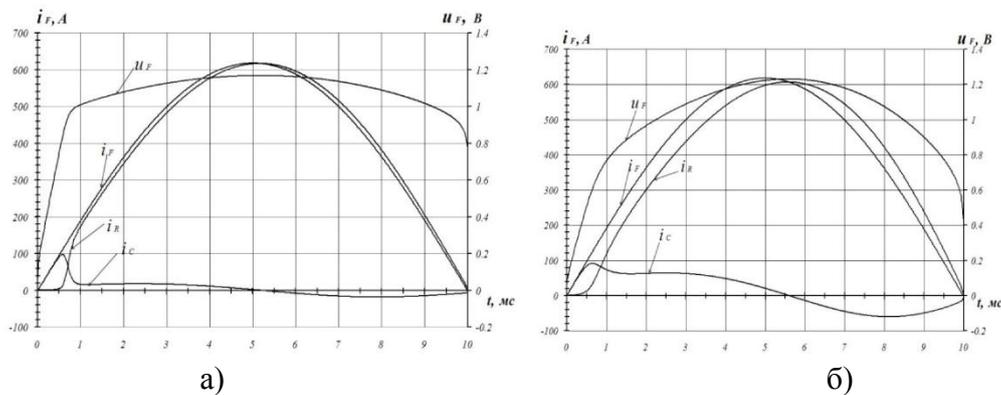


Рис. 2 – Временные зависимости токов  $i_R, i_C, i_F$  через диод и падения напряжения на диоде  $u_F$  в СВП при :  $T_{j1}=-40^0\text{C}$  (а) и при  $T_{j2}=+190^0\text{C}$  (б)

Представленные результаты моделирования, прежде всего, показывают существенное влияние на формирование временных зависимостей токов через диод и напряжения на нём при различных начальных значениях температуры  $T_j$  ПС. При этом наблюдается то, что амплитуда  $I_{RM}$  активной составляющей  $i_R$  полного тока  $i_F$  не совпадает во времени с амплитудой полного тока  $I_{FM}$ , которая при полусинусоидальной форме тока формируется во временной точке 5 мс от начала его протекания. При этом переход ёмкостной составляющей  $i_C$  полного тока  $i_F$  через нулевое значение всегда сдвинут относительно этого момента на некоторый интервал времени, величина которого зависит от начального значения температуры  $T_j$  ПС. Этот факт свидетельствует о том, что при определении статической вольт-амперной характеристики СПД в СВП, по которой в дальнейшем определяются активные потери в СПД, а также осуществляется определение их важнейших параметров,

для точного определения величины активной энергии потерь  $A_r$  в СПД необходимо определять только активную составляющую тока  $i_R$  полного тока  $i_F$ .

Для оценки относительной погрешности определения электрических потерь в диоде в СВП по величинам активной составляющей тока  $i_R$  и полного тока  $i_F$  проведены вычисления по данным моделирования электрических процессов в диоде при различных начальных значениях температуры  $T_j$  в диапазоне от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+190^{\circ}\text{C}$ . На рис. 3 представлены результаты моделирования временных зависимостей энергии потерь  $A_r$  в диоде типа Д161-200 и суммарной величины  $A_{\text{сумм}}$  в СВП при начальных значениях температуры ПС равных:  $T_{j1}=-40^{\circ}\text{C}$  и при  $T_{j2}=+190^{\circ}\text{C}$ . Представленные результаты моделирования, показывают существенное влияние на эти зависимости начальных значений  $T_j$ .

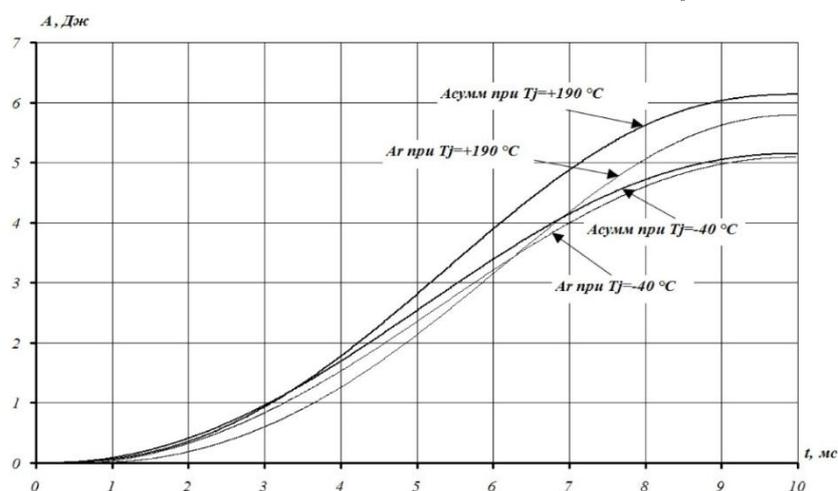


Рис. 3 – Временные зависимости активной энергии потерь  $A_r$  в диоде типа Д161-200 в СВП и величины суммарной энергии  $A_{\text{сумм}}$  при различных значениях температуры ПС при:  $T_{j1}=-40^{\circ}\text{C}$  и при  $T_{j2}=+190^{\circ}\text{C}$

На рис. 4 представлены результаты определения относительной погрешности  $\delta$  определения электрических потерь в диоде в СВП по величинам активной составляющей тока  $i_R$  и полного тока  $i_F$  при различных начальных значениях температуры  $T_j$  в диапазоне от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+190^{\circ}\text{C}$ . Погрешность определялась по отношению конечных значений  $A_r$  к  $A_{\text{сумм}}$ , достигаемых к моменту окончания импульса тока равного 10 мс. Из полученной зависимости видно, что с увеличением величины начальной температуры  $T_j$  в рассматриваемом диапазоне погрешность нелинейно увеличивается от 1,1% до 5,8%. В связи с этим для объективного определения теплового режима ПС силовых полупроводниковых диодов требуется учитывать данный эффект.

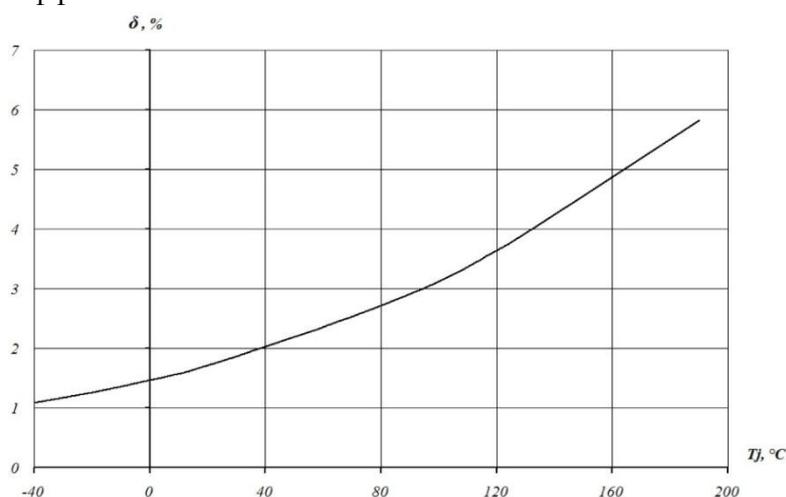


Рис. 4 – Относительная погрешность  $\delta$  определения электрических потерь в диоде в СВП по величинам активной составляющей тока  $i_R$  и полного тока  $i_F$  при:  $T_{j1}=-40^{\circ}\text{C}$  до  $T_{j2}=+190^{\circ}\text{C}$

**Список литературы**

1. *Дерменжи П. Г.* Расчет силовых полупроводниковых приборов / П. Г. Дерменжи, В. А. Кузьмин, Н. Н. Крюкова, В. И. Мамонов. Под ред. В. А. Кузьмина. М.: Энергия, 1980. – 184 с.
2. *Беспалов Н. Н.* Моделирование процессов в силовых полупроводниковых приборах при их групповом последовательном включении в среде Multisim / Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин, С. С. Капитонов, С. В. Лебедев // Электроника и электрооборудование транспорта. – Томилино: Научно-производственное предприятие «Томилинский электронный завод», 2012. – Вып. №4. – С. 30–35.
3. *Беспалов Н. Н.* Разработка и исследование электротепловых моделей силовых полупроводниковых приборов основных типовых конструкций / Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин, С. С. Капитонов, С. В. Лебедев // Естественные и технические науки. – М.: Спутник+, 2011. – Вып. №6. – С. 405–412.

05.00.00

**С.С. Бородин, С.М. Дмитриев, А.А. Добров И.В. Каратушина, А.Н. Пронин,  
А.Е. Хробостов**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
Институт ядерной энергетики и технической физики, кафедра «Атомные и тепловые  
станции», Нижний Новгород, Proninaleksei@mail.ru

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ЗА ПЛАСТИНЧАТОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ РЕШЕТКОЙ ТОПЛИВНОЙ КАССЕТЫ ТВСА–12PLUS**

*Представлены результаты и анализ экспериментальных данных по исследованию локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя за перемешивающей решеткой типа «порядная прогонка» для ТВСА–12PLUS.*

Ключевые слова: *ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, гидродинамика теплоносителя, перемешивающая решетка.*

В ОАО «ОКБМ Африкантов» разработана топливная кассета ТВСА–12PLUS с улучшенными характеристиками для использования в активных зонах водо-водяных реакторов.

Для повышения критического теплового потока в конструкции ТВС применяют перемешивающие решетки (ПР) типа «порядная прогонка», интенсифицирующие процессы теплообмена как в пределах одной кассеты, так и между соседними сборками.

Для обоснования теплотехнической надежности активной зоны реакторов при постановке ТВСА–12PLUS с данным типом перемешивающих решеток необходимо определить влияние её конструкции на гидродинамику потока теплоносителя.

Для решения данной задачи в научно–исследовательской лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ им. Р.Е. Алексеева был проведен комплекс экспериментальных исследований на аэродинамическом стенде.

#### **Экспериментальный стенд**

Экспериментальный стенд представляет собой аэродинамический разомкнутый контур, через который прокачивается воздух [1]. В состав экспериментального стенда входят: экспериментальная модель (ЭМ), вентилятор высокого давления, ресиверная емкость, расходомерное устройство с участками стабилизации потока, измерительный комплекс.

Экспериментальная модель, представляющая собой фрагмент ТВСА–12PLUS, выполнена в полном геометрическом подобии и состоит из шестидесяти одного твэл-имитатора, двух поясов дистанционирующих решеток, пояса перемешивающей решетки.

Исследуемый пояс перемешивающей решетки представлен на рисунке 1. Перемешивающая решетка имеет турбулизирующие дефлекторы, которые улучшают перемешивание потока теплоносителя. Дефлекторы на перемешивающей решетке ориентированы таким образом, что под их воздействием организуются направленные поперечные течения, которые в соседних рядах формируют противоположно направленные потоки.

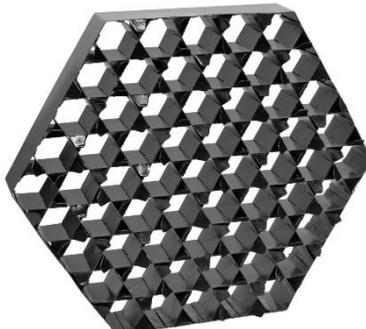


Рис. 1 – Пояс пластинчатой перемешивающей решетки

Для измерения направления и величины вектора скорости, а также давления в пространственном потоке использовался пневмометрический зонд с конической чувствительной частью, имеющей пять приемных отверстий [2].

### Результаты исследований

Экспериментальные исследования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя проводились на масштабной модели ТВСА–12PLUS при числах  $Re = 92200$  в области стандартных ячеек. Цель данных исследований заключалась в измерении вектора скорости за перемешивающей решеткой ТВСА–12PLUS.

Полученные данные представлены в виде распределения отношения проекций абсолютной скорости к среднерасходной скорости и в виде векторных полей поперечных скоростей. Такие формы представления полученных данных позволяют как качественно, так и количественно оценить закономерности течения теплоносителя за перемешивающей решеткой.

Комплексный анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы:

1. За дефлекторами происходит направленное движение потока теплоносителя, обусловленное соответствующим расположением дефлекторов, т.е. отклоненный дефлектором поток приобретает поперечные составляющие скорости на выходе из перемешивающей решетки и далее посредством механизма конвективного переноса часть поперечного потока теплоносителя из каждой ячейки переходит в соседние ячейки, смешиваясь при этом с основным осевым потоком;

2. За решеткой перемешивающие свойства снижаются вследствие уменьшения поперечных составляющих скорости. Наличие турбулентного трения приводит к диссипации энергии движения потока, что быстро уменьшает интенсивность поперечных конвективных течений, создаваемых дефлекторами решетки;

3. Максимальное значение поперечной скорости наблюдается сразу за дефлекторами и достигает 40% от аксиальной составляющей скорости. На участке  $\Delta l/d_r=5$  от перемешивающей решетки происходит резкое снижение поперечной скорости до 20%, после чего скорость затухания поперечных скоростей уменьшается. Затухание относительных поперечных скоростей прекращается на расстоянии  $\Delta l/d_r=29,5$  (рис. 2).

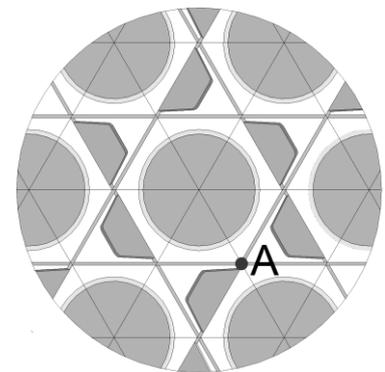
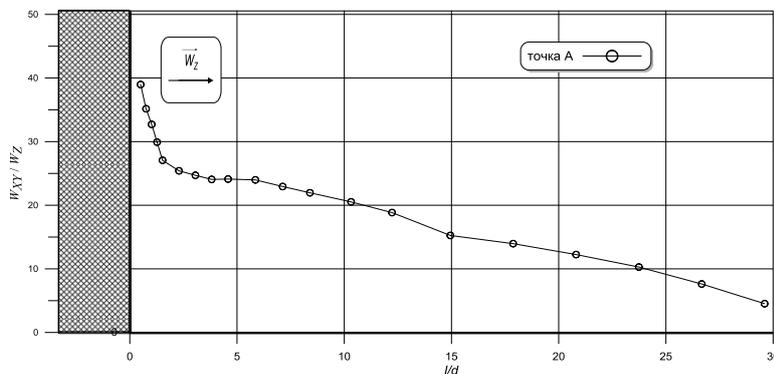


Рис. 2 – Распределения относительной поперечной скорости за ПР типа «порядная прогонка»

4. В области межячейкового зазора за ПР относительно ячеек, где дефлекторы расположены в противоположные стороны по отношению друг к другу, наблюдается вихревой характер движения теплоносителя, имеющий протяженность  $\Delta l/d \approx 2$  (Рис.3).

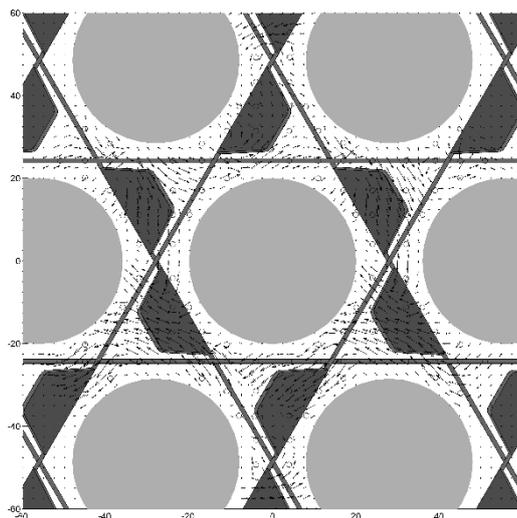


Рис. 3 – Векторное поле поперечных составляющих скорости за дефлекторами перемешивающей решетки на расстоянии  $l/d_z=10,72$

### **Выводы**

Определены характеристики локальной гидродинамики потока теплоносителя за дефлекторами пластинчатой перемешивающей решетки типа «порядная прогонка» ТВСА–12PLUS. По результатам исследований выявлены особенности течения теплоносителя в пучках твэлов при наличии данных перемешивающих решеток, а именно:

а) за дефлекторами происходит направленное движение потока теплоносителя, обусловленное соответствующим расположением дефлекторов;

б) максимальное значение поперечной скорости наблюдается сразу за дефлекторами и составляет 40% от аксиальной составляющей;

в) затухание поперечных скоростей, вызванных воздействием перемешивающей решетки на поток теплоносителя, прекращается на расстоянии  $\Delta l/d_r=29,50$  от решетки

Обобщена экспериментальная информация и создан банк данных для верификации CFD-кодов и программ детального поэлементного расчета активных зон водо-водяных ядерных реакторов, с целью уменьшения консерватизма при обосновании теплотехнической надежности активных зон.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках договора № 02.G25.31.0124 от «03» декабря 2014 г. года (в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218).

### **Список литературы**

1. А.В. Варенцов, С.М. Дмитриев, А.А. Добров и др. Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С // Научно-технический вестник Поволжья, 2013, №3, С. 114-119
2. С.М. Дмитриев, Д.В. Доронков, А.Н. Пронин и др. Расчетно-экспериментальные исследования гидродинамики и массообмена теплоносителя за дистанционирующей решеткой тепловыделяющей сборки реактора плавучего энергоблока // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика, 2014, №4, С. 60-68

05.22.10

**Е.Ф. Бояркина, А.С. Терехов**

Тюменский государственный нефтегазовый университет, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин, Тюмень, satm@mail.ru

### **СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА СРЕДНЕГОДОВОЙ ПРОБЕГ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

*Анализируются результаты научных исследований, посвященных рассмотрению закономерностей влияния факторов на среднегодовой пробег автомобилей. Приводятся математические модели, полученные учеными.*

Ключевые слова: *среднегодовой пробег автомобиля, пробег легкового автомобиля.*

Одним из основных показателей интенсивности эксплуатации легковых автомобилей является среднегодовой пробег. Закономерности изменения среднего годового пробега легкового автомобиля изучены достаточно хорошо.

Захаров Н.С. [1, 2, 3] отмечает зависимость годового пробега от потенциальных скоростных свойств автомобилей и двух групп факторов, влияющих на уровень реализации этих свойств: условий эксплуатации (дорожные условия, условия движения, организационно-технологические (метод организации погрузочно-разгрузочных работ, вид груза и др.) и факторов, определяющих техническое состояние (возраст автомобиля и наработка с начала его эксплуатации).

Щетина В.А. и соавторы [4] и Кузнецов Е.С. [5] установили зависимость годового пробега от продолжительности эксплуатации автомобилей (новые автомобили эксплуатируются интенсивнее старых). Так, например, Щетина В.А. и соавторы установили, что с увеличением числа лет службы годовой пробег автомобиля при интенсивной эксплуатации уменьшается. Основной причиной этого является снижение надежности и рост простоев, связанных с количеством отказов и неисправностей. Для описания зависимости годовых пробегов автомобилей  $L_2$  от сроков службы  $T$  предложено использовать экспоненциальное уравнение. Например, для автомобилей КамАЗ-5320 1976 года выпуска оно имеет вид:

$$L_2 = 78 \cdot \exp(-0,0484 \cdot T).$$

Кузнецов Е.С. приводит данные, показывающие изменение среднегодового пробега, тыс. км (%), легковых автомобилей в США в зависимости от продолжительности их эксплуатации.

Напольский Г.М. выявил зависимость годового пробега и продолжительности эксплуатации автомобиля в течение года от климатических условий [6].

Многие авторы отмечают сезонные изменения интенсивности эксплуатации автомобиля, а значит, и годового пробега. Между тем, предметом исследования является не сезонное или случайное, а трендовое изменение количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети (УДС), следовательно, сезонное колебание пробега учитываться не будет.

Исследования Технических университетов г. Дрездена и г. Магдебурга [7] отмечают сильную зависимость между пробегом транспортного средства и семейным доходом в противоположность, например, мопедам и мотоциклам, у которых данной зависимости не наблюдается. Это объяснено тем, что последние являются более дешевым транспортным средством, и их эксплуатация не зависит от дохода. Так, пробег легковых автомобилей подчиняется закономерностям потребления и может служить показателем уровня жизни; зависимость пробега ( $y$ ) от семейного дохода ( $x$ ) описана следующим уравнением:

$$y = -0,0057 \cdot x^2 + 14,952 \cdot x + 95,759 \text{ при } r = 0,961.$$

К сожалению, уравнение данной функции не удовлетворяет современным показателям дохода семьи и годового пробега ЛА. Это связано, в первую очередь, с разными валютами и уровнем дохода граждан современной России и Германии 1970-х гг., а также с увеличением

подвижности населения за последние тридцать лет. Тем не менее, закономерности, полученные в ходе вышеназванного исследования, актуальны и могут быть использованы в данной работе.

График данной функции представлен на рис. 1.

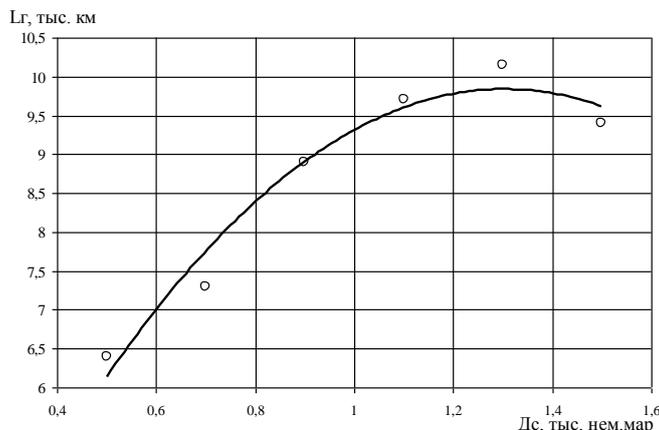


Рис. 1. - Зависимость годового пробега от семейного дохода

Незначительное снижение пробега легковых автомобилей у лиц с высоким доходом указывает на относительное насыщение пробега, которое могло быть обусловлено следующими факторами:

- одна семья может являться владельцем двух, а то и трех транспортных средств (36% семей этой категории доходов имеет несколько автомобилей);
- частое использование служебного транспорта;
- использование транспорта является лишь средством к достижению цели, а у владельцев автомобилей с высоким доходом реализованы почти все «потребности» в транспорте.

Выявлено также влияние КИП на величину годового пробега. При этом, отмечается, что средний годовой пробег автомобиля не зависит от:

- а - от расположения городского района и его загруженности общественным транспортом;
- б - от количества членов среднестатистической семьи, в которой он используется, так как и в большой семье одна единица транспорта используется обычно одним членом семьи; в случае, если транспортное средство используется для поездок на работу, то оно весь день находится в распоряжении только одного члена семьи и не доступно другим, и в другом случае пробег автомобиля не растет, если с водителем едут другие члены семьи;
- в - от срока владения им.

Хотелось бы обратить внимание на влияние на годовой пробег возраста владельца автомобиля, важность этого фактора подчеркивается частотой его упоминания в исследованиях по данной теме.

Также в известных источниках рассматривается влияние на годовой пробег автомобиля таких факторов, как цены на горючее, местность проживания владельца; пользование автомобилей для служебных передвижений и во время отпуска, возраст автомобиля, использование автомобиля зимой; количество членов семьи, имеющих права на вождение, особенно подростков от 16 лет и более; количество автомобилей и водителей в семье, возрастные показатели водителей и членов семьи, экологические характеристики автомобиля, расстояние от центра города.

Исследования университета г. Оксфорда показали влияние количества членов семьи на годовой пробег автомобиля [8].

Проведенные исследования в г. Балтимор шт. Мэриленд США показали, что регламентированное правительством снижение расхода топлива автотранспортом (приблизительно на 10%) мало влияет на степень использования индивидуального автотранспорта для поездок на работу; это влияние проявляется в большей степени при поездках с другими целями [9].

Установлено, что использование автомобилей снижается в Нью-Йорке с более высокой плотностью населения и движения по сравнению с окрестностями, в которых ежедневное использование автомобилей почти в 2 раза больше, чем в пределах города. [10]

При сравнении факторов (доходов населения, цен на бензин [11], стоимости проезда в общественном транспорте, скоростей движения индивидуальных и общественных транспортных средств) при выборе индивидуального или общественного транспорта для поездок, определили, что наибольшее влияние имеет скорость передвижения, изменение цен на бензин оказывает менее заметное и краткосрочное влияние.

### Список литературы

1. *Захаров Н.С.* Программа «REGRESS». Руководство пользователя [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.
2. *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. 105-111.
3. *Захаров, Н.С.* Структура системы при моделировании расхода запасных частей для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 193-195.
4. *Щетина В.А., Лукинский В.С., Сергеев В.И.* Снабжение запасными частями на автомобильном транспорте [текст] – М.: Транспорт, 1988. – 112 с.
5. *Кузнецов Е.С.* Управление технической эксплуатацией автомобилей [текст] – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
6. *Напольский Г.М.* Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания [текст]: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.
7. *Bohme U.* Jährliche Fahrleistung privater Kraftfahrzeuge. [text] // Die Strasse. – 1971. - № 3. – S. 108-112.
8. *Goodwin P.B.* Intensity of car use in Oxford [text] // Traffic Engineering and Control. – 1978. - № 11. – P. 514 - 517.
9. *Sagner James S.* The impact of the energy crisis on American cities based on dispersion of employment, utilization of transit, and car pooling [text] // Transp. Res. – 1974. - №4/5.-P.307–316.
10. *Jordan J. David.* Automobile use patterns in New York City and its environs [text] // Highway Research Record. – 1971. - № 369. – P. 211 – 227.
11. *Шакиров И.Ф., Захаров Н.С.* Математические модели закономерностей влияния факторов на расход топлива специальных автомобилей аэропортов [Текст] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 368-370.

05.22.10

**Е.Ф. Бояркина, А.С. Терехов**

Тюменский государственный нефтегазовый университет, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин, Тюмень, satm@mail.ru

### **ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СТЕПЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРКА АВТОМОБИЛЕЙ**

*В статье анализируются показатели, характеризующие степень использования парка автомобилей. Подробно описывается эксперимент для сравнения коэффициентов использования парка и присутствия автомобиля на УДС.*

Ключевые слова: *коэффициент использования парка, коэффициент присутствия автомобиля на УДС.*

Поскольку далеко не все автомобили города эксплуатируются с одинаковой частотой и интенсивностью, многие из них большую часть года простаивают в местах постоянного хранения (гаражах, платных стоянках); то количество легковых автомобилей, зарегистрированных в городе, находящихся на его УДС, отличается от количества зарегистрированных в городе легковых автомобилей коэффициентом, выявляющим часть парка автомобилей города, которая фактически находится в определенный момент времени на УДС. Следует определить, какой именно коэффициент необходимо использовать в данном случае [1, 2, 3].

Во-первых, этот коэффициент должен оценивать частоту использования легковых автомобилей; а, поскольку частота использования должна показывать долю времени эксплуатации автомобиля в общем календарном (например, количество дней эксплуатации в году), то логично воспользоваться коэффициентом использования парка (КИП).

КИП – это показатель, характеризующий степень использования парка автомобилей за какой-либо календарный период, определяется как отношение величины автомобиле - дней в работе к величине автомобиле-дней в хозяйстве.

Необходимо удостовериться, что данный показатель полностью отвечает потребностям модели. К примеру, возьмем из случайной выборки автомобилей города один. Допустим, что получены данные, что этот автомобиль использовался в течение года 359 дней, КИП равен 0,98, таким образом, данный автомобиль загружает УДС города почти 100% времени года.

Возьмем из той же выборки еще один автомобиль, эксплуатируемый в течение 287 дней, его КИП равен 0,79. Значит ли это, что первый автомобиль находился на УДС чаще? Судя по расчетам, да. Сравним годовые пробеги этих автомобилей. Пробег первого автомобиля чуть больше 6 тысяч километров (владелец использует свое транспортно средство только для поездок на работу (5 км в одну сторону) и летом в выходные на дачу (10 км от города)), пробег второго почти 23 000 км. Получается, что второй автомобиль создает больший эффект присутствия на УДС, тем самым в большей степени влияя на дорожную ситуацию города.

Следовательно, необходимо, чтобы искомый коэффициент учитывал не только экстенсивное (КИП) но и интенсивное использование автомобиля.

Одним из показателей интенсивного использования автомобиля является пробег [4-7]. Однако годовой пробег автомобиля сам по себе не представляет интереса для модели, поскольку искомый коэффициент должен быть величиной относительной; тем не менее, интенсивность эксплуатации должна быть учтена в модели, поэтому имеет смысл использовать коэффициент, чем-то напоминающий КИП, но при расчете которого число дней эксплуатации в году определяется исходя из годового ( $L_T$ ) и среднесуточного ( $L_C$ ) пробега (форм. 1), этот показатель будет называться коэффициентом присутствия автомобиля на УДС города (форм. 2):

$$D_{ЭК} = \frac{L_{Г}}{L_{С}}, \quad (1)$$

$$K_{П.А.} = \frac{L_{Г}/L_{С}}{D_{К}}. \quad (2)$$

По данным ГИБДД распределение владельцев легковых автомобилей по возрасту выглядит следующим образом (рис. 1).

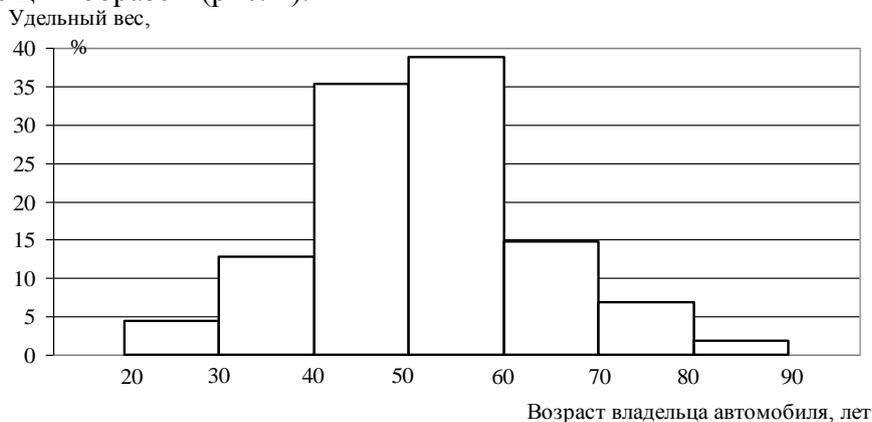


Рис. 1. - Распределение владельцев легковых автомобилей по возрасту

В городе Сургуте был проведен пробный эксперимент, в ходе которого были собраны данные о количестве дней недели, когда в среднем эксплуатируется автомобиль в разное время года (зимой, весной, летом, осенью), а также о годовом пробеге автомобиля (по показаниям тахометра). Было опрошено 409 владельцев легковых автомобилей; участники выборочного исследования подбирались в соответствии с возрастной характеристикой генеральной совокупности.

При анализе результатов были рассчитаны коэффициенты использования парка и присутствия автомобиля на УДС, результаты соответственно составили 0,725 и 0,714. Первый коэффициент незначительно (на 2%), но выше. В таком случае, какой из показателей отражает реальную картину?

Вернемся к примеру, рассмотренному выше. Рассчитаем коэффициент присутствия автомобиля на УДС и сравним результаты по двум показателям (табл. 1).

Таблица 1 - Сравнение результатов КИП и КПА

Автомобиль	Дни эксплуатации в году, дн	Годовой пробег, км	КИП	КПА
№ 1	359	6 103	0,98	0,25
№ 2	287	22 673	0,79	0,93

Получаются совершенно противоположные результаты по двум показателям (КИП и КПА), при этом, потребностям модели отвечает именно коэффициент присутствия автомобиля на УДС, учитывающий годовой пробег легкового автомобиля.

**Список литературы**

1. *Захаров Н.С.* Программа «REGRESS». Руководство пользователя [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.
2. *Захаров Н.С.* Использование TP-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 3. – С. 105-111.
3. *Захаров Н.С.* Структура системы при моделировании расхода запасных частей для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 193-195.
4. *Мчедlishvili К.А.* Новые критерии оценки автомобилизации [Текст] // Вестник транспорта. – 2006. - № 1. – С. 41 – 42.
5. Welfare effects of congestion pricing in Singapore [Text] / Wilson Paul W // Transportation. – 1988. - № 3. – P. 191 – 210.
6. *Моржаретто И.* Москва как она есть [Электронный ресурс] // За рулем. - 2005.- № 7. – <http://www.zr.ru/articles/44132>
7. *Шакиров И.Ф., Захаров Н.С.* Математические модели закономерностей влияния факторов на расход топлива специальных автомобилей аэропортов [Текст] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 368-370.

05.22.07

**А.П. Буйносов д.т.н., И.В. Умылин**

Уральский государственный университет путей сообщения,  
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buynosov@mail.ru, uvil333@mail.ru

### **НОВЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ГРЕБНЕСМАЗЫВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В статье описывается разработанный новый блок автоматического управления системой гребнесмазывания железнодорожного подвижного состава, реверсирования и автоматического регулирования периодичности времени смазывания гребней колесных пар.*

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, подвижной состав, колесная пара, бандаж, гребень, смазывание, система, управление, блок.*

Для снижения интенсивности изнашивания гребней разработаны и внедрены на железнодорожном транспорте методы повышения ресурса колесных пар подвижного состава. В частности, проведены исследования по выбору наилучшего профиля поверхности катания [1], влияния на величину износа соотношение твердости колес и рельсов, разности диаметров бандажей и другие, созданы технические средства оперативного контроля состояния ходовых частей подвижного состава и пути.

Автоматическая система гребнесмазывания предназначена для дозированного нанесения смазочного материала на гребни колесных пар тепловозов, тем самым уменьшая силы трения гребня бандажа о головку рельса и сопротивление движению, расхода топлива на тягу поездов [2].

При эксплуатации тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 с системой гребнесмазывания АГС-8 производства НПП «Фромир» (г. Ростов на Дону) был выявлен целый ряд недостатков: система гребнесмазывания во время стоянки тепловоза и на нулевой позиции контроллера машиниста продолжает работать; в момент трогания поезда с места тепловозом реализуются большие тяговые усилия и подача смазки снижает коэффициент сцепления колеса с рельсом.

Предлагаемый НПП «Фромир» контроль за работой гребнесмазывателей в пути следования с записью на скоростемерную ленту для своевременного выявления неисправности не устраняет их основной недостаток – попадание смазки на поверхность катания колесных пар, что ведет к боксованию. Этим вызвана «боязнь» локомотивных бригад использовать гребнесмазыватель АГС-8.

Для улучшения качества работы гребнесмазывателя АГС-8 в Уральском государственном университете путей сообщения был разработан принципиально новый блок управления, при помощи которого полностью автоматизируется управление системой гребнесмазывания. Это дает существенное повышение качества смазывания гребней колесных пар, исключает работу системы гребнесмазывания во время стоянки локомотива и на нулевой позиции контроллера машиниста. Тем самым исключается боксование колесных пар тепловоза как во время трогания так и при движении локомотива с поездом [3, 4].

Блок состоит из двух реле времени ВЛ-50У3, трех промежуточных реле типа ТРПУ-УХЛ3 и тумблера ТВ-1-4. Включение блока производится автоматически. Принцип действия блока заключается в следующем: после постановки рукоятки контроллера машиниста на первую позицию, получают питание поездные контакторы, после включения которых получает питание катушка промежуточного реле ПР-1 по цепи – «плюс» аккумуляторной батареи, замкнутый контакт контроллера машиниста, клемная рейка К-1, от клеммы 1К-243 через тумблер реостатных испытаний, катушка промежуточного реле ПР-1.

Промежуточного реле ПР-1 находится в цепи питания контактора возбуждения генератора КВГ, которым блок автоматического управления гребнесмазыванием отключается при реостатных испытаниях тепловоза. Получив питание, промежуточное реле ПР-1 замыкает свою блокировку и подает питание на катушку промежуточного реле ПР-2 по цепи –

«плюсовая» клемная рейка К-3, замкнутые контакты промежуточного реле ПР-1, размыкающая блокировка реле времени РВ-1 с выдержкой времени на размыкание, катушка промежуточного реле ПР-2.

Одновременно с промежуточным реле ПР-2 получает питание реле времени РВ-1 по цепи – «плюсовая» клемная рейка К-3, замкнутые контакты промежуточного реле ПР-1, размыкающая блокировка реле времени РВ-2 с выдержкой времени на отключение, катушка реле времени РВ-1. Получив питание РВ-1 начинает отсчет времени.

После включения ПР-2, оно своими размыкающими контактами разрывает цепь питания на катушку реле времени РВ-2 и своими замыкающими контактами создает цепь питания на катушку промежуточного реле ПР-3 по цепи – «плюсовая» клемная рейка К3, замкнутые контакты промежуточного реле ПР-1, замкнутые контакты промежуточного реле ПР-2, катушка промежуточного реле ПР-3.

Получив питание, промежуточное реле ПР-3 своими замыкающими контактами создает цепь питания на катушки электропневматических вентилях ЭПВ системы гребнесмазывания, которые разбиты на две группы: первая – при движении локомотива «вперед»; вторая – при движении локомотива «назад». Питание ЭПВ в зависимости от направления движения осуществляется с клемм реверсивного барабана контроллера машиниста А4 (при движении локомотива «вперед») и Б4 (при движении локомотива «назад») по цепи – «плюсовая» клемная рейка К3, замкнутый контакт реверсора при движении «вперед», замыкающие контакты промежуточного реле ПР-3, катушка пневматического вентиля при движении «вперед» (ВПВ).

После этого через 20–30 секунд РВ-1 своими размыкающими контактами разрывает цепь питания на катушку реле ПР-2. Отключившись, ПР-2 своими размыкающими контактами разрывает цепь на катушку ПР-3, которое в свою очередь своими размыкающими контактами разрывает цепь питания на ЭПВ системы гребнесмазывания. Своими нормально замкнутыми контактами ПР-2 создает цепь питания на катушку РВ-2. Получив питание, РВ-2 начинает отсчет времени. Через 10–15 секунд РВ-2 своей размыкающей блокировкой размыкает цепь питания катушки РВ-1. Отключившись, РВ-1 своими размыкающими контактами с выдержкой времени на размыкание создает цепь питания на катушку промежуточного реле ПР-2. Цикл повторяется (рисунок).

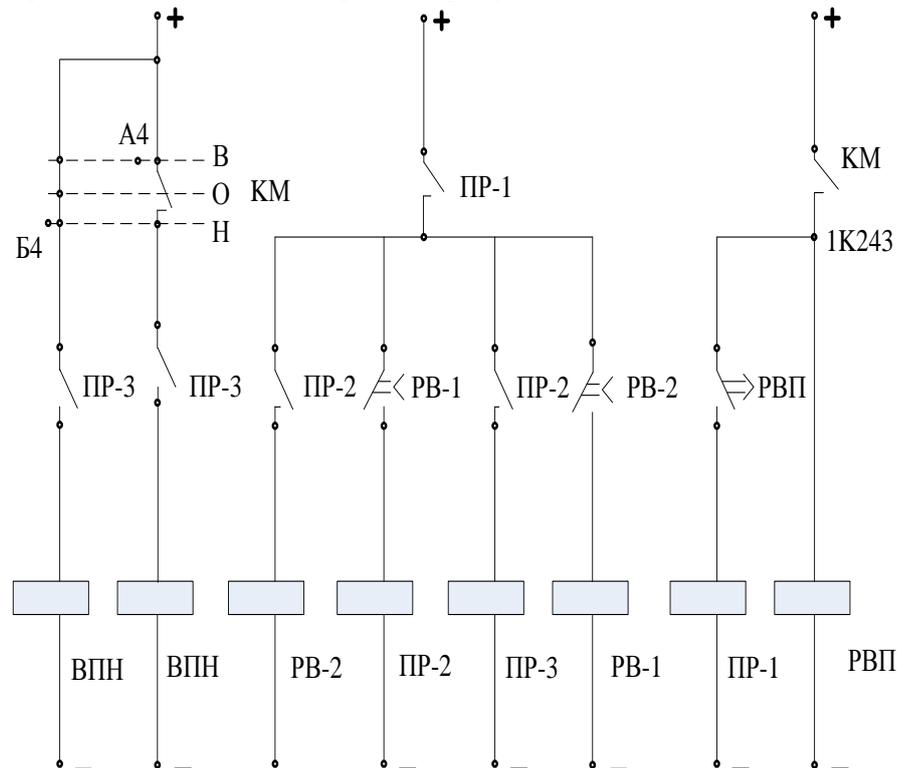


Рис. Электрическая схема реле пуска и блока АГС-8 гребней колесных пар

Таким образом, можно регулировать периодичность смазывания гребней бандажей колесных пар локомотива. При установке контроллера машиниста на нулевую позицию снимается питание с катушки ПР-1, при этом система гребнесмазывания АГС-8 отключается.

При производстве работы, машинисту локомотива часто приходится набирать и сбрасывать позиции контроллера, что негативно может сказаться на работе блока АГС-8. В момент трогания поезда с места локомотивом реализуются большие тяговые усилия и подача смазки несколько снижает коэффициент сцепления колеса с рельсом [5].

Чтобы обеспечить более устойчивую работу системы гребнесмазывания, специально разработано реле пуска блока автоматического управления АГС-8. Реле пуска выполнено на основе реле времени типа ВЛ-50У3.

При постановке рукоятки контроллера машиниста тепловоза на первую позицию получают питание поездные контакторы (см. рисунок) и с клеммы 1К243 получает питание катушка реле времени РВП. Получив питание, катушка начинает отсчет времени и через 25–35 секунд своими замыкающими контактами с выдержкой времени на замыкание создает цепь питания для катушки промежуточного реле ПР-1. Получив питание, промежуточное реле ПР-1 включается и производит включение блока АГС-8. Также своими замыкающими контактами промежуточное реле ПР-1 создает цепь питания на сигнальную лампу «Гребнесмазыватель вкл.», расположенную на пульте машиниста, которая сигнализирует о включении блока автоматической системы гребнесмазывания.

При постановке рукоятки контроллера машиниста тепловоза на нулевую позицию теряет питание катушка реле пуска РВП, своим контактом разрывает цепь питания на катушку промежуточного реле ПР-1, которое в свою очередь отключает блок автоматической системы гребнесмазывания и через блокировочный контакт подает питание на сигнальную лампу «Гребнесмазыватель выкл.».

Разработанный и установленный на тепловозах ТЭМ2 и ТЭМ18 блок управления для автоматической системы гребнесмазывания бандажей колесных пар позволил устранить недоработки НПП «Фромир», исключить попадание смазки на поверхность катания бандажей колесных пар.

Если до установки на тепловозы ТЭМ2 и ТЭМ18 эффекта от применения автоматической системы гребнесмазывания не было выявлено, то после установки самого блока управления и реле пуска АГС-8 ресурс бандажей до обточки по минимальной толщине гребня увеличился до 33 %.

#### **Список литературы**

1. Буйносов А.П., Умылин И.В. Оптимизация процесса обточки бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 101-104.
2. Буйносов А.П., Пышный И.М. Повышение долговечности бандажей колесных пар промышленных локомотивов: Монография. Саарбрюккен (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2015. 212 с.
3. 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.
4. Лужнов Ю.М., Александров В.Д. Основы триботехники / Под ред. Ю.М. Лужнова. – М.: МАДИ, 2013. 136 с.
5. Пышный И.М., Буйносов А.П., Балдин В.Л. Блок управления автоматизированной системы гребнесмазывания для тепловозов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Матер. науч.-техн. конф. с междун. уч. / Омский гос. ун-т путей сообщения. 2011. С. 102-105.

05.22.07

**А.П. Буйносов д.т.н., Н.Г. Фетисова**Уральский государственный университет путей сообщения,  
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buinosov@mail.ru, NFetisova@usurt.ru**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ГОДНОСТИ  
СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*В статье приведен теоретический анализ состояния структурных составляющих годности сложных динамических систем или оборудования и их изменения в процессе эксплуатации на железнодорожном транспорте.*

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, динамика, сложность, система, годность, структура, составляющие, состояние, анализ.*

Технические системы железнодорожного транспорта характеризуются прежде всего, многоэлементностью, тяжелыми условиями эксплуатации, большим циклом рабочих нагрузок, при этом качественное состояние систем постоянно меняется во времени. Чтобы судить о выработке ресурса системы, надо исследовать износ (старение) всех ее конструктивных элементов, знать закономерности снижения эффективности всех неконструктивных элементов (регулировка, окраска, защитные покрытия) и уметь интегрировать эти данные для получения обобщенного показателя износа.

Существует несколько методов оценки износа сложного оборудования, среди которых наибольшее распространение получили [1]: стоимостный метод оценки износа по техническому состоянию системы в целом; стоимостный метод оценки износа по техническому состоянию важнейших конструктивных элементов.

В обоих случаях износ сложного оборудования или системы оценивается величиной остаточной стоимости. Не останавливаясь на детальном анализе указанных методов, можно отметить, что наиболее сложным этапом в реализации такой оценки является определение остаточной стоимости в какой-то текущий момент времени. Наиболее объективной мерой текущего износа системы является такая величина, которая включает в себя показатель выработки ресурса долговечности по прогнозирующему параметру каждого элемента системы в рассматриваемый период времени и относительную стоимость элементов.

Если основные элементы системы выразить в долях от полной ее стоимости, то временную зависимость общего износа системы можно оценить математической зависимостью:

$$P(t) = W_1 \cdot P_1(t) + W_2 \cdot P_2(t) + \dots + W_n \cdot P_n(t) = \sum_{i=1}^n W_i \cdot P_i(t), \quad (1)$$

где  $P(t)$  – относительный износ системы в случайный момент времени  $t$ ;  $W_i = a_i / a$  – доля  $i$ -го элемента в общей стоимости системы;  $a_i$  и  $a$  – соответственно, стоимость  $i$ -го элемента и системы в целом;  $P_i(t)$  – показатель выработки ресурса прогнозирующего параметра  $i$ -го элемента в момент времени  $t$ .

Относительная стоимость элементов (доля  $i$ -го элемента в общей стоимости системы)  $W_i$  за период длительной эксплуатации системы может меняться за счет некоторого изменения цен на материалы и изделия. Однако возможные относительные вариации этого показателя для конкретно выбранного момента времени, как свидетельствует практика, весьма незначительны, поэтому в дальнейшем можно считать, что  $W_i = \text{Const}$  и не зависит от времени в рассматриваемом достаточно продолжительном интервале эксплуатации.

Отсюда следует, что износ как отдельных элементов, так и системы в целом определяется закономерностями выработки технического ресурса.

У различных элементов системы наблюдаются различные начальные уровни ресурса и различные скорости его выработки. Поэтому сложная система имеет в своем составе узлы и элементы различной долговечности. Одни элементы работают весь срок службы,

установленный для данной системы, другие требуют периодической замены или ремонта.

Техническое обслуживание и ремонтно-профилактические операции обусловлены наличием в структуре исходной годности системы, недолговременно действующей части, относящейся, как к конструктивным, так и неконструктивным элементам. В процессе ремонта часть годности системы возобновляется.

Общую структуру годности системы, а также изменение составляющих годности во времени схематически изображено в виде графика (рисунок), на котором по оси ординат откладываются годности конструктивных и неконструктивных элементов. На рисунке указано:  $E_1$  и  $G_1$  – часть годности системы, соответствующая долговременно действующим конструктивным и неконструктивным элементам;  $E_2^0$  и  $G_2^0$  – часть годности системы, соответствующая недолговременно действующим элементам, восстанавливаемым через период эксплуатации  $t_2^0$  и  $t_2^{01}$ ;  $E_3^0$  и  $G_3^0$  – часть годности системы, соответствующая недолговременно действующим элементам, восстанавливаемым через период  $t_3^0$  и  $t_3^{01}$ .

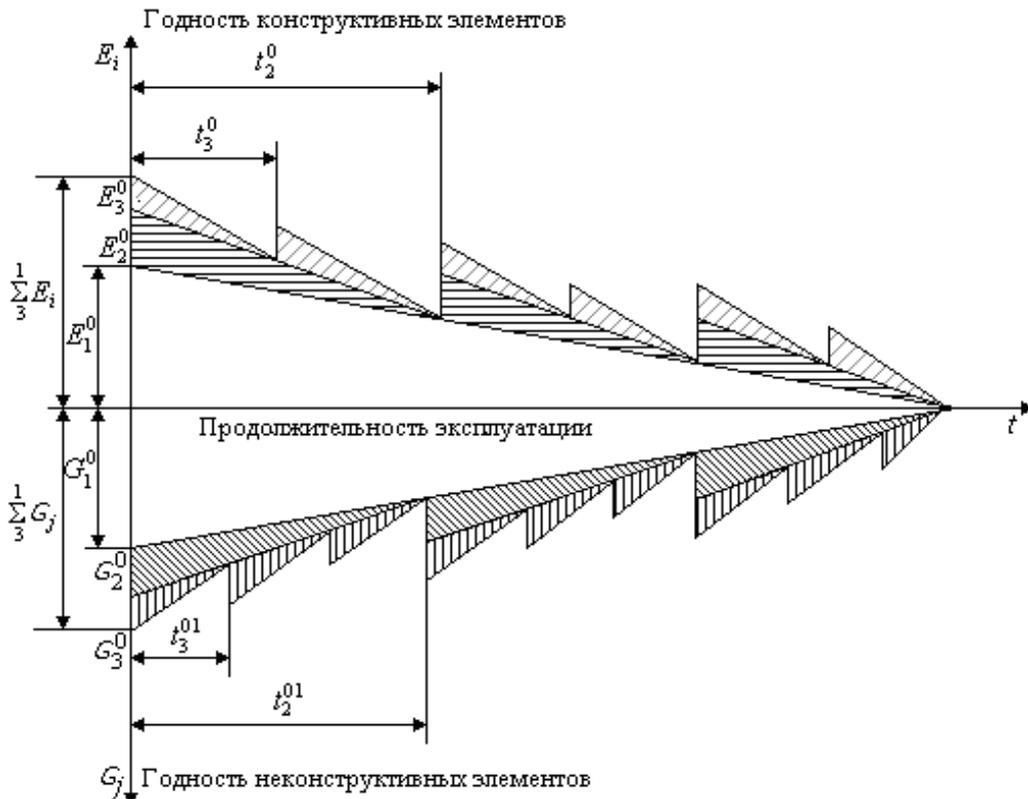


Рис. Схема структурных составляющих годности системы и их изменения в процессе эксплуатации

При построении графика в целях упрощения был принят ряд допущений: 1) принят линейный закон изменения годности элементов в пределах их сроков службы; 2) годность нескольких элементов представлена в виде годности одного укрупненного элемента; 3) при ремонте недолговременно действующие элементы приобретают дополнительную годность, равную потерянной исходной годности.

Анализ состояния структурных составляющих годности позволяет дать объективную оценку, насколько каждый элемент выполняет свои функции с учетом всех потенциальных возможностей отказа. Такой подход относится к статистической модели типа «параметр–поле допуска».

Если принять, что элемент будет находиться в исправном состоянии, когда его прогнозирующий параметр выше границы поля допуска  $w$ , то для фиксированного момента времени  $t$ ; вероятность исправности элемента  $G_{wi}$  будет определяться выражением:

$$G_{wi} = \int_w^{\infty} f_i[y(t_i)]dy, \quad (2)$$

где  $f_i[y(t_i)]$  – плотность вероятности значений прогнозирующего параметра в момент времени  $t_i$ .

Случайные процессы, характеризующие изменение прогнозирующих параметров элементов в условиях эксплуатации, являются суммой двух случайных процессов: из-за колебаний внешних условий имеют место кратковременные обратимые изменения параметров. Обычно такие изменения аппроксимируются стационарными случайными функциями времени; долговременные необратимые изменения параметров элементов происходят под действием нагрузок и внешних воздействий, вызывающих в элементах физические или химические превращения, т. е. старение или износ. Каждый тип элемента имеет свою траекторию износа. Однотипные элементы дают близкие по форме зависимости износа, но с различными параметрами. Подобного рода временные зависимости относятся к классу нестационарных случайных процессов.

Учитывая двойственный характер, случайный процесс изменчивости прогнозирующего параметра элемента  $Y(t)$ , без учета ошибок измерений, будет выражаться зависимостью:

$$Y(t) = \{H(t)\} + \{\beta(t)\}, \quad (3)$$

где  $\{H(t)\}$  – функция, описывающая нестационарный случайный процесс необратимых изменений прогнозирующего параметра;  $\{\beta(t)\}$  – функция, описывающая стационарный случайный процесс обратимых изменений прогнозирующего параметра.

В каком бы режиме не находились системы на их элементы влияют внешние воздействия, включающие различные разрушающие факторы, случайно меняющиеся во времени. Поэтому при исследовании вопроса эксплуатационного износа сложной системы необходимо, прежде всего, обосновать пути определения долговечности отдельных элементов, для чего следует разработать физико-математическую модель отказа элементов.

#### **Список литературы**

1. Селиванов А.И. Основы теории старения машин. М.: Машиностроение, 1971. 398 с.
2. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. М.: Мир, 1970. 368 с.
3. Буйнов 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.
4. Буйнов А.П., Шепелева И.О. Результаты моделирования упрочнения стали бандажей при термообработке колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 5. С. 153-156.
5. Буйнов А.П., Умылин И.В. Оптимизация процесса обточки бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 101-104.

05.22.07

**А.П. Буйносов д.т.н., И.О. Шепелева**

Уральский государственный университет путей сообщения,  
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buynosov@mail.ru, shepeleva-ira\_91@mail.ru

### **СПОСОБ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*В статье приведены результаты нового способа струйного плазменного упрочнения гребней бандажей колесных пар железнодорожного транспорта в азоте, приведены структура и свойства термоупрочненного колеса, результаты эксплуатационных исследований.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, колесная пара, бандаж, упрочнение, плазменное, способ.*

Для повышения эксплуатационной стойкости изделий из чугуна и стали, работающих в условиях контактной усталости и износа, применяются методы поверхностного термоупрочнения с использованием концентрированных пучков энергии – лазерных, электронных, плазменных. Применение этих видов поверхностной обработки позволяет, не изменяя механических свойств изделия в целом, существенно увеличить их срок службы. Это обусловлено тем, что обработке подвергается локальная область изделия, испытывающая наибольшие контактные напряжения [1].

Физическая природа упрочнения металла под воздействием концентрированных пучков энергии связана с изменением структурного состояния в результате локального разогрева поверхностных слоев металла и последующего охлаждения. Образование структур закалочного типа (мартенсит, бейнит) в процессе охлаждения приводит к увеличению твердости и износостойкости. Однако при этом может снижаться сопротивление стали хрупкому разрушению, что ограничивает применение подобных технологий поверхностной обработки [2].

Эффективность работы поверхностно упрочненного изделия определяется следующими основными факторами: прочность и твердость упрочненной зоны металла; однородность структуры и стабильность свойств, наличие плавной переходной области, обеспечивающей прочность сцепления упрочненного слоя и основного металла; высокое сопротивление разрушению [3].

В связи с этим, наиболее перспективными являются технологии упрочнения, разработанные с учетом вышеперечисленных факторов.

Главной изнашиваемой частью железнодорожного колеса является гребень, который в контакте с рельсом подвержен трению скольжения с высокими динамическими нагрузками при колебаниях тележки локомотива в железнодорожной колее. С целью увеличения твердости гребня и уменьшения его износа применяется плазменное упрочнение, которое имеет ограниченные возможности, связанные с высокой твердостью и хрупкостью упрочненной структуры стали – мартенсита. Более широкие возможности по созданию износостойкой и ударопрочной структуры стали обеспечивает плазменная наплавка порошками [4], которая применяется также для деталей локомотивов, вагонов, железнодорожных машин в основном из низкоуглеродистых сталей. В статье [5] приводятся сведения о получении композиционного слоя на гребне бандажа: сначала нанесение слоя износостойкого порошка, а затем на него тонкого антифрикционного слоя (до 0,1 мм) – бронзы.

Наплавка бандажей из высокоуглеродистой стали при расплавлении ее затруднена из-за опасности образования трещин. Однако опыт плазменного упрочнения с нагревом до температур, близких к температуре плавления 1250–1500 °С, показывает, что наплавка гребней бандажей без расплавления основного металла (по существу – пайка)

износостойкими порошками, антифрикционными материалами, имеющими низкую температуру плавления  $\sim 900$  °С, возможна, при этом нанесение покрытия возможно совместить с упрочнением.

В ремонтном локомотивном депо Таганай (г. Златоуст) накоплен большой опыт плазменного упрочнения гребней бандажей колесных пар электровозов ВЛ10. Впервые в России в депо предложен новый способ плазменного упрочнения гребней колесных пар за счет использования струйной установки плазменного упрочнения в азоте УПУ-8М.

Установка упрочнения колесных пар представляет собой механизм вращения колесной пары и два плазматрона, установленных непосредственно вблизи рабочей поверхности колес, с профилированным срезом канала на выходе в соответствии с профилем колеса. Вращение колесной пары и режим работы плазматронов управляются компьютером.

Для генерирования плазмы используются плазматроны с закрытой электрической дугой косвенного действия, т. е. отрицательный и положительный полюса источника питания подаются на электроды плазматрона, соответственно, катод и анод, расположенные внутри плазматрона [6]. При работе плазматрона сжатая электрическая дуга, горящая между катодом и анодом, стабилизируется вихревым газовым потоком. В качестве плазмообразующего газа используется технический азот, так как он является нейтральным газом по отношению к электродам. Вольфрамовый наконечник катода впаян в медный держатель. Межэлектродная вставка (сопло) и медный анод служат для создания требуемых электрических параметров дуги. Низкотемпературная плазма образуется при взаимодействии электрической дуги с азотом. Далее плазменная струя формируется в щель преобразователем потока [7].

Технология термоупрочнения основана на воздействии низкотемпературной плазмы на поверхность обода колеса. Конструкция плазматрона позволяет за один проход обрабатывать гребень и часть поверхности катания, т. е. область колеса, наиболее подверженную износу, это так называемая область «бокового износа». Нагрев металла производится в  $\gamma$ -области [8] до температуры, не приводящей к образованию оплавленного слоя. Охлаждение осуществляется на воздухе и за счет теплоотвода металлом колеса.

На рисунке представлено поперечное сечение обода колеса, подвергнутого плазменной обработке, на котором травлением выявлена упрочненная зона. Эта зона имеет вид непрерывной полосы шириной до 70 мм, охватывающей часть поверхности катания (до 35 мм) и гребня (до 35 мм). Максимальная толщина упрочненного слоя – 5 мм.



Рис. Поперечный шлиф обода термоупрочненного колеса

Упрочнение гребней колесных пар было проведено ремонтном локомотивном депо Таганай ( $N = 43$  кВт,  $V = 280$  мм/мин,  $F = 1,8$  г/с) в соответствии с ТИ 026-01124328-2000 «Техническая инструкция по плазменному поверхностному упрочнению гребней бандажей локомотивных колесных пар» и ТУ 0943-218-01124323-2006 «Бандажные колеса с термическим упрочнением гребня».

При исследовании микроструктуры термоупрочненного и переходных слоев выявлено пять участков с различным типом микроструктуры:

1. Тонкий поверхностный слой с аустенитной структурой толщиной до 20 мкм. Слой прочно связан с металлом колеса, не отслаивается. Наблюдается прорастание игл «фермообразного» мартенсита вглубь данного слоя. Его твердость несколько ниже, чем у

прилегающего слоя с игольчатой структурой. Определить точное значение микротвердости не представляется возможным из-за малой толщины слоя. Электронно-микроскопическое исследование показало присутствие в этом слое нитридных фаз, образовавшихся в результате насыщения поверхностных слоев металла азотом, вследствие особенностей технологии плазменной обработки. То обстоятельство, что вблизи поверхности имеется слой аустенита, позволяет предположить, что содержание азота в поверхностном слое может достигать 1,5–2,0 % вес.

2. Слой со структурой низкоотпущенного «пакетного» мартенсита с микротвердостью  $H_{\mu 0,981} = 500\text{--}740$  Н/мм. Ширина этого слоя достигает 1 мм. Тонкая структура этого слоя включает две составляющие – двойникованные пластины и более тонкие рейки мартенсита. Внутри двойникованных кристаллов мартенсита наблюдаются дисперсные частицы карбидов размером 50–100 мкм.

3. Область неоднородной промежуточной структуры, представляющая собой смесь участков троостомартенсита с  $H_{\mu 0,981} = 420$  Н/мм<sup>2</sup> и мартенсита с  $H_{\mu 0,981} = 610$  Н/мм<sup>2</sup>. Ширина этого слоя также до 1 мм.

4. Промежуточная структура троостосорбита с  $H_{\mu 0,981} = 300\text{--}390$  Н/мм<sup>2</sup> шириной до 1 мм плавно переходящая к основному металлу.

5. Структура основного металла колеса – сорбит отпуска с участками феррита по границам зерен ( $H_{\mu 0,981} = 300\text{--}320$  Н/мм<sup>2</sup>).

Таким образом, плазменная обработка обеспечивает плавный переход от закаленных структур к структурам основного металла бандажа колеса, что должно благоприятно сказываться на прочности сцепления термоупрочненного слоя с основным металлом.

Исследование эксплуатационных свойств термоупрочненных колесных пар проведено на основе контрольной выборки по 300 пар после двух лет эксплуатации электровозов ВЛ10 в эксплуатационном депо Златоуст Южно-Уральской дирекции тяги. Установлено, что из-за предельного износа гребня и (или) поверхности катания было выкачено 218 не упрочненных и 90 упрочненных колесных пар. Средний пробег до обточки первых 90 выкаченных из-за износа электровозных колесных пар увеличился благодаря упрочнению от 67 до 155 тыс. км.

#### Список литературы

1. 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.
2. Коротков В.А., Трошин О.В., Бердников А.А. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления поверхности // Физика и химия обработки материалов. 1995. № 2. С. 101-106.
3. Домбровский Ю.М. Кинетика нагрева стали сканируемой воздушно-плазменной дугой // Сварочное производство. 1998. № 11. С. 15-18.
4. Чкалов Л.А., Кузнецов В.А., Загайнов Д.В. Плазменно-порошковая наплавка // Железнодорожный транспорт. 2003. № 5. С. 63-64.
5. Хаскин В.Ю., Шелягин В.Д., Бернацкий А.В. Современное состояние и перспективы развития технологий лазерной и гибридной наплавки (обзор) // Автоматическая сварка. 2015. № 5-6 (742). С. 30-33.
6. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Моделирование упрочнения стали бандажей при термообработке колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 86-89.
7. Шоршоров М.Х., Барашков А.С. К оценке эффективного радиуса подвижного нормально-кругового источника на поверхности плоского слоя по ширине зоны проплавления // Сварочное производство. 1990. № 2. С. 40-42.
8. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Результаты моделирования упрочнения стали бандажей при термообработке колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 5. С. 153-156.

05.00.00

**В.С. Вакулюк, д.т.н., В.К. Шадрин, к.т.н., В.В. Лунин, П.Е. Киселев, П.А. Шляпников**

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет), кафедра сопротивления материалов,  
Самара, dogg199191@mail.ru

### **ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЁННОГО СЛОЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ**

*В работе представлены результаты исследования влияния различных видов поверхностного упрочнения на толщину упрочнённого слоя и предел выносливости образцов с концентраторами напряжений. Для оценки результатов использовались два критерия – осевых остаточных напряжений на поверхности опасного сечения образца  $\sigma_z^{нов}$  и среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{осм}$ .*

Ключевые слова: *толщина упрочнённого слоя, предел выносливости, критерий среднеинтегральных остаточных напряжений.*

При изготовлении деталей в современном машиностроении широко используются различные методы поверхностного пластического деформирования, применение которых приводит к значительному повышению сопротивления усталости, особенно в условиях концентрации напряжений. В тех случаях, когда невозможно подвергнуть упрочнению сам концентратор, используется опережающее поверхностное пластическое деформирование (ОПД), при котором вначале упрочняется гладкая деталь, а затем на неё наносится концентратор. За счёт перераспределения остаточных усилий в гладкой детали в опасном сечении детали с концентратором формируются сжимающие остаточные напряжения [1-6], результатом чего является повышение характеристик сопротивления усталости.

В настоящем исследовании изучалось влияние толщины упрочнённого поверхностного слоя, созданного различными методами и на различных режимах, на предел выносливости образцов после ОПД.

В работе рассматривалось влияние таких видов поверхностного упрочнения как пневмодробеструйная обработка (ПДО) и обкатка роликом (ОР) на предел выносливости цилиндрических образцов диаметром 10 мм, изготовленных из стали 20, которая имела следующие механические характеристики:  $\sigma_T = 395$  МПа,  $\sigma_B = 522$  МПа,  $\delta = 26,1$  %,  $\psi = 65,9$  %,  $S_k = 1416$  МПа. Гладкие образцы диаметром 10 мм подвергались упрочнению на пневмодробеструйной установке дробью диаметром 1,5–2,5 мм при давлении воздуха 0,28 МПа, а также обкатке роликом диаметром 60 мм и профильным радиусом 1,6 мм.

Остаточные напряжения в упрочнённых гладких образцах определялись экспериментально методом колец и полосок [7], а также методом снятия половины поверхности образца [8]. Распределение осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя  $a$  приведено на рис. 1.

Наибольшие сжимающие остаточные напряжения после использованных в работе методов поверхностного упрочнения различаются несущественно, составляя после обработки дробью -338 МПа, а после обкатки роликом -362 МПа. Однако, глубина залегания сжимающих остаточных напряжений (толщина упрочнённого слоя) после обкатки роликом существенно больше, чем после пневмодробеструйной обработки, составляя после ПДО 0,29 мм, а после ОР1 и ОР2 0,48 мм и 0,69 мм соответственно. Следовательно, толщина упрочнённого слоя со сжимающими остаточными напряжениями после обкатки роликом превышает соответствующую толщину слоя после пневмодробеструйной обработки при  $P = 0,5$  кН в 1,7 раза, а при  $P = 1,0$  кН в 2,4 раза.

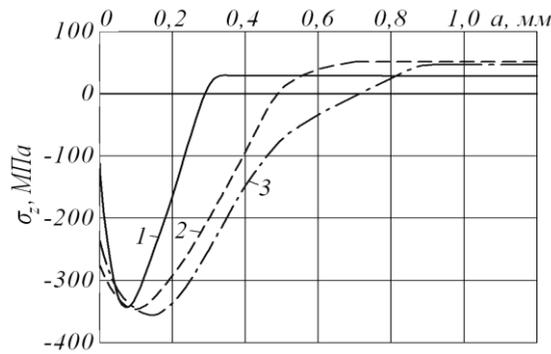


Рис. 1 – Распределение осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений в гладких образцах после: 1 – ПДО; 2 – ОР1; 3 – ОР2

На упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы фасонными резцами наносились круговые надрезы полукруглого профиля двух радиусов:  $R = 0,3$  мм и  $R = 0,5$  мм. Остаточные напряжения в упрочнённых образцах с надрезами определялись как аналитическим, так и численным методами путём суммирования дополнительных напряжений, возникающих в результате нанесения надреза, и исходных остаточных напряжений [9, 10]. Распределение осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя  $a$  в образцах с надрезами представлено на рис. 2.

Следует обратить внимание на то, что максимальная величина сжимающих остаточных напряжений на дне надреза с  $R = 0,3$  мм достигает после обкатки роликом ( $P = 1,0$  кН) - 861 МПа (рис. 2, эпюра 3). Эта величина больше предела текучести исследуемой стали 20. Объяснение наблюдаемому явлению дано в работе [11], в которой показано, что максимальные сжимающие остаточные напряжения в поверхностно упрочнённых образцах и деталях могут превышать сопротивление разрыву материала  $S_k$  на 15%, а этот предел в настоящем исследовании не превзойдён.

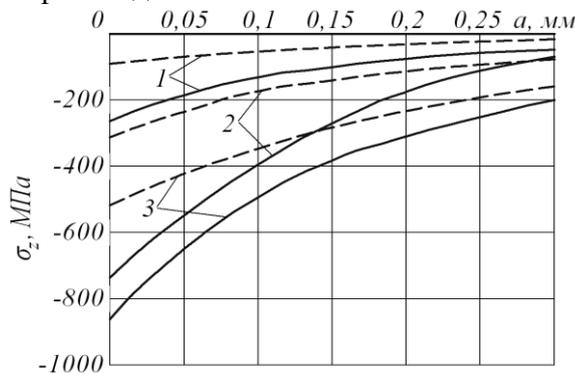


Рис. 2 – Распределение осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений в образцах с надрезами (— —  $R = 0,3$  мм; ---- —  $R = 0,5$  мм) после: 1 – ПДО, 2 – ОР1, 3 – ОР2

Испытания образцов с надрезами на усталость при изгибе в случае симметричного цикла проводились на машине МУИ-6000, база испытаний –  $3 \cdot 10^6$  циклов нагружения. Результаты определения предела выносливости  $\sigma_{-1}$  представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений

Радиус надреза, мм	Неупрочнённые образцы $\sigma_{-1}$ , МПа	Упрочнённые образцы						
		обработка	$\sigma_{-1}$ , МПа	$\sigma_z^{нов}$ , МПа	$\psi_\sigma$	$t_{кр}$ , мм	$\bar{\sigma}_{осм}$ , МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
0,3	110	ПДО	155	-263	0,171	0,203	-126	0,357
		ОР (1)	230	-732	0,164	0,195	-337	0,356
		ОР (2)	267,5	-861	0,183	0,205	-454	0,347
0,5	120	ПДО	137,5	-90	0,194	0,196	-48	0,365
		ОР (1)	187,5	-311	0,217	0,202	-178	0,379
		ОР (2)	250	-517	0,251	0,192	-333	0,390

Из представленных в табл. 1 данных видно, что предел выносливости образцов с надрезами после обкатки роликом значительно выше, чем после пневмодробеструйной обработки. При радиусе надреза  $R = 0,3$  мм предел выносливости  $\sigma_{-1}$  образцов после ОР2 увеличился в 2,4 раза, а после ПДО – в 1,4 раза; при  $R = 0,5$  мм  $\sigma_{-1}$  образцов после ОР2 увеличился в 2,1 раза, а после ПДО только в 1,15 раза. Следовательно, с увеличением толщины упрочнённого поверхностного слоя гладких образцов при ОПД предел выносливости образцов с надрезами, нанесёнными на эти образцы, повышается.

Выстоявшие базу испытаний упрочнённые образцы при напряжениях, равных пределу выносливости, доводились до разрушения при больших напряжениях. Во всех упрочнённых образцах были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости, глубина  $t_{кр}$  которых приведена в табл.1. Следует отметить, что значения критической глубины нераспространяющейся трещины усталости соответствуют зависимости  $t_{кр}$  от диаметра опасного сечения упрочнённой цилиндрической детали, установленной в работах [4, 12].

Оценка влияния поверхностного упрочнения на приращение предела выносливости  $\Delta\sigma_{-1}$  образцов проводилась по двум критериям: осевым остаточным напряжениям на поверхности опасного сечения образца  $\sigma_z^{ног}$  и среднеинтегральным остаточным напряжениям  $\bar{\sigma}_{осм}$  [4, 12-15]

$$\Delta\sigma_{-1} = \psi_{\sigma} |\sigma_z^{ног}|,$$

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_{\sigma} |\bar{\sigma}_{осм}|,$$

где  $\psi_{\sigma}$  и  $\bar{\psi}_{\sigma}$  – коэффициенты влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критериям  $\sigma_z^{ног}$  и  $\bar{\sigma}_{осм}$  соответственно;  $\bar{\sigma}_{осм} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi$  – среднеинтегральные остаточные напряжения;  $\sigma_z(\xi)$  – осевые остаточные напряжения в опасном сечении образца с концентратором по толщине поверхностного слоя  $a$ ,  $\xi = a/t_{кр}$  – расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях  $t_{кр}$ ,  $t_{кр}$  – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей в упрочнённом образце с концентратором напряжений при работе на пределе выносливости. Значения осевых остаточных напряжений на поверхности надреза  $\sigma_z^{ног}$  и критерия  $\bar{\sigma}_{осм}$ , вычисленного по распределению остаточных напряжений в образцах с надрезами (рис. 2), а также коэффициентов  $\psi_{\sigma}$  и  $\bar{\psi}_{\sigma}$  приведены в табл. 1. Из данных табл. 1 следует, что среднее значение коэффициента влияния поверхностного упрочнения по критерию  $\bar{\sigma}_{осм}$  на предел выносливости образцов с надрезами составляет  $\bar{\psi}_{\sigma} = 0,366$ , что практически совпадает с величиной коэффициента  $\bar{\psi}_{\sigma} = 0,36$  для образцов и деталей из сталей других марок, а также сплавов на основе никеля и алюминия с такой же степенью концентрации напряжений [4]. Значение коэффициента  $\psi_{\sigma}$  по критерию  $\sigma_z^{ног}$  изменяется 1,5 раза, поэтому использование этого критерия для прогнозирования предела выносливости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений не представляется возможным.

#### Выводы

1. Проведённые в настоящем исследовании эксперименты показали, что при опережающем поверхностном пластическом деформировании увеличение толщины упрочнённого поверхностного слоя гладких образцов приводит к повышению предела выносливости образцов с надрезами за счёт увеличения сжимающих остаточных напряжений в их опасном сечении.

2. Критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости  $t_{кр}$  для образцов из стали 20 диаметром 10 мм соответствует установленной ранее [4, 12] зависимости  $t_{кр}$  от диаметра опасного сечения поверхностно упрочнённых образцов и деталей, изготовленных из других материалов.

3. Проведённые эксперименты показали, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  в отличие от критерия остаточных напряжений на поверхности опасного сечения образца можно использовать для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов с концентраторами напряжений из стали 20.

#### Список литературы

1. *Иванов, С.И.* Влияние остаточных напряжений и наклёпа на усталостную прочность [Текст] / С.И. Иванов, В.Ф. Павлов // Проблемы прочности, 1976. – №5. – С. 25-27.
2. *Радченко, В.П.* Влияние превмодробеструйной обработки и термоэкспозиции на остаточные напряжения и предел выносливости образцов с надрезами из сплавов В95 и Д16Т [Текст] / В.П. Радченко, В.А. Кирпичёв, В.В. Лунин // Вестник Сам ГТУ. Сер.: физ-мат. науки, 2011. – № 3 (24). – С. 181-184.
3. *Павлов, В.Ф.* Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей в условиях концентрации напряжений [Текст] / В.Ф. Павлов, В.С. Вакулюк, А.В. Чирков, В.П. Сазанов // Вестник УГАТУ, 2011 – Т. 15. – №4 (44). – С. 111-115.
4. *Павлов, В.Ф.* Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк – Самара: Издательство СНИЦ РАН, 2012. – 125 с.
5. *Радченко, В.П.* Влияние обкатки роликом на остаточные напряжения и сопротивление усталости образцов из стали 40ХН [Текст] / В.П. Радченко, В.А. Кирпичёв, В.В. Лунин // Вестник Сам ГТУ. Сер.: техн. науки. – 2013. – №1 (37). – С. 142-150.
6. *Вакулюк, В.С.* Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов с концентраторами напряжений [Текст] / В.С. Вакулюк, В.А. Кирпичёв, В.Ф. Павлов, В.П. Сазанов. // Вестник УГАТУ, 2013. – Т.17. – №1 (54). – С. 45-49.
7. *Иванов, С.И.* К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок [Текст] / С.И. Иванов // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып.53. – С.32-42.
8. *Иванов, С.И.* К определению остаточных напряжений в цилиндре методом снятия части поверхности [Текст] / С.И. Иванов, И.В. Григорьева // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып. 48. – С. 179-183.
9. *Иванов, С.И.* Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом [Текст] / С.И. Иванов, М.П. Шатунов, В.Ф. Павлов // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1974. – Вып.1. – С. 88-95.
10. *Чирков, А.В.* Моделирование перераспределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при опережающем поверхностном пластическом деформировании [Текст] / А.В. Чирков, В.П. Сазанов, В.А. Самойлова, Ю.С. Ларионова // Вестник СГАУ. – 2011. – №3(27). Ч.3. – С. 171-174.
11. *Радченко, В.П.* Наибольшая величина сжимающих остаточных напряжений при поверхностном упрочнении деталей [Текст] / В.П. Радченко, В.Ф. Павлов // Прочность материалов и элементов конструкций. Труды международной научно-технической конференции. – ИПП им. Г. С. Писаренко НАН Украины, 2011. – С. 354-357.
12. *Павлов, В.Ф.* Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали [Текст] // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22-26.
13. *Павлов, В.Ф.* О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений [Текст] // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – № 8. – С. 29-32.
14. *Кирпичёв, В.А.* Остаточные напряжения и сопротивление усталости образцов с V – образными надрезами из стали ВНС 40 [Текст] / В.А. Кирпичёв, М.Н. Саушкин, В.П. Сазанов, О.Ю. Семёнова // Вестник СГАУ. – 2012. – №5 (36). Ч. 1. – С. 95-99.
15. *Кирпичёв, В.А.* Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений [Текст] / В.А. Кирпичёв, А.С. Букатый, А.П. Филатов, А.В. Чирков // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т.15. – №4(44). – С. 81-85.

05.16.09

**Н.Р. Валиев, Р.А. Валиев к.ф.-м.н.**

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета,  
кафедра материалов, технологий и качества,  
Набережные Челны, nailvali@mail.ru, rustvali@mail.ru

## **ОСОБЕННОСТИ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ КАРБИДНОГО КЛАССА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

*Методами ядерной гамма-резонансной спектроскопии и рентгеноструктурного анализа исследовано фазовое состояние инструментальной стали с высоким содержанием карбидообразующих элементов до и после лазерной обработки. Лазерное облучение уменьшает излишнее количество остаточного аустенита в тонком поверхностном слое стали, обусловленное традиционной термической обработкой. Интенсивность мартенситного превращения зависит от параметров лазерного луча.*

Ключевые слова: *мартенситное превращение, остаточный аустенит, фазовый состав, инструментальная сталь, лазерная обработка.*

**Введение.** Исследование процессов, происходящих в инструментальных сталях при лазерной обработке, представляет особый интерес в связи с перспективностью ее использования для повышения износостойкости режущего инструмента [1, 2]. Режущие свойства инструментальной стали во многом определяются ее фазовым составом, который формируется в результате мартенситного превращения. При воздействии лазерного излучения эти превращения происходят в тонком поверхностном слое материала. Экспериментальные методы исследований, сопровождающиеся вмешательством в этот обработанный слой (например, шлифованием), могут дать информацию, несоответствующую реальному структурному состоянию облученного материала. В связи с этим для исследования фазовых превращений при лазерной обработке предпочтительными являются неразрушающие методы контроля поверхности [3].

**Эксперимент.** Лазерному воздействию была подвергнута инструментальная сталь – сплав на основе железа с высоким содержанием карбидообразующих элементов (0.8% С, 18.1% W, 4.0% Cr, 1.0% V). Плоские образцы из этого сплава после стандартной закалки в масле были подвергнуты лазерному воздействию без оплавления их поверхности. Фазовое состояние сплава до и после обработки лазером было исследовано ядерной гамма-резонансной (ЯГР) спектроскопией в геометрии обратного рассеяния без разрушения образцов. Особенность такой геометрии обусловлено тем [4], что в режиме счета конверсионных электронов она дает информацию с глубины около 0.1 мкм, а при счете рентгеновских квантов возможно исследование поверхностного слоя с толщиной примерно 10 мкм. Для повышения надежности получаемых результатов дополнительно использовался рентгеноструктурный анализ (РСА) образцов на дифрактометре.

**Результаты и их обсуждение.** Спектры ядерного гамма-резонанса в исследуемой стали представляют собой суперпозицию уширенных линий секстета и синглета, что является отражением ее фазового состава: ферромагнитного твердого раствора на основе  $\alpha$ -Fe, парамагнитного твердого раствора на основе  $\gamma$ -Fe и сложного карбида  $Me_6C$ . Сверхтонкие параметры секстета соответствуют состоянию мартенсита, а синглет содержит как аустенитную, так и карбидную линии.

ЯГР-спектр карбида, выделенного из стали электролитическим способом, представляет собой уширенный синглет. Центр этого синглета практически совпадает с центром аустенитной линии. Наличие карбидного составляющего в синглете спектра исследуемых образцов несколько затрудняет точное определение количества остаточного аустенита. Однако  $Me_6C$  имеет очень маленький эффект резонансного поглощения, и в нем содержится незначительная доля атомов железа сплава, поэтому его линии несущественно влияют на

общий ЯГР-спектр стали. В то же время кристаллические решетки фаз ( $\alpha$ -Fe,  $\gamma$ -Fe,  $Me_6C$ ) исследуемого сплава характеризуются различными наборами межплоскостных расстояний, что позволило получить более надежные результаты дополнительно проведенным рентгеноструктурным анализом.

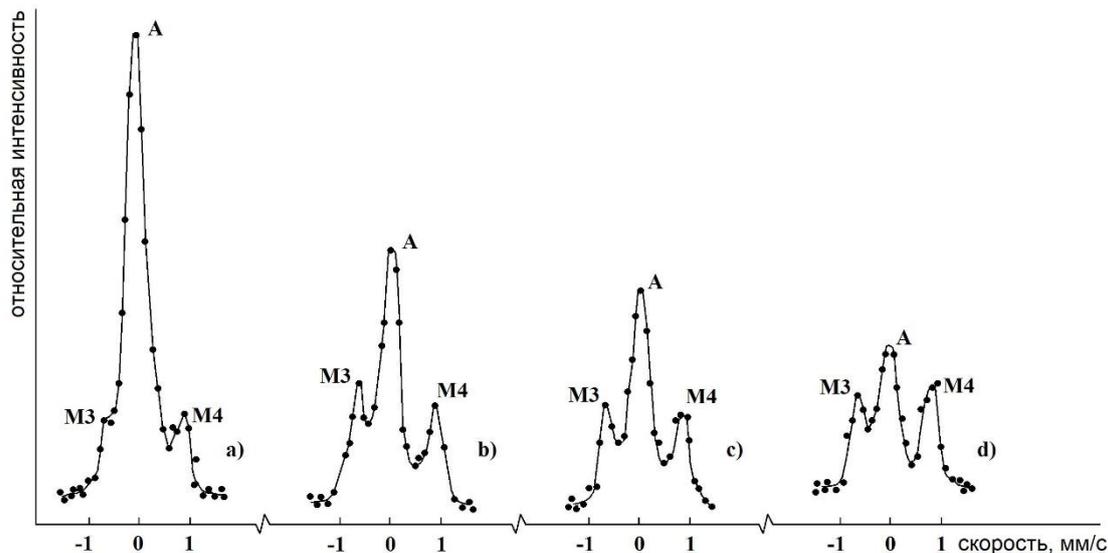


Рис. 1 – Фрагменты ЯГР-спектров инструментальной стали после закалки в масле (а, b) и после лазерной обработки с длительности импульса 1 мс (с) и 6 мс (d) в режиме счета электронов конверсии (а, с, d) и рентгеновских квантов (b). А – линия синглета аустенита; М3 и М4 – третья и четвертая линии секстета мартенсита

Анализ ЯГР-спектров рентгеновских квантов показала, что в исходной (стандартно закаленной) стали содержится чуть более 20 % остаточного аустенита (рис. 1.b). Мартенситное превращение в ней не завершается: из-за высокой насыщенности твердого раствора происходит стабилизация аустенита [5]. В то же время, из сопоставления результатов обработки исходных гамма-резонансных спектров в режимах счета электронов конверсии (рис. 1.a) и рентгеновских квантов (рис. 1.b) следует, что в поверхностном слое с толщиной 0.1 мкм остаточного аустенита содержится почти на 10 % больше, чем в нижележащих слоях (10 мкм). Это может быть связано с характером распределения и релаксации напряжений вблизи поверхности образцов при их изготовлении и объемной закалке. Мартенситное превращение носит сдвиговый характер, и поэтому его интенсивность в значительной степени определяется напряжениями.

Воздействие лазерного излучения приводит к тому, что в поверхностных слоях толщиной 0.1 мкм и 10 мкм количество остаточного аустенита становится одинаковым. Здесь необходимо акцентировать внимание на то, что направление отвода тепла при традиционной объемной закалке и лазерной обработке противоположное: охлаждение нагретого слоя происходит окружающей средой (жидкостью) со стороны поверхности и нижележащими холодными слоями стали изнутри соответственно.

В целом, лазерная закалка приводит к понижению количества остаточного аустенита. Повышение содержания мартенсита в поверхностных слоях имеет важное практическое значение, так как он является наиболее твердой структурой стали вследствие высокого уровня упругих искажений. Тогда как остаточный аустенит – нежелательная структурная составляющая в инструментальных сталях [6]. Он не только снижает твердость, но и уменьшает теплопроводность, поэтому при прочих равных условиях режущая кромка инструмента нагревается до более высокой температуры. В этой связи особенно важным является значительное понижение количества аустенита в верхнем рабочем слое (0,1 мкм) стали при воздействии лазера.

Степень уменьшения количества аустенита в поверхностном слое стали зависит от продолжительности воздействия лазера. При увеличении длительности лазерного импульса от 1 мс до 6 мс количество остаточного аустенита в стали снижается от 19 % до 14 % (рис. 1.с и 1.d). Такая зависимость, по-видимому, обусловлена различием в скоростях охлаждения, так как в верхнем интервале температур мартенситного превращения увеличение скорости охлаждения подавляет превращение [7]. Установленная зависимость содержания остаточного аустенита от длительности импульса позволяет объяснить наблюдаемое некоторое повышение микротвердости зон лазерного воздействия при увеличении длительности импульса.

Для определения остаточного аустенита по глубине образцы необходимо послойно шлифовать. Как нами установлено, режим шлифовки существенно влияет на интенсивность аустенитной линии в ЯГР-спектрах. Это объясняется тем, что напряжения, приложенные извне в процессе шлифовки, вызывают мартенситное превращение. Поэтому адекватное определение количества остаточного аустенита методами ЯГР спектроскопии и рентгеноструктурного анализа в нижележащих слоях затруднено.

Следует отметить, что при лазерной обработке кроме мартенситного превращения в стали происходит также распад карбидной фазы  $Me_6C$ , хотя и в незначительной степени.

**Заключение.** При традиционной термической обработке инструментальной стали с высоким содержанием вольфрама интенсивность мартенситного превращения в верхних поверхностных слоях зависит от их глубины.

Лазерная обработка выравнивает содержание остаточного аустенита в верхних поверхностных слоях стали по глубине, делает ее фазовый состав более однородным по сравнению с исходным. С увеличением длительности лазерного импульса повышается степень завершенности мартенситного превращения в стали.

#### **Список литературы**

1. *Yilbas B.S., Patel F., Karatas C.* Laser surface treatment of high-speed tool steel (AISI M2) / Surface and Interface Analysis. – 2013. – V. 45. – P. 1008.
2. *Amine T., Newkirk J.W., El-Sheikh H.E., Liou F.* Microstructural and hardness investigation of tool steel D2 processed by laser surface melting and alloying / International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2014. – V. 73. – P. 1427.
3. *Costa B.F.O., Blumers M., Kortmann A., Theisen W., Batista A.C., Klingelhöfer G.* Mössbauer studies of a martensitic transformation and of cryogenic treatments of a D2 tool steel / Hyperfine Interactions. – 2013. – V. 219. – P. 135.
4. *Белозерский Г.Х.* Мессбауэровская спектроскопия как метод исследования поверхности. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 355 с.
5. *Гуляев А.П., Гуляев А.А.* Металловедение. М.: Альянс, 2011. – 544 с.
6. *Геллер Ю.А.* Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 583 с.
7. *Блантер М. Е.* Теория термической обработки. – М.: Металлургия, 1984. – 328 с.

05.13.00

**А.В. Григорьев, Н.А. Гаркуша, А.А. Юсупова**Тюменский государственный университет,  
Институт математики и компьютерных наук, Тюмень, 107th@mail.ru**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОДА НА ОСНОВЕ  
ПОИСКА ШАБЛОНОВ АЛГОРИТМОВ**

*В статье предлагается метод проверки программного кода на наличие ошибок в реализуемых алгоритмах. Автором предлагается использовать методы семантической паутины, в частности язык OWL и табличный алгоритм для определения согласованности баз знаний.*

Ключевые слова: *статический анализ кода, OWL, семантическая паутина, дескрипционная логика.*

Существует большое количество программ, реализующих методы статического анализа кода. Наиболее распространенным подходом для анализа кода является метод определения соответствия кода шаблону. Хотя в программном коде появляются уникальные тонкие ошибки, которые специфичны для предметных областей, все же большинство ошибок, допускаемых разработчиками, являются похожими и для их обнаружения зачастую используются методы поиска шаблонов [1].

При написании кода программисты реализуют специфические алгоритмы. Однако, разработчики не застрахованы от совершения ошибок в реализации алгоритмов, которые могут привести к их неправильной работе, возможно, лишь на некоторых наборах данных. Для решения задачи определения правильности написания алгоритмов был разработан семантический метод поиска шаблонов в коде, основанный на методах семантической паутины.

**Метод решения представленной задачи.** Метод поиска шаблонов алгоритмов в коде может быть реализован таким же образом, как и другие методы поиска шаблонов. Однако наиболее существенная проблема, связанная с поиском шаблонов алгоритмов, заключается в том, что реализация алгоритмов разными разработчиками может отличаться. В программе статического анализа кода необходимо программно реализовывать поиск всех альтернатив, реализуемого алгоритма. Другой проблемой является реализация поиска различных алгоритмов, т.е. для того, чтобы добавить поиск ещё одного алгоритма необходимо перерабатывать исходный код анализирующей программы. Для решения указанных проблем предлагается использовать подход, основанный на применении баз знаний, описанных на языке OWL и его формальной основе – дескрипционной логике *ALCSH*.

Язык OWL – инструмент для описания баз знаний. Такая база знаний состоит из двух частей: TBox определяет терминологическую составляющую баз знаний, т.е. представляет аксиоматический аспект предметной области; ABox представляет множество экземпляров концептов базы знаний и множество отношений между этими экземплярами. Подробное описание возможностей языка OWL и механизмов вывода знаний из заданного описания представлено в [2-3].

В предлагаемом методе алгоритм представляется в виде концепта базы знаний, а то из чего он состоит в виде аксиом базы знаний TBox, программный код будет представлен в виде ABox. Проверка согласованности базы знаний, или выполнение операции реализации [5], позволит определить содержит ли код определенный алгоритм, а метод вывода объяснений (explanation) позволит определить все участки несоответствий. Данные методы реализованы во многих системах вывода знаний (так называемых Reasoner), среди которых стоит выделить систему Konclude [4], которая на сегодняшний день является наиболее быстрой [5].

Представление алгоритмов в виде базы знаний позволит избежать доработки программного кода анализирующего приложения, т.к. базы знаний могут быть дополнены с

использованием специализированных инструментов, например, Protégé.

**Метод представления алгоритмов и программного кода в виде базы знаний.**

Алгоритмы в базе знаний необходимо представлять в виде уровней сверху вниз. Это необходимо для того, чтобы сократить длину выражений базы знаний, так как это позволит задавать альтернативы для различных концептуальных уровней из реализации. Рассмотрим пример преобразования алгоритма Дейкстры в аксиомы **ТBox** базы знаний. Алгоритм Дейкстры – алгоритм на графах, позволяющий найти кратчайший путь между парой вершин.

1. **DijkstraAlgorithm**  $\sqsubseteq$  **Cycle**  $\sqcap$   $\exists$  **Body**.(**SelectMinVertex**  $\sqcap$  **RelaxAdjacent**)
2. **SelectMinVertex**  $\sqsubseteq$  **SetMinimum**  $\sqcap$  **GoThroughAll**  $\sqcap$  **DoMark**
3. **GoThroughAll**  $\sqsubseteq$  **Cycle**  $\sqcap$   $\exists$  **Body**.( $\exists$  **Condition**.(**LessMin**  $\sqcap$   $\neg$  **Marked**)  $\sqcap$   $\exists$  **Body**. **SetMin**)
4. **Cycle**  $\sqsubseteq$  «from 1 to N»  $\sqcup$  «while true»
5. **SetMin**  $\sqsubseteq$  «min=d[i]»  $\sqcap$  «x=i»
6. **RelaxAdjacent**  $\sqsubseteq$  **Cycle**

$\sqcap$  **Body**.(«if»  $\sqcap$   $\exists$  **Condition**.(**LessThanSum**  $\sqcap$   $\neg$  **Marked**)  $\sqcap$   $\exists$  **Body**.**Relax**)

7. **Condition**  $\sqsubseteq$  «if»
8. **Less**  $\sqsubseteq$  «min>d[i]»
9. **LessThanSum**  $\sqsubseteq$  «d[i]>d[x]+a[x][i]»
10. **Marked**  $\sqsubseteq$  «f[i]==true»  $\sqcup$  «f[i]==1»  $\sqcup$  «f[i]»
11. **Relax**  $\sqsubseteq$   $\exists$  **Body**.«d[i]=d[x]+a[x][i]»

Выражение (далее аксиома) 1 определяет, что алгоритм включает в себя цикл, в котором происходит выбор минимальной вершины и ослабление оставшихся. Аксиома 2 определяет, что выбор минимальной вершины – это инициализация начальной переменной (**SetMinimum**), проход через все вершины (**GoThroughAll**) и пометка выбранной вершины (**DoMark**). Аналогичным образом определяются вновь появившиеся концепты, и они определяются до тех пор, пока очередной введенный концепт не будет описывать код программы. Например, концепт **LessThanSum** представляет собой условие, которое явно задается в коде. Все концепты, записанные в кавычках, представляют собой непосредственно код на языке программирования или псевдокод, который эквивалентен некоторым выражениям на любом языке программирования.

Используя такой подход, соответствие алгоритмов можно проверять для различных подходов реализации и языков программирования. Например, добавив в концепт **Cycle** другую реализацию в виде альтернативы:

**Cycle**  $\sqsubseteq$  **for**  $\sqcap$  («from 1 to N»  $\sqcup$  «from l[i] to null»),

Таким образом, алгоритм Дейкстры определяется в двух основных реализациях: используя матрицу смежности и списки смежности.

Для того чтобы представить программный код в виде **AVox** базы знаний были разработаны правила перевода: 1) каждый цикл с пост- или предусловием определяется как индивид, имеющий связь с другим индивидом (посредством роли **Body**), представляющим тело цикла, определяемое индуктивно по представленным правилам; 2) каждый условный оператор представляется как концепт «if» с конъюнкцией условий и отношением с двумя другими индивидами, посредством ролей **Body** и **Condition**, представляющим тело условного оператора и его условие; 3) каждый оператор, не соответствующий предыдущим пунктам, записывается в виде индивида с концептом, эквивалентным записи оператора; 4) каждая отдельная процедура будет представлена несвязанным множеством индивидов.

На данном этапе предполагается проверка простого кода, однако в будущих разработках, будет представлен метод, полностью реализующий логику любых программ. Рассмотрим пример перевода кода программы в **AVox** базы знаний **OWL**. В листинге 1 представлен программный код на языке **C++**, реализующий алгоритм Дейкстры.

Листинг 1 – Алгоритм Дейкстры

```

while(true) {
    int min = 1000000000, x = -1;
    for(int i = 1; i <= n; i++) {
        if(min > d[i] && !f[i]) {
            min = d[i];
            x = i;
        }
    }
    if(x == -1) break;
    f[x] = true;
    for(int i = 1; i <= n; i++) {
        if(d[i] > d[x] + a[x][i] && !f[i]) {
            d[i] = d[x] + a[x][i];
            p[i] = x;
        }
    }
}

```

Выполнить построение АВох заданного кода можно на этапе построения синтаксического дерева. Применяя описанные правила, будет получен следующая модель **АВох**:

**i<sub>1</sub>**: «while(true)»

**(i<sub>1</sub>, i<sub>2</sub>)**: Body

**i<sub>2</sub>**: «min=bigConst», «x=-1», «from 1 to n», «if», «f[x]=true», «from 1 to n»

**(i<sub>2</sub>, i<sub>3</sub>)**: Body

**i<sub>3</sub>**: «if»

**(i<sub>3</sub>, i<sub>4</sub>)**: Condition

**i<sub>4</sub>**: «min>d[i]», ¬«f[i]»

**(i<sub>3</sub>, i<sub>4</sub>)**: Body

**i<sub>5</sub>**: «min=d[i]», «x=i»

**(i<sub>2</sub>, i<sub>6</sub>)**: Body

**i<sub>6</sub>**: «if»

**(i<sub>6</sub>, i<sub>7</sub>)**: Condition

**i<sub>7</sub>**: «d[i]>d[x]+a[x][i]», ¬«f[i]»

**(i<sub>6</sub>, i<sub>8</sub>)**: Body

**i<sub>8</sub>**: «d[i]=d[x]+a[x][i]», «p[i]=x»

Выражения вида {i: C} определяют принадлежность индивида i концепту C, в то время как выражения вида {(i, j): R} определяют принадлежность пары индивидов ролевому отношению R.

Выполнение операции реализации АВох и заданного ранее ТВох покажет, что индивид **i<sub>1</sub>** принадлежит концепту **DijkstraAlgorithm**, таким образом будет определено, что код представляет собой алгоритм Дейкстры.

**Заключение.** Метод статического анализа кода, позволяющий определять соответствие кода заданным алгоритмам, может быть использован для решения различных задач, прежде всего, в будущем будут иницированы следующие разработки: система статического анализа кода, реализующая представленный метод и позволяющая отыскивать шаблоны алгоритмов, предоставлять сводный анализ кода и определять время работы алгоритма (O-символика). Реализация такой системы потребует разработки базы знаний алгоритмов. Предполагается её разработка в виде веб-приложения.

**Список литературы**

1. *David Hovemeyer, William Pugh*. Finding bugs if easy. ACM SIGPLAN Notices Homepage archive Volume 39 Issue 12, December 2004. P. 92 - 106. ACM NewYork, NY, USA
2. *Григорьев А.В., Ивашко А.Г.* Извлечение классификационной информации при проверке выполнимости концептов табличным алгоритмом. // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: материалы XIV международной научно-практической конференции: Науч.-инф. издат. центр "Институт стратегических исследований". - Москва: Издательство "Спецкнига", 2013г. С. 122-125.
3. *Horrocks I. R.* Optimizing tableaux decision procedures for description logics. PhD thesis, University of Manchester, 1999, P. 178.
4. *STEIGMILLER, A., LIEBIG, T., GLIMM, B.* Konclude: System Description. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, North America, 27, jul. 2014. Available at: <<http://www.websemanticsjournal.org/index.php/ps/article/view/366/388>>. Date accessed: 05 Dec. 2014.
5. *Glimm B., Matentzoglou N., Parsia B., Steigmiller A.* ORE 2014 Live Competition Results. URL: <https://zenodo.org/record/11142/#.VIFeMzGsU1I>

05.09.01

**И.В. Гуляев, М.А. Бобров, И.С. Юшков, А.В. Волков, А.А. Попов**

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, факультет электронной техники, кафедра электроники и нанoeлектроники, Саранск, alalporov91@mail.ru

### **БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

*В статье рассматриваются системы бездатчикового управления синхронным двигателем с постоянными магнитами. Дается описание способа определения положения ротора при бездатчиковых принципах управления.*

*Ключевые слова: определение положения ротора, бездатчиковое управление, потокосцепление, ток, синхронный двигатель с постоянными магнитами.*

В настоящее время синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) за счёт своих преимуществ широко применяются в электроприводе переменного тока. Структурные схемы и принципы векторного управления СДПМ приводятся в [1].

Высокоточное определение скорости и положения ротора являются неотъемлемой частью векторного управления электроприводом [2]. Как правило, это реализуется с помощью энкодера. Однако этот способ имеет ряд существенных недостатков: чувствительность к механическим воздействиям, влажности, перепадам температур. Это накладывает ограничения на его применение.

Из-за активного развития и широкого внедрения микропроцессорной техники, построение современных систем управления электроприводом, как и многих других систем управления, базируется на применении микропроцессорных вычислительных устройств. Высокая производительность микроконтроллеров позволяет программно реализовывать достаточно сложные элементы систем управления, тем самым заменяя аппаратные решения. Это и послужило началом разработки и исследования бездатчиковых принципов управления СДПМ. Этот принцип заключается в измерении фазных напряжений и токов двигателя, посредством которых определяются значения скорости и положения ротора. Широкое применение находят наблюдатели со скользящим режимом работы. Они нелинейны и имеют высокий коэффициент усиления. Такие наблюдатели способны сводить к нулю динамическую ошибку оценки координаты за конечное время.

Описание математической модели бездатчикового управления СДПМ начинается с определения уравнений потокосцепления статора во вращающейся системе координат (di q) [3]:

$$\begin{pmatrix} \Psi_d \\ \Psi_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_d & 0 \\ 0 & L_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} + \Psi_r \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Уравнение электромагнитного момента:

$$M_e = p_n [\Psi_r i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (2)$$

Перепишем уравнение (2):

$$M_e = p_n [\Psi_r + (L_d - L_q) i_d] i_q \quad (3)$$

где,

$\Psi_r$  - поток ротора;

$L_d, L_q$  - индуктивность обмоток статора в осях di q;

$i_d, i_q$  - ток статора в осях di q;

$\Psi_d, \Psi_q$  - потокосцепление статора в осях di q;

$p_n$  - число пар полюсов двигателя.

Выражение в скобках  $(\Psi_r + (L_d - L_q) i_d)$  в [4] определяется как действующий поток, вектор которого коллинеарный с вектором потока ротора. Уравнение действующего потока принимает вид:

$$\Psi_d = \Psi_r + (L_d - L_q) i_d \tag{4}$$

Следует отметить, что по конструктивным особенностям расположения магнитов на роторе СДПМ делятся на два типа (рис. 1) [5]. В одном случае постоянные магниты являются встроенными, а в другом поверхностными.

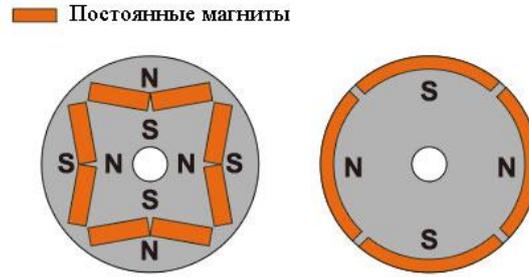


Рис. 1. Расположение магнитов на роторе СДПМ

Для синхронного двигателя с поверхностным расположением магнитов на роторе  $L_d=L_q$ , следовательно, уравнение (4) примет вид:

$$\Psi_d = \Psi_r;$$

Для синхронного двигателя со встроенными магнитами  $L_d < L_q$ , следовательно, действующий поток будет определяться уравнением (4).

Определив действующий поток, уравнение момента можно записать как:

$$M_e = p_n \Psi_d i_d \tag{5}$$

Напряжение статора в векторной форме для СДПМ вычисляется по формуле:

$$\bar{u}_s = R \bar{i}_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} \tag{6}$$

Из уравнения (6) несложными математическими операциями выразим поток статора. Поток статора будет равен:

$$\bar{\Psi}_s = \int (\bar{u}_s - R \bar{i}_s) dt \tag{7}$$

Преобразуем уравнение (7) в двухфазную стационарную систему координат ( $\alpha$  и  $\beta$ ):

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_\alpha = \int (\bar{u}_\alpha - R \bar{i}_\alpha) dt \\ \bar{\Psi}_\beta = \int (\bar{u}_\beta - R \bar{i}_\beta) dt \end{cases} \tag{8}$$

где,

$\bar{\Psi}_\alpha, \bar{\Psi}_\beta$  – составляющие потока статора в осях  $\alpha$  и  $\beta$ ;

$\bar{i}_\alpha, \bar{i}_\beta$  – составляющие тока статора в осях  $\alpha$  и  $\beta$ ;

$\bar{u}_\alpha, \bar{u}_\beta$  – составляющие напряжения статора в осях  $\alpha$  и  $\beta$ ;

После вычисления потока статора необходимо определить скорость и положение ротора. Структурная схема системы бездатчикового управления СДПМ представлена на рис.2.

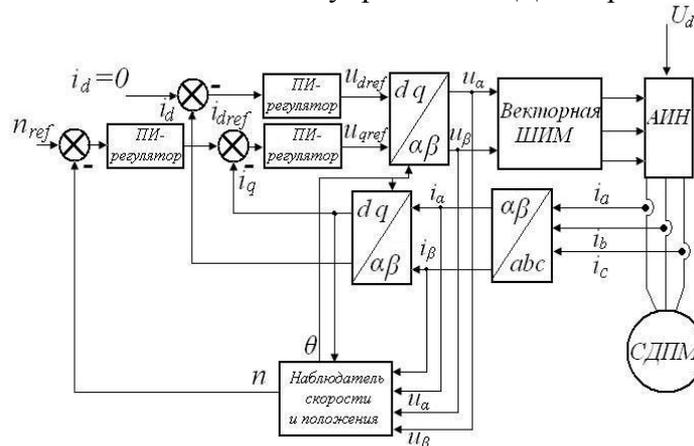


Рис. 2. Структурная схема системы бездатчикового управления СДПМ

После того как определили вектор действующего потока статора, уравнение примет вид:

$$\bar{\Psi}_d = \bar{\Psi}_s - L_q \bar{i}_s \tag{9}$$

Подставим (7) в (9), тогда:

$$\bar{\Psi}_d = \int (\bar{u}_s - R \bar{i}_s) dt - L_q \bar{i}_s \tag{10}$$

Преобразуем уравнение в статическую систему координат ( $\alpha$  и  $\beta$ ):

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_{d\alpha} = \int (\bar{u}_\alpha - R \bar{i}_\alpha) dt - L_q \bar{i}_\alpha \\ \bar{\Psi}_{d\beta} = \int (\bar{u}_\beta - R \bar{i}_\beta) dt - L_q \bar{i}_\beta \end{cases} \tag{11}$$

Уравнение, по которому определяется угол положения ротора, имеет вид:

$$\theta = \arctg \frac{\Psi_{d\beta}}{\Psi_{d\alpha}} \tag{12}$$

Векторная диаграмма токов и потоков при бездатчиковом управлении представлена на рис.3.

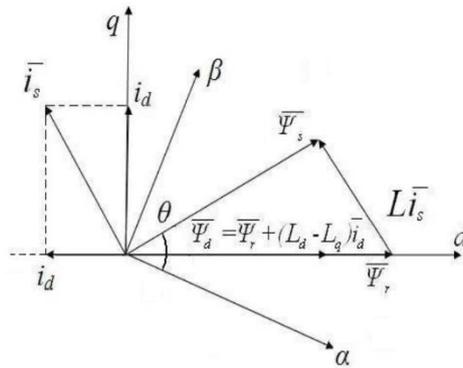


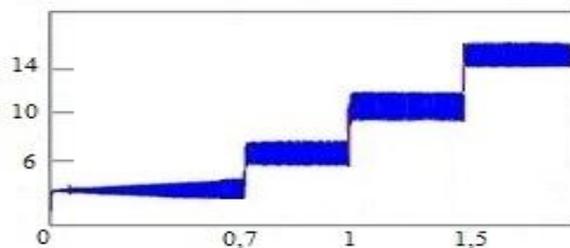
Рис. 3. Векторная диаграмма при бездатчиковом управлении СДПМ

Промоделируем работу СДПМ при бездатчиковом управлении. Параметры двигателя приведены в таблице 1.

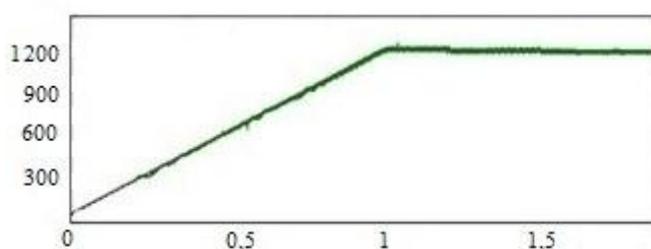
Таблица 1.

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Мощность двигателя	2.2 кВт	Индуктивность в оси d	9.27 мГн
Напряжение питания	380 В	Индуктивность в оси q	9.27 мГн
Номинальный ток	4 А	Число пар полюсов	2
Скорость	1 500 об/мин	Напряжение ген. режима	237 В
Сопротивление статора	2.05 Ом	Момент инерции ротора	1.86 мкгм <sup>2</sup>

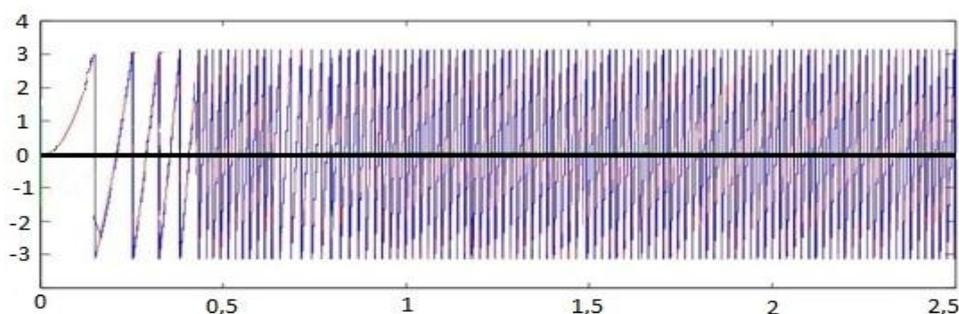
Моделировать будем работу синхронного двигателя с постоянной скоростью и переменным моментом. Значение максимальной скорости примем 1 200 об/мин, а момент изменим 3 раза в процессе работы двигателя: через 0,7с, 1с и 1,5с от 4 Нм до 15Нм. На рис. 4 представлены осциллограммы, полученные при моделировании. В [3] подробно описываются результаты моделирования бездатчиковых систем управления СДПМ с определением действующего потока. Также в [3] приводят максимальную ошибку вычисления скорости и угла положения ротора и сравнивают метод вычисления действующего с другими методами. При методе определения действующего потока максимальная ошибка вычисления скорости составляет приблизительно 25об/мин, а угла положения ротора 3°.



а) Кривая момента



б) Кривая скорости



в) Положение ротора

Рис. 4. Результаты моделирования бездатчикового управления СДПМ

В статье был рассмотрен лишь один из методов определения угла положения и скорости ротора при бездатчиковом управлении. Исследования показали [6][7], что при бездатчиковом способе управления можно определять скорость и положение вала с достаточной точностью. Следует отметить, что отсутствие датчика увеличивает надёжность системы электропривода и уменьшает стоимость, поэтому бездатчиковые системы управления успешно находят применение во многих областях применения промышленного электропривода.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №15-19-20057)

#### **Список литературы**

1. Гуляев И.В. Векторное управление синхронным двигателем с постоянными магнитами / И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов и др. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 187-191.
2. Рудаков В.В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Дартау. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
3. *QinYuan* Sensorless control of permanent magnetsynchronous motor with stator flux estimation / *QinYuan, Zhong-ping Yang, Fei Lin, Hu Sun* // Journal of computers., vol.8.№1, January 2013
4. *Ion Boldea* Active flux concept for motion-sensorless unified AC drives / *Ion Boldea, Mihaela Codruta Paicu, Gheorghe-Daniel Andreescu*. // IEEE Trans. Power. Electr., vol. 23, pp. 2612-2618, May 2008
5. Н. И. Волков. Электромашинные устройства автоматики: Учебник для вузов - М.: Высш. шк., 1986.
6. *Тутаев Г.М.* Исследование энергетических характеристик асинхронизированного вентильного двигателя на статической модели / *Г.М. Тутаев, И.В. Гуляев, И.В. Маняев* // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2010. – №4. – С. 2-7.
7. *Гуляев И.В.* Работа асинхронизированного вентильного двигателя с потреблением чисто активной мощности со стороны якоря / *Тутаев Г.М., Юшков И.С., Волков А.В.* // Актуальные проблемы электронного приборостроения труды XII международной конференции: АПЭП-2014. 2014. С. 241-244.

05.09.01

**И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов, Е.И. Ионова, М.А. Бобров**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,  
факультет электронной техники, кафедра электроники и наноэлектроники,  
Саранск, elsoldador@rambler.ru

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ УПРАВЛЕНИИ МОМЕНТОМ**

*Разработка теории прямого управления моментом позволила достичь больших успехов в управлении бесконтактным двигателем постоянного тока и синхронным двигателем с постоянными магнитами. С целью реализации непосредственного управления моментом для бесконтактного двигателя постоянного тока проведены многочисленные исследования. Данный метод включает в себя вычисление магнитного потока двигателя и крутящего момента на основе измеренного значения напряжения и тока двигателя. Прямое управление моментом является одной из форм релейного управления.*

Ключевые слова: *Вентильный двигатель постоянного тока, прямое управление моментом, уравнения двигателя, синхронный двигатель, потокосцепление, ротор.*

В настоящее время системы электроприводов состоят из источников постоянного или переменного тока, инвертора, аналоговых/цифровых контроллеров и датчиков или резольверов. Успехи в области разработки полупроводниковых электронных компонентов позволили расширить сферу их применения и добиться повышения эффективности устройств, использующих данные компоненты. Реализация многих видов алгоритмов управления стала доступной и была значительно упрощена в связи с использованием новых технологий, как в полупроводниковой промышленности, так и в области разработки новых программных средств.

Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) широко применяются при низких и средних мощностях, таких как компьютерное периферийное оборудование, робототехника, регулируемые приводы и электрические транспортные средства. Синхронный двигатель может работать как двигатель или генератор, за счет изменения тока возбуждения, мощность которого можно контролировать [1]. Синхронные двигатели классифицируются на основе плотности потока распределения и формы тока возбуждения см. табл.1. Они делятся на две категории, одной из которых является синхронный двигатель с постоянными магнитами, а другой бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ).

Синхронный двигатель находится в возбуждении, то есть в нем непрерывно протекает переменный ток. Обмотки якоря почти неизменны на статоре и являются, как правило, трехфазными. Скорость синхронной машины при установившемся режиме пропорциональна частоте тока якоря. Магнитное поле, создаваемое током якоря, вращается с той же скоростью, что и созданное поле. Ток на роторе вращается с синхронной скоростью. Таким образом, скорость двигателя остается постоянной, то есть всегда вращается с нулевым скольжением на синхронной скорости, которая зависит от частоты и количества пар полюсов.

$$\omega_R = 2 / P(2\pi f) = 2 / P\omega(\delta \ddot{a} / \tilde{n}),$$

где  $P$  – количество пар полюсов,

$f$  – частота сети,

$\omega$  – круговая частота.

СДПМ имеет синусоидальную плотность магнитного потока, и противо-ЭДС, в то время как бесколлекторный двигатель постоянного тока имеет прямоугольную форму плотности магнитного потока, и противо-ЭДС (Рис.1).

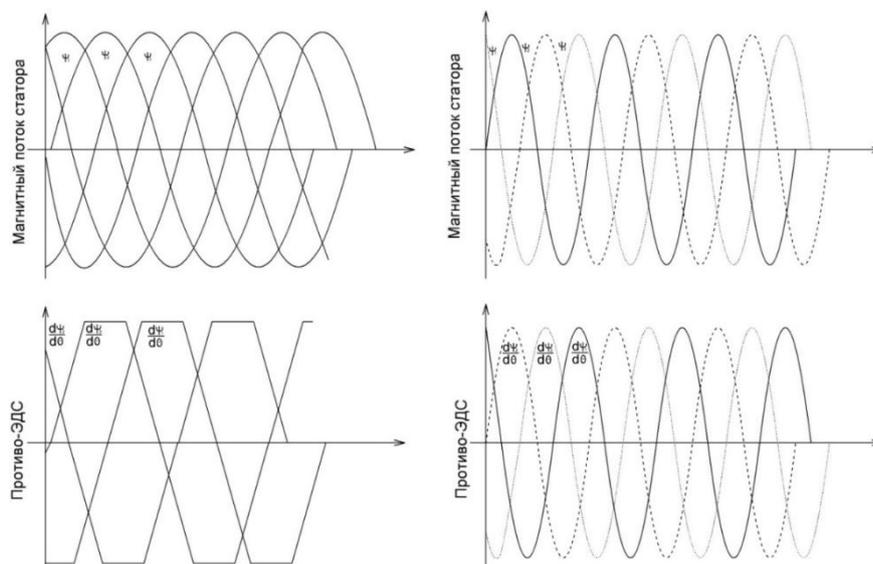


Рис. 1 – Сигналы ЭДС для СДПМ и БДПТ

Классификация этих двух двигателей приведена в таблице 1.

Таблица 1: Классификация СДПМ и БДПТ

Свойства	СДПМ	БДПТ
Фаза тока возбуждения	Синусоидальная	Трапеция
Плотность потока	Синусоидальная	Квадрат
Обратная ЭДС	Синусоидальная	Трапеция
Мощность и крутящий момент	Постоянный	Постоянный

СДПМ двигатели очень похожи на бесконтактный двигатель постоянного тока тем, что они имеют ту же структуру и те же компоненты. Оба двигателя имеют постоянные магниты в роторе, которые взаимодействуют с магнитным полем, создаваемым обмотками статора. Противо-ЭДС, возникающая в обмотках статора СДПМ, имеет синусоидальную форму, а в БДПТ имеет прямоугольную форму (Рис. 1). Это достигается за счет неравномерной намотки витков в статоре СДПМ, в то время как в БДПТ витки в статоре намотаны равномерно.

СДПМ двигатели очень похожи на БДПТ тем, что они имеют ту же структуру и те же компоненты. Оба двигателя имеют постоянные магниты в роторе, которые взаимодействуют с магнитным полем, создаваемым обмотками статора. Противо-ЭДС, возникающая в обмотках статора СДПМ, имеет синусоидальную форму, а в БДПТ имеет прямоугольную форму (Рис.1). Это достигается за счет неравномерной намотки витков в статоре СДПМ, в то время как в БДПТ витки в статоре намотаны равномерно.

Синхронные двигатели могут быть построены с различными типами статорных обмоток: трехфазные обмотки статора двигателя являются наиболее распространенными. Есть в основном два способа генерации потока ротора. В первом используется обмотки ротора, а во втором постоянные магниты, в результате чего постоянные магниты генерируют поток сами по себе. Использование магнитов обеспечивает эффективное использование пространства в роторе и заменяет обмотки ротора, следовательно, не нужно учитывать потери в обмотках ротора. Применение новых магнитных материалов, таких как  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  или  $\text{NdFeB}$ , позволяют значительно сократить размеры двигателя при сохранении достаточно высокой мощности.

Для достижения высоких динамических характеристик применяется контроль магнитного потока ротора в системе координат  $(dq)$ , которые вращаются на синхронной скорости. Магнитный поток статора  $\psi_s$  и вектор магнитного потока ротора  $\psi_m$  могут быть представлены в виде потока ротора  $(dq)$  в системе координат  $(xy)$ , как показано на рисунке 2. Угол между магнитным потоком статора и ротора  $(\delta)$  представляет собой угол нагрузки, являющийся постоянным для определения момента на валу. В этом случае оба потока статора и ротора вращаются с синхронной скоростью. Однако при различных углах нагрузки  $\delta$  может изменяться. Здесь с помощью контроля тока статора или изменения угла  $\delta$  можно регулировать увеличение крутящего момента на валу.

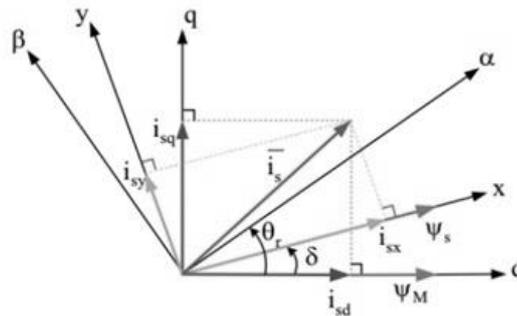


Рис. 2 – Магнитные потоки статора и ротора в различных системах отсчета.

СДПМ имеет следующие отличительные особенности:

- 1) машина является более надежной, что позволяет получить гораздо более высокую скорость работы;
- 2) эффективный воздушный зазор в оси  $x$  больше, чем по оси  $d^b$ , что делает машину более явнополюсной  $q^b Ldm \leq Lqm$ ;
- 3) если эффективный воздушный зазор ниже, чем реакция якоря, эффект становится доминирующим. Стационарный анализ синусоидального СД с эквивалентной схемой и векторная диаграмма остаются такими же, за исключением того, что эквивалентный ток возбуждения следует считать постоянным, то есть  $\psi f = Ldm I' f = const$ .

Стационарная модель двигателя может быть получена путем приравнивания всех производных по времени. Ниже приведены стационарные уравнения:

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + \omega_e (\psi_f + L_{ds} I_{ds}) = R_s I_{qs} + V_f + X_{ds} I_{ds} \tag{1}$$

$$V_{ds} = R_s I_{ds} - X_{qs} I_{qs}. \tag{2}$$

Исключение состоит в том, что машина не может иметь любую демпферную обмотку. На рисунке 3 показаны эквивалентные схемы, где потери в сердечнике представлены пунктирными линиями.

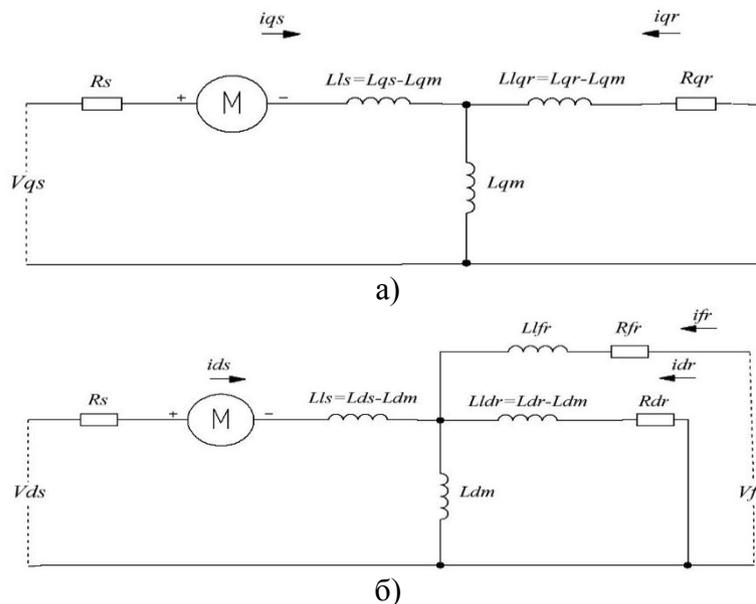


Рисунок 3.  $d^b - q^b$  эквивалентные схемы синхронных машин (а)  $q^b$ -ось цепи, (б)  $d^b$ -ось цепи. Не обращая внимания на потери в сердечнике, уравнения можно записать в виде:

$$\psi_f^{\wedge} = L_{dm} I' f, \tag{3}$$

$$\psi_{ds}^{\cdot} = i_{ds} (L_{ls} + L_{dm}) = i_{qs} L_{ds}, \tag{4}$$

$$\psi_{ds} = \psi_f^{\wedge} + \psi_{ds}^{\cdot}, \tag{5}$$

$$\psi_{qs} = i_{qs} (L_{ls} + L_{qm}) = i_{qs} L_{qs}, \tag{6}$$

Подставляя уравнение (4) - (6) в (3), упрощая, мы можем написать

$$\frac{di_{qs}}{dt} = \frac{\omega_b}{X_{qs}} \left[ V_{qs} - R_s i_{qs} - \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{ds} i_{ds} - \frac{\omega_e}{\omega_b} V_f \right], \quad (8)$$

$$\frac{di_{ds}}{dt} = \frac{\omega_b}{X_{ds}} \left[ V_{ds} - R_s i_{ds} - \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{qs} i_{qs} \right], \quad (9)$$

$$T_e = \frac{3P}{4\omega_b} \left[ (F_{ds}' + V_f) i_{qs} - F_{qs} i_{ds} \right], \quad (10)$$

где:

$$V_f = \omega_b \psi_f, \quad X_{qs} = \omega_b L_{qs},$$

$$X_{ds} = \omega_b L_{ds}, \quad F_{ds}' = \omega_e \psi_{ds},$$

$$F_{qs} = \omega_e \psi_{qs},$$

$$T_e = \frac{3P}{2} (\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}),$$

$\omega_e$  – основная частота.

Эти уравнения, которые справедливы для СДПМ, а также БДПТ, могут быть использованы для компьютерного моделирования. Опять же, для стационарной работы машины, производная по времени уравнения компоненты (3) и (4) равны нулю, то есть они могут быть записаны в виде уравнений (1) и (2) соответственно.

Двигатель БДПТ также упоминается как вентильный двигатель с электронным управлением ключами в зависимости от положения ротора. Обмотки фаз статора вставляются в слоты или могут быть намотаны в одной катушке на магнитном полюсе. В бесконтактном двигателе постоянного тока изменение полярности осуществляется полупроводниковыми переключателями, которые должны быть синхронизированы с положением ротора. Кроме того, более высокую надежность дает отсутствие коллектора, что дает еще одно преимущество. Замена двигателя постоянного тока с помощью двигателя БДПТ имеет более высокие требования по алгоритму управления. Во-первых, двигатель БДПТ, как правило, рассматривается как трехфазная система. Таким образом, он должен быть приведен в действие трехфазным источником питания. Далее, положение ротора должно быть известно при определенных углах, в целях управления приложенным напряжением к статору двигателя и значениям противо-ЭДС.

Выравнивание между противо-ЭДС и моментами переключения силовых ключей является очень важным. В этом состоянии двигатель ведет себя как двигатель постоянного тока. Недостатки БДПТ вызваны необходимостью измерения положения ротора, но уравновешены отличной производительностью и надежностью, а также падением цен на силовые элементы и цепи управления.

Есть два способа управления, используемые для СДПМ: контроль поля или потока и прямое управление моментом (ПУМ). Приводы переменного тока, в которых используется контроль поля, позволяют управлять потоком. Вектор потока ротора определяется и регулируется с использованием угловой скорости, которая образуется из обратной связи по скорости и вектора тока статора. Недостаток контроля вектора потока является в том, что требуется тахогенератор или кодер для оптимальной точности, что увеличивает затраты на оборудование. Метод прямого управления моментом заключается в выборе векторов напряжения статора в соответствии с ошибками между заданными и фактическими значениями потока крутящего момента и статора. Крутящий момент и поток получают и контролируются непосредственно с помощью нелинейных преобразований на контроллерах гистерезиса, без проведения преобразований координат. Диапазон гистерезиса применяется для контроля потока статора. ПУМ используется чаще, чем метод контроля поля из-за своей высокопроизводительности, из-за преимуществ сокращения вычислений [2]. Оценка электромагнитного момента имеет большое значение для всей производительности системы. Идея ПУМ – непосредственное нахождение вектора потока статора при соответствующем

напряжении вектора обмотки статора.

В пространственно-векторной модуляции для ПУМ были использованы нулевые векторы. С помощью них пытались увеличить продолжительность применения векторов, которые используются для увеличения углов крутящего момента при малой скорости СДПМ. Тем не менее, при низких скоростях использование нулевого вектора в течение длительного периода времени вызывает быстрое изменение потока статора. Кроме того, коммутационные потери этой реализации будут выше, так как вместо 6 векторов используются 8 [3]. ПУМ был применен без использования датчика скорости, использовали только датчики тока и напряжения, чтобы определить векторы напряжения статора. В результате расчетные данные скорости колеблются слишком быстро [4]. ПУМ применяется для реализации модели интеллектуального алгоритма управления, что снижает частоту и, следовательно, потери переключения. Предлагаемый алгоритм может снизить потери на переключение от 50% и коэффициент мощности на 25% [5]. Метод ПУМ был применен с использованием фильтра, чтобы исключить гармоники от выбранной частоты среза [6]. Результаты моделирования показывают, что система может работать гладко и еще имеет отличные динамические и статические характеристики для скорости 1500 оборотов в минуту и нечетким управлением ПИД-регулятора [7].

Очевидно, что электромагнитный момент непосредственно пропорционален оси  $y$  компонента тока статора [8]. Зависимость от меньшего количества параметров является основным преимуществом управления током статора. Можно сказать, что в практическом применении методика оценки показана в уравнении (12) требует знания индуктивности. По оценкам электрического момента легко сравнить с эталонным значением достижение крутящего момента. В тоже время, потокосцепление статора по сравнению с контрольным значением должно обеспечить достаточную намагниченность двигателя. Крутящий момент СДПМ управляется мониторингом и контролем тока якоря, так как электромагнитный момент пропорционален току. Кроме того, ПУМ подходит для эффективного управления крутящим моментом и потоком без изменения параметров двигателя и нагрузки. Также поток и крутящий момент могут непосредственно управляться вектором напряжения инвертора.

В тех случаях, когда требуются высокие динамические характеристики, ПУМ имеет большое преимущество по сравнению с другими методами контроля из-за его быстрой реакции крутящего момента.

Математические уравнения, связанные с применением ПУМ в СДПМ показывают, что изменение крутящего момента можно регулировать путем поддержания амплитуды на уровне постоянного потокосцепления статора и увеличения скорости вращения потока статора. Амплитуду и скорость вращения потокосцепления статора можно контролировать путем выбора собственных векторов напряжения статора. Технология и модель СДПМ и БДПТ на роторе и их соответствующие уравнения были представлены. Наконец, метод ПУМ имеет малое значение крутящего момента и искажения потока, но в то же время сохраняет хорошую реакцию крутящего момента. Дальнейшая работа может быть проведена на автоматизации /моделировании СДПМ и БДПТ на основе ПУМ.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №15-19-20057)

**Список литературы**

1. *Khanchandani K.V.*, Силовая электроника / *K.V. Khanchandani* // ISBN: 978-0-07-058389-7 – С. 908-959.
2. *Гуляев И.В.* Векторное управление синхронным двигателем с постоянными магнитами / *И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов и др.* // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 187-191.
3. *Гуляев И.В.* Работа асинхронизированного вентильного двигателя с потреблением чисто активной мощности со стороны якоря/ *Тутаев Г.М., Юшков И.С., Волков А.В.* // Актуальные проблемы электронного приборостроения труды XII международной конференции: АПЭП-2014. 2014. С. 241-244.
4. *Ван Л.* Прямое управление моментом для СДПМ / *Л. Ван, Ю. Гао* // Труды IEEE International Электрические машины и приводы конференция IEMDC. – 2007.– С. 403-406.
5. *Гуляев И.В.* Электропривод на базе асинхронизированного вентильного двигателя / *И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов и др.* // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 1. – С. 70-73.
6. *Гейер Т.* Интеллектуальная модель прямого управления моментом постоянного магнита синхронных электродвигателей / *Т. Гейер, М.А. Весцети* // Выставка ВОДМ. – 2010.– С. 1-8.
7. *Тутаев Г.М.* Исследование энергетических характеристик асинхронизированного вентильного двигателя на статической модели / *Г.М. Тутаев, И.В. Гуляев, И.В. Маняев* // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2010. – №4. – С. 2-7.
8. *Селин О. В.* Прямое управление моментом / *О. В. Селин* // ISBN (ред.): 978-953-307-428-3, – 2011.

05.22.08

**Н.В. Демина, Д.Н. Куклев, Н.В. Куклева**

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
кафедра «Технология транспортных процессов и логистика»,  
Хабаровск, deminanatali@rambler.ru, boblok@mail.ru, Kukleva.natalya@bk.ru

### **О ПРОБЛЕМАХ В ОБЛАСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ**

*В статье анализируется нормативная литература, регламентирующая перевозки крупнотоннажных контейнеров по железным дорогам России. Выявлены противоречия, которые затрудняют организацию контейнерных перевозок, в том числе, вопросы взаимодействия перевозчика и грузовладельцев.*

Ключевые слова: *контейнеры, контейнерные перевозки, железная дорога, грузовладельцы, нормативные документы.*

#### **Введение**

В настоящее время общемировой тенденцией в организации различных процессов, в том числе транспортных, стало применение логистических принципов. Не является исключением и железнодорожный транспорт, где в области перевозок грузов все шире внедряются логистические подходы. Одним из таких направлений является применение контейнеризации, и с каждым годом номенклатура грузов, перевозимых таким образом, становится только шире. Необходимо упомянуть и о том, что перед железнодорожным транспортом России в частности и отечественным транспортом в целом, поставлена важнейшая задача повышения объемов транзитных перевозок по отечественным магистралям в 3,6 раза к 2030 году [1]. Среди привлекаемых импортных транзитных грузов «львиная доля», несомненно, придется на контейнеры.

Еще недавно, как известно, по российским железным дорогам перевозились в основном два вида контейнеров: среднетоннажные (с массой брутто 3 и 5 тонн) и крупнотоннажные (20-ти и 40-футовые). Полный отказ от среднетоннажных контейнеров был обусловлен нерентабельностью таких перевозок, и, кроме того, прекращением их производства [2], хотя и привел к тому, что часть грузовладельцев, как физических, так и юридических лиц, перешли на обслуживание автомобильным транспортом [3].

С другой стороны, это решение послужило сигналом потенциальным клиентам о том, что перевозчик готов идти в «ногу» с общемировыми тенденциями, повсеместно реконструируя «прежние» контейнерные площадки, повышая их перерабатывающие способности для освоения будущих объемов.

Массовое использование крупнотоннажных контейнеров в нашей стране началась в 70-х годах XX-го столетия [4]. До настоящего времени было выпущено множество нормативных документов, регламентирующих работу с контейнерами, охватывающих различные области, начиная с классификации, способов складирования и заканчивая размещением и креплением на подвижном составе. Однако, практика применения этих документов показывает, что существуют положения, которые могут быть трактованы не однозначно, что влечет затруднения в работе между сторонами перевозочного процесса, подчас сводящие на нет положительные стороны использования данного вида отправки грузов.

#### **Основная часть**

Условно можно выделить три области, рассматриваемые в учебной, технической и нормативной литературе: классификация и конструкция контейнеров; подвижной состав для их перевозки, а также вопросы размещения и крепления на подвижном составе. И в каждой из них можно найти положения, которые не имеют достаточных разъяснений или могут быть трактованы неоднозначно, в зависимости от источника.

Нормативная и, в общем, техническая литература по контейнерам, применяемая в России, не содержит «свежую» информацию о типах контейнеров, перевозимых по отечественным железным дорогам.

Нормативными документами [5] устанавливаются следующие типы контейнеров: 1С, 1СС, 1СХ – 20-футовые; 1А, 1АА, 1ААА, 1АХ – 40-футовые. На практике же еще обращаются, например, контейнеры типа 1ССС, о которых информация отсутствует и, де-юре, они не могут перевозиться по российским железным дорогам, если следовать «букве закона». Или, так называемые, широкопаллетные контейнеры [6], имеющие большую ширину, а значит и габариты, отличные от общепринятых на российской железной дороге.

Также во всех рассмотренных документах, например, [5], максимальная масса брутто контейнеров 1АА, 1ААА меньше, чем максимальная масса брутто 40-футовых контейнеров, указанная на самом контейнере (и в его паспорте).

Что касается подвижного состава, то документом, разрешающим перевозку контейнеров, как и любых других грузов на железнодорожном транспорте, являются Правила перевозок грузов железнодорожным транспортом (далее – Правила) [7]. Согласно приведенному в нем перечню грузов, универсальные и специализированные контейнеры допускается перевозить на открытом подвижном составе. Кроме этого, отметим, что род и тип открытого подвижного состава выбирает грузоотправитель. На последнее указывает и «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» (далее – Устав) [8].

С другой стороны, документом, регламентирующим размещение и крепление контейнеров в подвижном составе, – Техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах (далее – ТУ) [9]), предусматривается размещение и крепление крупнотоннажных контейнеров только на платформах, причем, как на *универсальных*, так и *специализированных*.

Что интересно, в ГОСТ Р 51891-2008 [10], в отличие от ТУ, указано, что кроме как на фитинги, контейнер может опираться на опорные площадки в основании конструкции контейнера, и даже установлены требования к таковым (ГОСТ Р 53350-2009 [5]). Вместе с тем, авторам, при анализе вышеперечисленных нормативных документов, а также натурном изучении контейнеров, не удалось пока четко ответить на вопрос, где находится данная площадка у контейнеров. Складывается впечатление, что данный элемент попросту отсутствует в современных контейнерах. Для подтверждения или опровержения данного обстоятельства необходим глубокий анализ эволюции конструкции контейнеров, что является предметом отдельного исследования.

Возвращаясь к нестыковкам, можно выделить интересный факт – другим документом, который регламентирует перевозку контейнеров в международном сообщении [11], прямо дается указание на возможность перевозки на любом допустимом типе открытого подвижного состава – не только на платформах, но и в универсальных полувагонах. Поэтому возникает обоснованный вопрос, почему в международном сообщении допускается перевозить контейнеры, например, в полувагонах, а во внутрироссийском сообщении это напрямую не запрещено – в Правилах сказано об использовании открытого подвижного состава, без уточнения конкретного типа, но в ТУ, согласно которым происходит размещение и крепление в подвижном составе, не подразумевается использование полувагонов наравне с платформами, давая такую возможность лишь при условии разработки и утверждения местных технических условий или заключения договоров на перевозку на особых условиях?!

В этой связи напомним, что согласно ст. 11 Устава в заявке на перевозку грузоотправитель указывает, в том числе, тип вагонов. А перевозчику, в свою очередь, дано право заменять предусмотренный заявкой подвижной состав, если он соответствует Правилам и при этом *не увеличивается стоимость перевозки грузов*. Сомнительно, что при замене универсального полувагона на специализированную фитинговую платформу стоимость перевозки уменьшится, хотя бы потому, что грузовладелец может использовать собственный полувагон, а за использование специализированной платформы необходимо

заплатить.

### **Заключение**

Проведенный анализ действующей нормативной литературы, направленной на регламентацию работы с крупнотоннажными контейнерами, показал, что, во-первых, к настоящему времени отсутствует единый документ; во-вторых, в действующих документах существуют различия, а порой и прямые противоречия в трактовке некоторых положений, в частности, по такому важному вопросу, как выбор подвижного состава для перевозки. На практике это создает сложности при взаимодействии перевозчика с грузовладельцами, кроме всего прочего, ограничивает возможности и повышает затраты последних, что не может не сказаться в конечном итоге на конкурентоспособности железных дорог относительно других видов транспорта. Это особенно важно в сложных экономических условиях, когда, без преувеличения, нужно бороться за каждого клиента.

### **Список литературы**

1. Телегина, В.А. Проблемы взаимодействия видов транспорта в транспортных узлах [Текст] / В.А. Телегина // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона: научный журнал. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС. – № 1 (2–3), 2015. – С. 59–63.
2. Синергия сборных грузов [Электронный ресурс] // сайт газеты Гудок. Выпуск от 07.09.2015. Режим доступа: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1303380> URL. – Загл. с экрана.
3. Совместная работа [Электронный ресурс] // сайт газеты Гудок. Выпуск от 30.07.2014. Режим доступа: <http://www.gudok.ru/zdr/167/?ID=1199002>. – Загл. с экрана.
4. Крюкова, И.В. Обоснование сфер эффективного применения крупнотоннажных контейнеров в условиях развития контейнерной транспортной системы СССР: дис. канд. эк. наук (08.00.05) [Текст]. – М.: МИИТ. – 1984. – 365 с.
5. ГОСТ Р 53350-2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. ИСО 668: 1995 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53350-2009>. – Загл. с экрана.
6. <http://futovik.ru/ru/content/prodazha-shirokopalletnyh-morskih-konteynerov-45-ti-futovyh-pallet-vad-pw>.
7. Правила перевозок грузов железнодорожным транспортом. Сборник – Книга 1 [Текст]. – Москва, 2003. – 712 с.
8. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации [Текст]. – М.: Книга сервис, 2004. – 96 с.
9. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах [Текст]. – М.: Юридическая фирма «Юртранс», 2003. – 544 с.
10. ГОСТ Р 51891-2008 (ИСО 1161:1984) Контейнеры грузовые серии 1. Фитинги. Технические условия. ISO 1161: 1984 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://standartgost.ru/g/ГОСТ\\_Р\\_51891-2008](http://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_51891-2008). – Загл. с экрана.
11. Приложение 14 к СМГС. Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. Глава 9. Размещение и крепление контейнеров и съемных кузовов [Электронный ресурс] // [http://uz.gov.ua/cargo\\_transportation/legal\\_documents/terms\\_of\\_freight/page-2/264680](http://uz.gov.ua/cargo_transportation/legal_documents/terms_of_freight/page-2/264680). – Загл. с экрана.

05.02.02

**А.В. Жданов к.т.н., В.В. Морозов д.т.н.**

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир

### **УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА**

*В статье дан краткий анализ аппаратов для автоматизированного остеосинтеза и управляемой регенерации костной ткани. Проанализированы подходы к построению аппаратов, даны технические требования к перспективным конструкциям, обоснована необходимость использования моностержневых аппаратов*

*Ключевые слова: компрессионно-дистракционный аппарат (КДА), автоматизированный чрескостный остеосинтез (АЧО), технические требования к аппарату.*

В настоящее время известно более 100 различных аппаратов для чрескостного остеосинтеза (ЧО), которые отличаются конструктивными элементами, находя различное применение в зависимости от конкретных клинических задач. В нашей стране наибольшее распространение получили спицевые аппараты (Илизарова, Гудушаури, Волкова-Оганесяна, Ткаченко и др.), за рубежом - стержневые аппараты (Гофмана, Вагнера, Мюллера и др.).

Наиболее часто в клинической практике используется аппарат Г.А. Илизарова, отличающийся простотой конструкции, высокой жесткостью фиксации костных отломков, малой травматичностью в применении. Спицы в этом аппарате располагаются перекрестно друг другу. Аппарат состоит из колец (их собирают из двух полуколец), резьбовых телескопических стержней с резьбой, резьбовой муфты, которая позволяет раздвигать или сдвигать опоры. Стержни закрепляются в опорах с помощью гаек, а спицы натягиваются спецификаторами. Конечный результат лечения при ЧО полностью зависит от биомеханических условий, создаваемых в системе "аппарат-конечность". Данный аппарат позволил решать проблему комплексной оптимизации условий для восстановительных и формообразовательных процессов костной ткани. Поскольку эта конструкция состоит из унифицированного набора деталей, то на основании ее было создано множество аппаратов различных вариантов (Калнберза, "Синтез", Демьянова и др.).

Использование этих аппаратов позволяет обойтись чаще всего без иммобилизации, т.к. сама конструкция способна плотно и прочно удерживать костные отломки; кроме того, аппарат позволяет наблюдать за раной, перемещать конечность, не боясь смещения отломков кости. Однако использование аппаратов при лечении влечет за собой дополнительные трудности: для его наложения требуются значительные затраты времени, а в местах введения спиц иногда возникают прорезывание тканей и нагноение. Дистракция и компрессия проводятся вручную с помощью ключей, что уже не отвечает современному развитию техники. Кроме того, использование управляемых систем аппаратов для ЧО, т.е. конструкций, действующих в динамическом режиме, является наиболее эффективным путем развития таких устройств. Поэтому актуальным стал вопрос о применении различных управляемых приводов в аппаратах для ЧО.

Наиболее существенным явлением при ЧО остается процесс регенерации костной ткани. Существует четыре основных биомеханических фактора управления регенерацией костной ткани [1, 2]: *компрессия* - осуществляется одновременно при свежем переломе, затем поддерживается постоянным для плотного контакта отломков и улучшения их фиксации; *дистракция* - медленное, дозированное (не более 1 мм/сут), строго контролируемое растяжение отломков в условиях жесткой фиксации; необходима для лечения неправильно сросшихся переломов, ложных суставов, для удлинения конечности; из-за особенностей костного регенерата, который медленно оссифицируется и перестраивается, необходимо постепенно снимать дистракционные усилия и использовать легкую компрессию; сочетание компрессии и дистракции позволяет создать прочный костный регенерат; *фиксация* - дает возможность реализовывать репаративные усилия организма в факте консолидации

отломков, обеспечивается конструкцией аппарата; функциональная нагрузка - формообразующий фактор для органной перестройки костного регенерата.

Анализ конструкций компрессионно-дистракционных аппаратов (КДА) для автоматизированного остеосинтеза (АО), в которых используются привода показывает, что они служат для улучшения условий регенерации ткани. Так КДА (А.С.1732956) Г.А.Илизарова и др. обеспечивает непрерывную дистракцию путем предупреждения перекоса резьбовых стержней. Недостатком данной конструкции является длинная кинематическая цепь приводного устройства и наличие гибкого движущегося элемента в конструкции. Интересной представляется конструкция, когда каждый телескопический стержень КДА связан с мотор-редуктором, обеспечивающим возвратно-поступательное перемещение. Все четыре привода связаны с единой системой управления. При этом будет обеспечиваться управляемая компрессия и дистракция. Аналогичный подход использован проф. В.В.Козыревым [3]. Однако наличие трех или четырех приводов значительно утяжеляет конструкцию, что очень нежелательно для больного. КДА конструкции В.К.Калнберза и др. (А.С.1819582) содержит опорные кольца, дистракторы, храповой механизм, блоки измерения усилий, куда входят датчики усилий, источник питания, блок формирования управляющих сигналов, блок коррекции алгоритма управления, преобразователь информации и приводное устройство. В этой конструкции создаются условия для регенерации костной ткани путем автоматического регулирования длительности цикла дистракции в зависимости от индивидуальных особенностей пациента. Существует ряд конструкций КДА, выполненных с использованием гидравлических приводов (А.С.168370, 1602501); при этом создается постоянное дистракционное усилие на удлиняемую конечность при обеспечении возможности регулирования величины этого усилия. Наиболее интересная конструкция предложена Г.А.Илизаровым и др. (А.С.1750666); она также обеспечивает стабильность дистракции путем заданного временного интервала. Использование гидравлических приводов значительно усложняет обслуживание КДА, связано со сложностями эксплуатации, значительно утяжеляет аппарат. Некоторые исследователи, например А.С.1570715, указывают, что для сокращения сроков формирования костного регенерата необходимо не только использовать управляемую дистракцию (0,5...1 мм/сут) и компрессию, но и выполнять функциональное нагружение приводом по оси кости в направлении дистракции с частотой 0,25...5 Гц, с амплитудой 1,5...3 % длины регенерата (0,1...0,3 мм на каждый сантиметр регенерата) в течение 0,5...6 часов в день за 30...60 дней до окончания дистракции, а после выполняют периодические компрессионные перемещения с теми же параметрами до формирования регенерата.

Таким образом, использование мехатронных и электромеханических приводов в КДА для АО является существенной необходимостью для сокращения сроков лечения больных, облегчения управления регенерацией костной ткани, целенаправленного влияния на структуру и свойства костного регенерата. Это успешно доказал проф. Козырев В.В. и др, предложивший конструкцию аппарата для управляемого остеосинтеза [3,4] (рис.1,а) с электромеханическим приводом.



а) КДА для ЧО [3]



б) конструкция моностержневого неуправляемого КДА Stryker Monotube Triax

Рис.1. Перспективные конструкции КДА для АЧО

Данная конструкция прошла клинические испытания в ГБУ здравоохранения Владимирской области **"НПЦ специализированных видов медицинской помощи" Пиганово. В качестве исходного был принят классический аппарат Илизарова.** Кроме того, необходимо применять приводы для других конструкций аппаратов, поскольку каждый аппарат применяют в зависимости от конкретных клинических задач. В связи с этим необходима разработка конструкций аппаратов с приводами конструкций Гудушаури, Ткаченко, "Синтез" и других.

В последнее время, особенно за рубежом, более активно используются моностержневые неуправляемые системы (*Dror Paley, Stryker Monotube Triax* – *рис.1,б*), начиная с 2000 г.г. наметились активные попытки перейти к управляемым конструкциям на базе электромеханических и мехатронных приводов. Наиболее перспективной с нашей точки зрения является идея совместить лучшие элементы стержневых систем ЧО на основе пространственной конструкции с моностержневой системой типа «монотуб» на основе миниатюрного мехатронного модуля [5].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-08-07464а.*

#### **Список литературы**

1. Остеосинтез: Руководство для врачей/ под ред. С.С.Ткаченко. Л.: Медицина, 1987.
2. *Девятов А.А.* Чрескостный остеосинтез. Кишинев: Штиинца, 1990.
3. *Козырев, В.В.* Автономный ортопедический аппарат АО для реабилитации инвалидов [Текст]/ Козырев, В.В., Алборов О.И., Федотов О.В., Воробьев С.М., Тихомиров С.Л., Мамаев И.М. //Медицинская техника. 2011. № 4. С. 30-33.
4. Автономный ортопедический аппарат автоматизированного остеосинтеза [Текст]: научное издание / В.В. Козырев, Ю.Е. Мишулин, О.В. Федотов, С.Л. Тихомиров // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника : Научно-прикладной журн. - 2004. - №3. - С. 61-66. - Библиогр.: 4 назв. . - ISSN 1560-4136
5. Патент на полезную модель № 125838 Российская Федерация. Аппарат для остеосинтеза / Мамаев И.М., Крылов А.В., Федотов О.В., Филимонов В.Н.; поступ. 22.02.12; опубл. 20.03.13, бюл. № 8.

05.13.19

**Г.П. Жигулин, А.Е. Лысенко**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, институт комплексного военного образования, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, ikvo@grv.ifmo.ru, xiii.2013@yandex.com

**ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО УРОВНЯ  
УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ  
ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА КОНСТРУКТОРСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОБОРОННО-  
ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

*Разработана структурная схема логико-математической модели оперативного уровня управления информационной безопасностью, определены состояния объекта управления. В работе приводится математическое описание зависимостей значений состояний объекта управления. Акцентировано внимание на некоторых особенностях состояний объекта управления и процессов, которые влияют на значения этих состояний.*

Ключевые слова: управление информационной безопасностью, процессный подход, логико-математическая модель.

На сегодняшний день управление информационной безопасностью основывается на процессном подходе. Использование данного подхода регламентируется, в том числе, и современными международными [1] и отечественными [2] стандартами. С целью организации системы управления информационной безопасностью (СУИБ) на конструкторском предприятии оборонно-промышленного комплекса разрабатывалась комплексная модель на основе процессного подхода. Комплексная модель СУИБ на предприятии как минимум имеет три уровня: стратегический, тактический и оперативный [3]. Одним из основных результатов работы было построение логико-математической модели оперативного уровня управления информационной безопасностью конструкторского предприятия оборонно-промышленного комплекса.

Суть процессного подхода к управлению информационной безопасностью заключается не столько в том, чтобы реализовать модель PDCA, сколько в том, чтобы определить и структурировать все процессы, связанные с защищаемой информацией (ЗИ). При разработке комплексной модели в целом и оперативного уровня в частности, акцент делался на определении связей между субъектами и объектами управления, в том числе и внутри объектов, определении управляющих и управляемых воздействий и влияния, в дальнейшем и степени влияния на объект управления. Оперативный уровень управления является плацдармом принятия решений, касающихся конкретной информации при конкретных методах и способах ее обработки и защиты.

Модель оперативного уровня управления состоит из следующих множеств:

- множество объектов управления:  $\{O\}$ ;
- множество субъектов управления:  $\{S\}$ ;
- множество состояний объекта  $O$ :  $\{Sost\}$ ;
- множества внутренних и внешних управляющих воздействий;
- множества внутренних и внешних управляемых воздействий;
- множество процессов, в том числе и процессов управления.

Под объектами управления могут пониматься разные категории. В данной модели под объектом  $O_0$  – обозначается сама защищаемая информация. А структурная схема модели, представленная на рисунке 1, рассматривает объект  $O_1$ , который представляет собой автоматизированную систему, включающую в себя, в общем случае, помещение, средства вычислительной техники и персонал. Разумеется, в модели присутствуют и средства защиты информации (СЗИ), при этом в модели под этой аббревиатурой понимается комплекс организационных и технических мероприятий обеспечения и управления информационной

безопасностью и программные, аппаратные, программно-аппаратные, инженерные средства защиты информации.

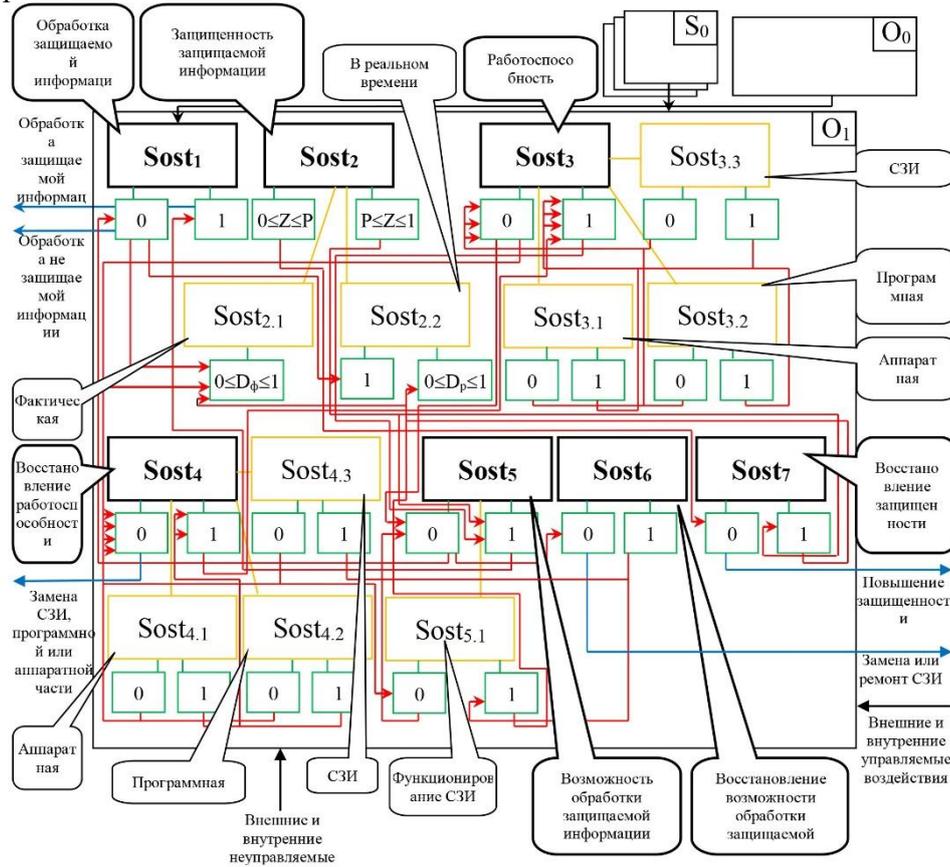


Рис. 1 – Структурная схема модели оперативного уровня управления информационной безопасностью

Каждый объект управления обладает своим набором состояний. Поскольку автоматизированная система – наиболее общий объект, в нем представлены наиболее типичные состояния, процессы, возникающие при изменении состояния, и обозначены управляющие, управляемые и неуправляемые воздействия, а также персонал S.

Необходимо отметить, что объект обладает всеми состояниями одновременно, только с различными значениями этих состояний в течение конкретного промежутка времени. Из структурной схемы не трудно определить, что для запуска «процесса обработки защищаемой информации» необходимо, чтобы все состояния объекта имели значение равное 1. Получение состоянием некоторого значения осуществляется при выполнении условия другого состояния или в результате действия какого-либо процесса. Условные переходы для каждого состояния приведены далее:

$Sost_1(0) \rightarrow Sost_2(Sost_{2.1}(D_\Phi[0;1])), Sost_1(0) \rightarrow Sost_2(Sost_{2.2}(1)),$

Формальное описание выше указанной записи определяется так: состояние  $Sost_1$ , обладающее на данный момент времени значением равным 0, определяет значение составной части  $Sost_{2.1}$  состояния  $Sost_2$  равным значению  $D_\Phi$  в промежутке от 0 до 1.

$Sost_1(1) \rightarrow \langle \text{Процесс обработки защищаемой информации} \rangle,$

$Sost_2(0 \leq Z \leq P) \rightarrow Sost_7(0),$

$Sost_2(P \leq Z \leq 1) \rightarrow Sost_7(1), Sost_2(P \leq Z \leq 1) \rightarrow Sost_5(1),$

$Sost_3(0) \rightarrow Sost_5(0), Sost_3(0) \rightarrow Sost_2(Sost_{2.1}(D_\Phi[0;1])), Sost_3(0) \rightarrow Sost_4(0),$

$Sost_3(1) \rightarrow Sost_5(1),$

$Sost_{3.1}(0) \rightarrow Sost_3(0),$

$Sost_{3.1}(1) \rightarrow Sost_3(1),$

$Sost_{3.2}(0) \rightarrow Sost_3(0),$

$Sost_{3.2}(1) \rightarrow Sost_3(1),$

$Sost_{3.3}(0) \rightarrow Sost_3(0),$

$Sost_{3,3}(1) \rightarrow Sost_3(1),$   
 $Sost_4(0) \rightarrow \langle \text{Процесс замены СЗИ, программной или аппаратной части} \rangle,$   
 $Sost_4(1) \rightarrow Sost_3(1),$   
 $Sost_{4,1}(0) \rightarrow Sost_4(0),$   
 $Sost_{4,1}(1) \rightarrow Sost_4(1),$   
 $Sost_{4,2}(0) \rightarrow Sost_4(0),$   
 $Sost_{4,2}(1) \rightarrow Sost_4(1),$   
 $Sost_{4,3}(0) \rightarrow Sost_4(0), Sost_{4,3}(0) \rightarrow Sost_5(Sost_{5,1}(0)),$   
 $Sost_{4,3}(1) \rightarrow Sost_5(Sost_{5,1}(1)),$   
 $Sost_5(0) \rightarrow Sost_1(0), Sost_5(0) \rightarrow Sost_6(0),$   
 $Sost_5(1) \rightarrow Sost_1(1),$   
 $Sost_{5,1}(0) \rightarrow Sost_5(0),$   
 $Sost_{5,1}(1) \rightarrow Sost_2(Sost_{2,1}(D_{\Phi}[0;1])), Sost_{5,1}(1) \rightarrow Sost_2(Sost_{2,2}(D_p[0;1])),$   
 $Sost_6(0) \rightarrow \langle \text{Процесс замены или ремонта СЗИ} \rangle,$   
 $Sost_6(1) \rightarrow Sost_{5,1}(1),$   
 $Sost_7(0) \rightarrow \langle \text{Процесс повышения защищенности} \rangle,$   
 $Sost_7(1) \rightarrow Sost_2(Sost_{2,1}(D_{\Phi}[0;1])), Sost_7(1) \rightarrow Sost_2(Sost_{2,2}(D_p[0;1]))$

Необходимо отметить, что состояния  $Sost_2$ ,  $Sost_3$ ,  $Sost_4$  и  $Sost_5$  являются составными, причем для того чтобы состояния  $Sost_3$  и  $Sost_4$  получили значение равное 1 необходимо, чтобы все составные части получили такое же значение. Из состояния  $Sost_5$  намеренно вынесена составляющая «функционирование СЗИ», поскольку данная составляющая имеет решающее значение для безопасности защищаемой информации. Состояние  $Sost_2$  выполнено с возможностью как качественной оценки защищенности, так и количественной.  $P$  – некоторый заданный уровень защищенности, принимающий значения 0 или 1 в случае качественной оценки защищенности или пограничные значения в случае применения метода оценки защищенности на основе рисков, например. Составные части  $Sost_{2,1}$  и  $Sost_{2,2}$  состояния  $Sost_2$  принимают значения  $D$  равные эффективности каждого средства защиты, перекрывающего соответствующий канал утечки, например, произведению отношения количества перекрытых каналов утечки защищаемой информации к общему числу потенциальных каналов утечки и степени перекрытия оставшихся каналов утечки.

Также необходимо отметить, что некоторые состояния с определенными значениями не совместны в один и тот же момент времени, а некоторые наоборот. Из структурной схемы видно, что состояние  $Sost_1$  в значении 1 не совместно с состояниями  $Sost_3$  и  $Sost_{5,1}$  в значениях 0. Но при этом состояние  $Sost_1$  в значении 0 совместно с состоянием  $Sost_{2,1}$  в любом допустимом значении.

Таким образом, управление информационной безопасностью на предприятии оборонно-промышленного комплекса с использованием разработанной математической модели, основанной на процессном подходе, позволяет не только упростить применение различных методов оценки защищенности информации и исключить возможность пропуска каналов утечки защищаемой информации, но и в полной мере осуществить цели управления информационной безопасностью по поддержанию заданного уровня защищенности. Также разработанная модель позволяет в полной мере реализовать один из основных принципов информационной безопасности – непрерывность.

#### Список литературы

1. ISO/IEC 27001:2005. Information technology – Information techniques – Information security management systems – Requirements. – 17 с.
2. Стандарт Банка России СТО БР ИББС-1.0-2014. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения.– 31 с.
3. Курило А.П., Милославская Н.Г., Сенаторов М.Ю., Толстой А.И. Основы управления информационной безопасностью. Учебное пособие для вузов. – 2 изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 138 с.

05.02.08

**Т.Н. Иванова<sup>1</sup> д.т.н., А.А. Мясникова<sup>2</sup>, Е.С. Семенова<sup>2</sup>, А.В. Чепкасов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Чайковский филиал ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Чайковский<sup>2</sup>Сарапульский Политехнический Институт (филиал) ФГОУ ВПО «Ижевского Государственного Технического Университета имени М.Т.Калашникова», г. Сарапул  
rsg078829@mail.ru

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ**

*На сегодняшний день в металлообработке широко распространены фрезерные станки. Они предназначены для обработки наружных, внутренних, плоских и фасонных поверхностей, пазов, канавок. Обработка ведется многозубыми фрезами. У всех фрезерных станков главным движением является вращение фрезы. Заготовку устанавливают на прямоугольный стол. С каждым годом эти станки модернизируют, роботизируют, что значительно увеличивает производительность. Анализируя историю развития фрезерных станков с XVII по XX века в России были выявлены конструктивные особенности станков и возможности их совершенствования. Фрезерные станки классифицируют по компоновке (количеству и расположению шпинделей) или по назначению. В работе определено число степеней регулирования частоты вращения шпинделя, выявлена зависимость между скоростью резания и шероховатостью при фиксированной глубине фрезерования. Проведено моделирование получаемой фрезеруемой поверхности. Особенностью данного моделирования является получение фрагмента фрезеруемой поверхности от параметра высоты микронеровности и скорости фрезерования.*

Ключевые слова: *фрезерование, фрезерный станок, частота вращения, шпиндель, скорость резания, обрабатываемая поверхность, шероховатость.*

Первое применение фрезерования для обработки плоскостей упоминается в Китае в 1668 г. Обрабатываемая крупная бронзовая деталь устанавливалась и закреплялась на каменном фундаменте. Мул вращал две фрезы. Глубина резания регулировалась укладкой тяжестей на режущий инструмент.

В России во второй четверти XVIII в. появляется станок для фрезерования сфероидальных углублений на художественных изделиях из кости (рис. 1) [1].

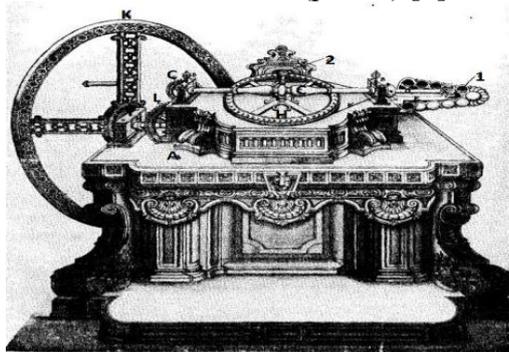


Рис. 1. Станок для фрезерования. Общий вид. Россия. Вторая четверть XVIII в.

При вращении рукояткой махового колеса *K* вращалось находившееся на одном валу с ним зубчатое колесо *L*, находящееся в зацеплении с зубчатым колесом *G*, посаженным на шпиндель *C*. Последний имел профиль переменного сечения, что было сделано с целью украшения. Шпиндель *C* опирался по концам на подшипники, установленные в стойках. За стойкой справа от шпинделя *C* находился валик с коническим зубчатым колесом, находившийся в зацеплении с коническим зубчатым колесом, сидевшим на вертикальном валике, укрепленном на кронштейне. Вместе с коническим зубчатым колесом, на вертикальном валике (на его торце) была укреплена грибовидная: фреза, обрабатывавшая

бокал 1. Для перемещения заготовки или валика использовался горизонтальный шкив, приводившийся в движение рукояткой.

В 1826 г. в России появляется специальный фрезерный станок для обрезания казенного конца ствола ружья (рис. 2). Этот станок имел литую станину, удачно оформленные направляющие и даже устройство для охлаждения. Ствол ружья зажимался в двух «листочках» (показаны сверху на рис. 2), соединенных стержнем с зубчатой рейкой. С помощью рукоятки, посаженной на одном валу с зубчатым колесом, ствол вместе с установочно-зажимным приспособлением подавался к торцевой фрезе. Фреза укреплялась на шпинделе станка с помощью оригинального устройства типа байонетного замка. Это устройство позволяло с помощью рукоятки включать и выключать фрезу [1].

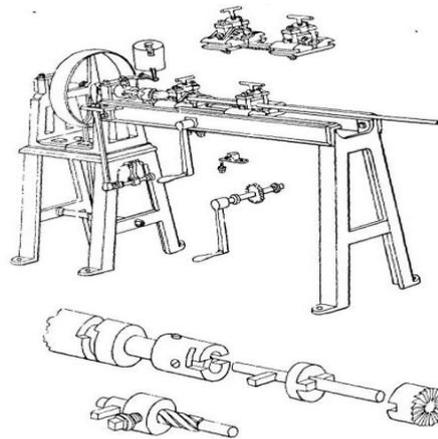


Рис. 2. Фрезерный станок Тульского оружейного завода. 1826 г.

В начале XX-го века фрезерные станки подверглись модернизации. Модернизация произошла после прекращения использования ручных приводов вращения шпинделя. Заменой стал групповой механический, позже индивидуальный электрический привод. В 1938 году станки снабжаются преобразователями частоты и шпинделями, вращавшимися со скоростью 18 000 оборотов в минуту, что обеспечивало увеличение производительности. Затем в процессе усовершенствования фрезерные станки приобрели столы больших размеров, длинную консоль (с установленным шпинделем), размещенную над центром стола.

В настоящее время конструкция столов фрезерных станков оснащена вертикальными цилиндрическими упорами, расположенными соосно со шпинделями, а так же имеются копиры (или цулаги) и механизмы перемещения краевого упора о шпиндель, что позволяет проводить фрезеровку по верхней плоскости деталей и обработку контуров. Современный горизонтально-фрезерный станок представлен на рис. 3 [2].

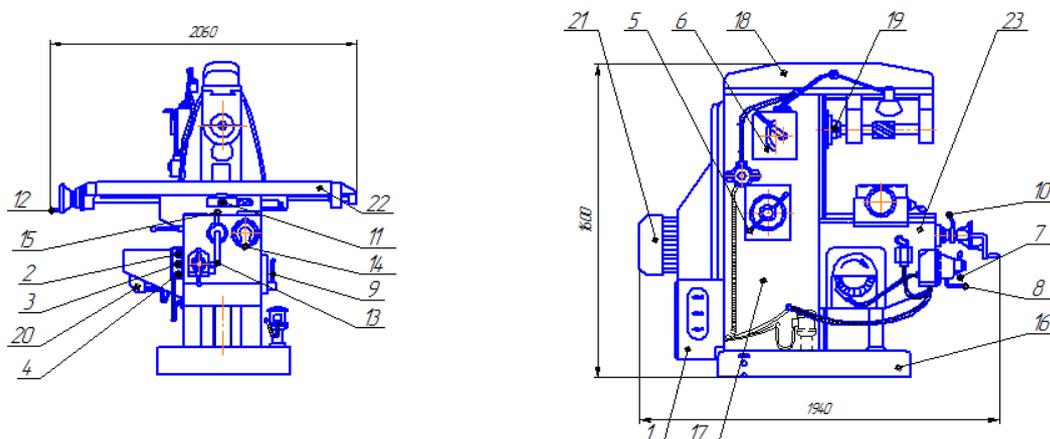


Рис. 3. Общий вид горизонтально-фрезерного станка (XXI век): 1 - коробка подач, 2 - кнопка "Пуск" электродвигателя шпинделя; 3 - кнопка "Пуск" электродвигателя подачи; 4 - рычажок остановки станка; 5 - маховичок продольной подачи стола вручную; 6 - коробка

скоростей; 7 - рукоятка переключения подач стола; 8 - рукоятка переключения перебора механизма подачи; 9 - рукоятка включения ускоренной подачи; 10 - рукоятка включения вертикальной механической подачи; 11 - рукоятка включения продольной механической подачи; 12 - маховичок продольной подачи; 13 - рукоятка вертикальной подачи стола вручную; 14 - маховичок поперечной подачи стола вручную; 15 - рукоятка включения поперечной механической подачи; 16 - основание станка; 17 - станина; 18 - хобот с подвесками; 19 - привод шпинделя; 20 - электродвигатель; 21 - электрооборудование; 22 - стол; 23 - консоль.

Максимальная и минимальная частота резания будет:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot B'}, \text{ об/мин} \quad (1)$$

где  $V$  – скорость резания, м/мин;  $B'$  – ширина обрабатываемой поверхности, мм

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 30,33}{3,14 \cdot 160} = 60,37; \quad n_{\max} = \frac{1000 \cdot 240}{3,14 \cdot 63} = 1213,22$$

Расширение технологических возможностей станка возможно за счет

$$D = 1,25 \cdot \frac{1213,22}{60,37} = 25,72 \quad (2)$$

Число степеней регулирования частоты вращения шпинделя  $n_1 = n_{\min}, n_2, n_3, \dots, n_z = n_{\max}$  образуют отрезок геометрического ряда со знаменателем  $\varphi$ , а число ступеней частоты вращения шпинделя определяется по формуле [2]:

$$z = 1 + \frac{\log D}{\log \varphi} \quad (3)$$

где  $\varphi$  – знаменатель геометрического ряда,  $\varphi = 1,26$

$$z = 1 + \frac{\log 25,72}{\log 1,26} = 15,05$$

Округляем число степеней регулирования  $z$  до 16.

Передаточные числа будут равны:

а) $i_1 = \frac{z_2}{z_5} = \varphi^2 = \frac{38}{24} = 1,58;$	е) $i_6 = \frac{z_8}{z_{12}} = \varphi^2 = \frac{34}{28} = 1,21;$
б) $i_2 = \frac{z_3}{z_4} = \varphi^{-2} = \frac{24}{38} = 0,63;$	ж) $i_7 = \frac{z_{13}}{z_{14}} = \varphi = \frac{20}{20} = 1;$
в) $i_3 = \frac{z_5}{z_9} = \varphi^{-2} = \frac{24}{38} = 0,63;$	з) $i_8 = \frac{z_{17}}{z_{19}} = \varphi^{-3} = \frac{30}{64} = 0,47;$
г) $i_4 = \frac{z_6}{z_{10}} = \varphi^{-1} = \frac{28}{34} = 0,82;$	и) $i_9 = \frac{z_{20}}{z_{18}} = \varphi^{-5} = \frac{25}{69} = 0,36;$
д) $i_5 = \frac{z_7}{z_{11}} = \varphi = \frac{31}{31} = 1;$	к) $i_p = \frac{\partial}{D} = \varphi^{-1.5} = \frac{150}{220} = 0,68.$

По расчетным передаточным числам строим график частот вращения шпинделя (рис. 4).

Изменяя частоту вращения шпинделя можно регулировать скорость вращения фрезы (скорость резания). В результате наших исследований установлено, что с увеличением скорости вращения фрезы улучшается качество обрабатываемой поверхности, независимо от марки обрабатываемого материала (рис. 5).

В начале фрезерования с увеличением скорости резания величина высоты микронеровности возрастает. В этот момент резания режущие лезвия фрезы снимают меньший объем металла. Силы резания, действующие на каждый зуб фрезы, уменьшаются. Поэтому появляется возможность догрузить фрезу, работающую с большой скоростью, за счет увеличения глубины снимаемого слоя или скорости детали, что повышает производительность фрезерования в 2,5 – 5 раз. Режущий контур каждого зуба фрезы

обладает большей режущей способностью, в результате чего слой металла на элементарной площадке обрабатываемой поверхности за время контакта с каждым зубом фрезы полностью срезается и образуется малая высота микронеровностей. На каждом проходе зубья фрезы нагружены равномерно. Это способствует длительному поддержанию их режущей формы. Благодаря увеличению режущей способности фрезы, удельный износ инструмента при фрезеровании уменьшается на 20 – 25%.

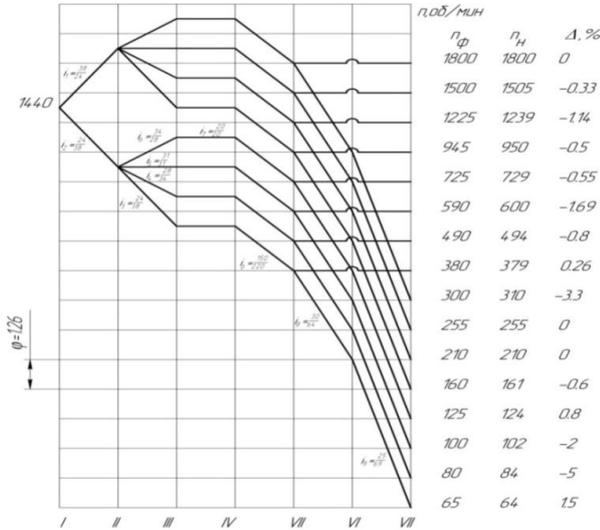


Рис. 4. График частот вращения шпинделя

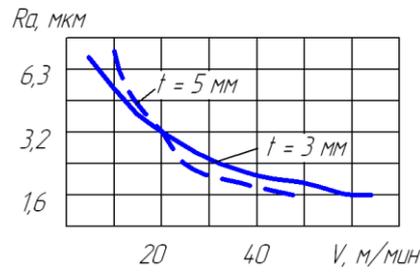


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности  $R_a$  от скорости резания  $V$

В работе проведено моделирование фрезеруемой поверхности в среде Borland Pascal 7.0 with objects, Solid Works 12 (рис. 6). Отличительной особенностью данного моделирования является получение в качестве выходного параметра не единичного профиля микрорельефа, а фрагмента фрезеруемой поверхности от условий обработки.

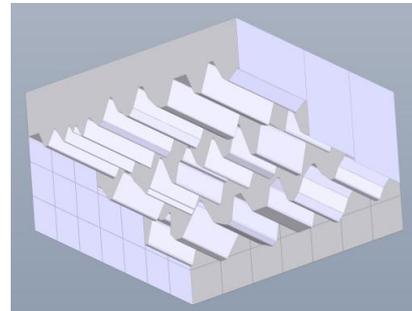
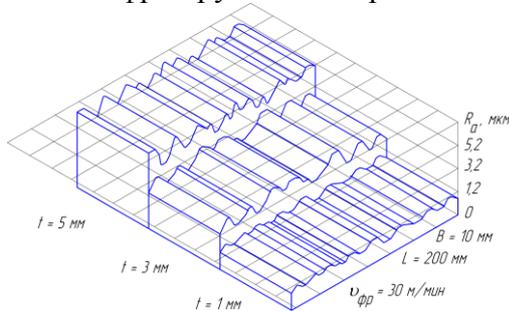


Рис. 6. Фрезеруемая поверхность, полученная моделированием. Зависимость параметра шероховатости  $R_a$  (мкм) от скорости резания (м/мин) при глубине фрезерования

Таким образом, в результате анализа истории развития фрезерных станков с XVII по XX века в России выявлены конструктивные особенности станков и возможности их совершенствования.

В работе проведено исследование кинематического расчета горизонтально-фрезерного станка: определены число степеней регулирования частоты вращения шпинделя, выявлена зависимость между скоростью резания и шероховатостью, проведено моделирование получаемой фрезеруемой поверхности. Отличительной особенностью данного моделирования является получение фрагмента фрезеруемой поверхности, зависимость параметра шероховатости  $R_a$  (мкм) от скорости резания  $V$  (м/мин) при фиксированной глубине.

**Список литературы**

1. [http://www.autowelding.ru/publ/1/frezernye\\_stanki/stanki\\_dlja\\_frezerovaniya\\_poverkhnostej\\_ocherki\\_po\\_istorii\\_metallorazhushhikh\\_stankov/22-1-0-356](http://www.autowelding.ru/publ/1/frezernye_stanki/stanki_dlja_frezerovaniya_poverkhnostej_ocherki_po_istorii_metallorazhushhikh_stankov/22-1-0-356)
2. Свитковский Ф.Ю., Иванова Т.Н. и др. Металлорежущие станки и станочные системы. Учебник. Москва- Ижевск: Станкин - ИжГТУ, т. 1, 2. 1999.

05.02.13

**И.Ф. Киссельман к.т.н., С.Э. Шаклеина к.т.н., С.А. Палехова**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Березниковский филиал, кафедра Технологии и механизации производств, Березники,  
tmp@bf.pstu.ru

### **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ТРУБНЫХ ПУЧКОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

*В статье представлены результаты, полученные при проектировании и расчетах оригинальной конструкции устройства для проведения освидетельствования и гидравлических испытаний трубного пучка вертикальных теплообменных аппаратов.*

Ключевые слова: *теплообменный аппарат, трубный пучок, гидравлические испытания.*

Одним из определяющих факторов направленности экономики Верхнекамского промышленного региона служит наличие месторождения калийных и магниевых солей, которое уникально по качеству и количеству своих запасов. ПАО «Уралкалий», осуществляющее добычу и переработку этого типа сырья, в настоящее время в качестве приоритетного направления избрало производство гранулированного хлорида калия, который является незаменимым источником калия при выращивании сельскохозяйственных культур. Получение хлорида калия на различных предприятиях ПАО «Уралкалий» ведется двумя способами – галургическим и флотационным. И оба эти способа требуют сложного аппаратурного оформления процесса производства.

И в том, и в другом случае основные стадии переработки сырья, такие как растворение, фильтрование, осветление, кристаллизация и пр., основаны на движении больших объемов жидкой фазы продукта и протекают с соблюдением температурного интервала 35÷120°C. В подавляющем большинстве случаев в качестве оборудования для нагревания или охлаждения растворов основного продукта и продуктов обогащения на различных стадиях производства хлорида калия традиционно служат кожухотрубные теплообменные аппараты.

Поскольку производство хлорида калия как минерального удобрения является крупнотоннажным и непрерывно действующим технологическим процессом, коррозионный, эрозийный и абразивный износ всего производственного оборудования чрезвычайно велик. Это в свою очередь требует постоянного контроля состояния оборудования, а в случае необходимости, его ремонта или замены. Одним из наиболее трудоемких, громоздких по числу операций и низким по эффективности является освидетельствование и ремонт теплообменного оборудования. Проведение освидетельствования кожухотрубного теплообменного оборудования позволяет обнаружить дефектные элементы трубной решетки (трубки), имеющие свищи или трещины, которые являются причиной утечек и смещения теплоносителей внутри аппарата, уменьшения поверхности теплообмена, что снижает его эффективность и нарушает требуемые режимы проведения технологического процесса.

До настоящего времени гидравлические испытания трубной решетки вертикальных теплообменных аппаратов в ПАО «Уралкалий» проводили одним из двух способов. Первый способ предполагает, что трубная решетка испытывается непосредственно внутри корпуса самого теплообменного аппарата, который освобожден от нижней крышки. Трубки пучка герметично глушатся снизу, а жидкость подается под требуемым давлением в межтрубное пространство. Если трубка имеет дефекты (трещины, свищи и др. повреждения поверхности), то через определенное время она полностью заполняется жидкостью, которая постепенно переливается через верхние края трубки. Путем осмотра фиксируют дефектность трубок и отключают их от теплообменника заглушками или заменяют, для чего решетку удаляют из корпуса. После проведения ремонтных операций снова проводят монтаж трубного пучка в корпус аппарата.

Второй способ испытаний осуществляется после извлечения трубного пучка из корпуса теплообменника, при этом за один демонтаж пучка из корпуса проводят и освидетельствование трубной решетки, и ремонт дефектных трубок [1]. В самом простейшем случае каждая трубка герметично глушится снизу, а с другой стороны соединяется со шлангом высокого давления, к которому присоединен манометр. После заполнения полости трубки водой требуемое время контролируют показания манометра. После окончания испытаний из трубки стравливают испытательную среду и аналогично определяют герметичность последующей трубы теплообменного аппарата.

Оба эти способа очень громоздки по числу операций, требуют значительных затрат времени и ресурсов и не всегда обеспечивают приемлемый по достоверности результат.

Для упрощения процедуры обнаружения повреждений в трубках трубного пучка специалистами нашей кафедры было разработано и предложено к внедрению на ПАО «Уралкалий» устройство оригинальной конструкции, которое предназначено для проведения гидравлических испытаний трубного пучка, проводимых с целью выявления дефектов у элементов трубного пучка кожухотрубных теплообменных аппаратов.

Устройство представляет собой тонкостенную обечайку, внутрь которой помещается и закрепляется трубный пучок, проверяемый на прочность и герметичность (рис. 1). Конструкция верхнего и нижнего фланца обечайки позволяют обеспечить герметичность конструкции при проведении испытаний под требуемым давлением.

При испытаниях обечайка устройства имитирует корпус испытываемого теплообменного аппарата. Когда жидкость под давлением подается внутрь обечайки, то создается своего рода межтрубное пространство аппарата. При этом трубки пучка подвержены воздействию силы давления на своей наружной поверхности. Внутренняя же стенка трубок находится под атмосферным давлением. В результате возникновения перепада давления на стенке трубки в местах ее повреждения происходят утечки жидкости. Наличие утечек жидкости и дефектов в трубках фиксируется с помощью визуального наблюдения на поверхности нижнего фланца трубного пучка.

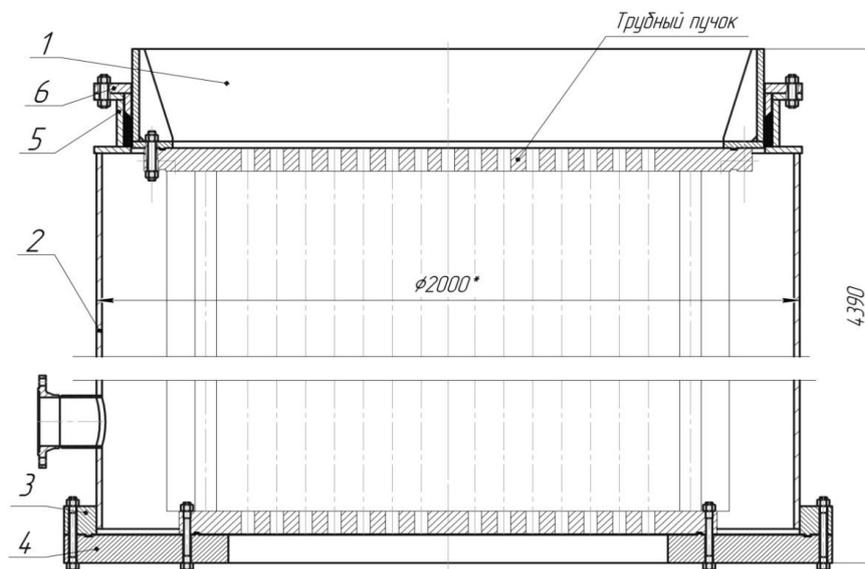


Рис. 1 – Устройство для освидетельствования трубного пучка

Порядок монтажа трубной решетки внутрь устройства для проведения ее испытаний следующий. Перед началом проведения освидетельствования трубный пучок соединяют с монтажным кольцом поз. 1 (см. рис. 1) с помощью шпилечного соединения. Пучок помещают внутрь обечайки поз. 2 таким образом, что его нижний фланец оказывается ниже фланца поз. 3 для герметичного соединения с фланцем поз. 4. После этого трубную решетку приподнимают вверх и соединяют шпильками с фланцем поз. 3. В верхней части устройства зазор между опорным кольцом поз. 5 и монтажным кольцом поз. 1 уплотняют и фиксируют нажимным кольцом поз. 6 (рис. 2).

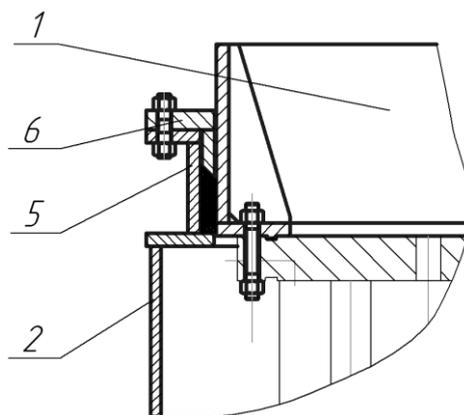


Рис. 2 – Уплотнение

В таком состоянии и проводят испытание трубной решетки на герметичность ее элементов.

Проведенные прочностные расчеты [2] позволили определить диапазон размеров трубных решеток аппаратов, испытания которых можно проводить в данном устройстве, что позволяет расширить его эксплуатационные возможности. Максимальная высота трубного пучка, измеряемая от верхнего до нижнего фланца, составляет 4000 мм, а наибольший размер диаметра трубной решетки – 1850 мм.

В качестве среды для испытаний используется вода, нагретая до температуры 95°C и подаваемая насосом под давлением 1 МПа. Достоверность результатов при испытании на воду будет приемлемой, поскольку вязкость и плотность воды ниже вязкости и плотности растворов хлорида калия и натрия любой концентрации, которые являются основной средой циркулирующей в технологическом процессе.

Предлагаемое техническое решение позволит существенно упростить и облегчить громоздкую и трудоемкую процедуру освидетельствования трубных пучков кожухотрубных теплообменных аппаратов в достаточно широком диапазоне размеров. Кроме этого в качестве ожидаемого эффекта можно назвать повышение достоверности гидравлических испытаний и сокращение времени их проведения.

#### **Список литературы**

1. Золотухин И.В., Беседин И.В., Коченков И.В., Устройство для испытания на герметичность труб в трубных решетках теплообменных аппаратов // Патент России № 2017105. 1994. Бюл. № 28.
2. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи): Учебное пособие // М.: Альфа-М, 2008. С. 663-670.

05.02.02

<sup>1</sup>К.Л. Ковалев д.т.н., <sup>2</sup>А.В. Карпышев к.т.н., <sup>2</sup>А.Л. Душкин к.т.н., <sup>2</sup>М.С. Морозов

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), Лаборатория 1.14  
Теплофизических исследований при криогенных температурах ОИВТ РАН

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, mixmorz@gmail.com

## РАЗРАБОТКА МАКЕТОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ПЕРВИЧНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ И ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

*Огнетушители и ранцевые установки являются самым распространенным первичным средством тушения пожаров. Это обусловлено тем, что огнетушители и ранцевые установки обладают полной автономностью и высокой огнетушащей способностью при ручном тушении в условиях пониженных температур.*

Ключевые слова: пожаротушение, распыливание, огнетушитель, форсунка, Арктика.

Разработанная аналитическая модель рабочего процесса в устройствах такого типа, базируемая на основных постулатах термодинамики и гидромеханики, позволяет определить основные параметры устройств, что нашло экспериментальное подтверждение. Разработаны конструкции макетных образцов огнетушителя и ранцевой установки пожаротушения.

В статье представлены основные результаты как гидродинамических, так и огневых испытаний макетных образцов огнетушителя и ранцевой установки. Испытания по определению эффективности пожаротушения твёрдых и жидких горючих материалов показывают, что разработанные макеты по своим свойствам превосходят известные на настоящий день для использования их в условиях низких температур.

Огнетушители и ранцевые установки являются самым распространенным первичным средством тушения пожаров. В настоящее время 90% возгораний тушатся с помощью огнетушителей. Это обусловлено тем, что огнетушители и ранцевые установки обладают полной автономностью и высокой огнетушащей способностью при ручном тушении. Однако при столь широком распространении и использовании нет чётких правил и рекомендаций по созданию оптимальных названных устройств в условиях пониженных температур (Арктические и Антарктические районы Земли). Большинство производителей ориентируются на сложившиеся в данной области традиции, которые часто не отвечают возросшим требованиям к первичным средствам подавления возгорания. Кроме того, повышаются требования к коррозионной стойкости в среде огнетушащих веществ. Совокупность всех факторов приводит к необходимости моделирования поведения такого рода установок.

В условиях низких отрицательных температур особенно остро стоит вопрос о минимизации потерь энергии при работе каких-либо аппаратов. Это относится также к индивидуальным средствам пожаротушения: огнетушителям и ранцевым установкам. Для индивидуальных аппаратов при их работе энергия извлекается из аккумулированной энергии газа либо в отдельном от рабочей жидкости сосуде как в ранцевой установке, либо в одном баке совместно с жидким средством пожаротушения. Отметим что использование порошковых средств пожаротушения сопряжено со многими известными трудностями такими, например, как слёживание порошка, что усугубляется при существенно отрицательных температурах Арктики из-за увеличения сил адгезии при капиллярной конденсации паров воды на поверхности твёрдых частиц при низких температурах. В ранцевой раздельной системе газ высокого давления дросселируется в редукторе и только потом воздействует на жидкий агент подобно поршню. Не следует забывать, что из-за

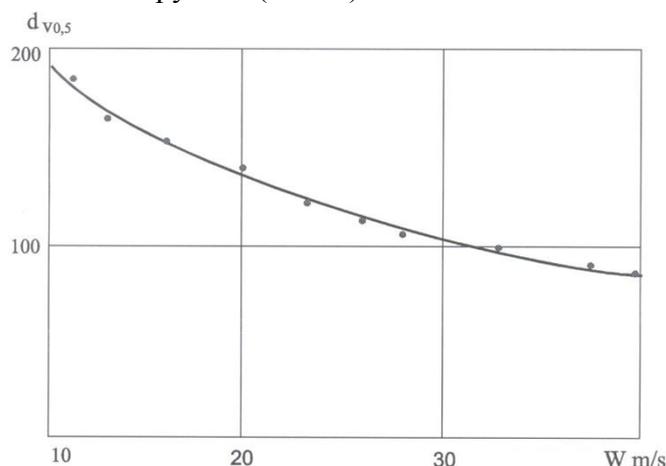
эффекта Джоуля-Томсона без того низкая температура газа в не отапливаемом помещении в условиях Арктики при редуцировании с 20 МПа до 1 МПа температура понизится на  $50^\circ$ . Работа отдельной системы при очень низких температурах редуцированного газа обладает низкой надёжностью, связанной как с увеличением отказов механических устройств (редуктора), так и возможностью обледенения даже в условиях использования антифризов, предельная температура которых не ниже  $-65^\circ\text{C}$ . При наружной температуре  $-40^\circ\text{C}$  с учётом дросселирования  $\Delta T=50^\circ$  в бак с жидким агентом пожаротушения будет подан газ с температурой  $T \cong -90^\circ\text{C}$ , что вызовет замерзание раствора. При определении необходимых оптимальных параметров огнетушителя имеются исходные данные, обусловленные необходимостью тушить очаги возгорания определённого ранга и местом нахождения объекта, а также объёмом бака  $V$ , максимального давления  $P_0$  и массе огнетушащего вещества  $m$ . Как было уже показано процесс выдавливания рабочей жидкости запасённым газом зависит от отношения объёма газовой полости «подушки» к объёму бака  $k=V_0/V_\Sigma$ .

Оптимальными значениями  $P_0$ ,  $V_\Sigma$ ,  $m$  можно считать такие, при которых максимальная средняя скорость ( $W$ ), которая при известной массе  $m$  и параметрах выходного насадка  $F$  и  $\mu$  определяется временем выпуска  $t$ .

При проектировании распылителей (форсунок) различных конструктивных схем необходимо достаточно ясно представить механизм дробления жидкости как о явлении неустойчивости течения жидкости со свободными границами в виде струй или плёнок.

Создание капель с радиусом  $R=10\dots 20$  мкм при разумных значениях величины кинетической энергии потока и, следовательно, перепада давления возможно с помощью высоконапорного дробления жидкости газом или с использованием ротационных форсунок, требующих высокооборотных механических приводов для вращения распыливающих дисков или цилиндров.

В то же время при создании капель радиусом  $R \geq 80$  мкм предпочтение следует отдавать форсункам с соударяющимися струями. (Рис. 1)



Дальнобойность факела жидкости зависит в основном от скорости истечения и размера капель. Жидкость покидает распыливающее устройство в виде струи, плёнки или жидкостных нитей. Под действием внешних факторов эти структуры распадаются на капли, часть из которых может оказаться также неустойчивыми и разрушиться с образованием частиц меньших размеров. Вид разрушения первичных структур (струй, плёнок, крупных капель) определяется прежде всего способом распыливания и классом распыливающего устройства.

На основании вышеизложенного была проанализирована возможность применения различного вида форсунок для применения в качестве распыливающих устройств огнетушителей. Предлагается использовать в качестве распылителей центробежно-струйные форсунки и форсунки с соударением струй.

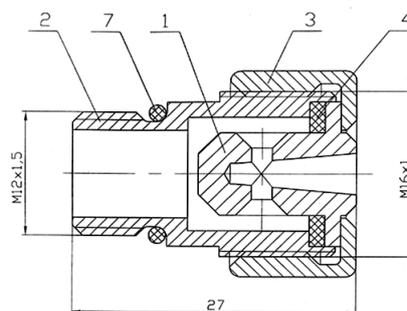


Рис. 2 Форсунка с соударением струй.

На Рис. 2 представлен вариант конструкции распылителя макетных образцов с использованием форсунки с соударением струй. Распылитель включает в себя форсунку 1 с внутренним соударением струй. Работа этой форсунки основана на взаимном разбивании струй на отдельные капли внутри конического расходящегося канала. Из точки столкновения двух струй жидкость растекается радиально, образуя плёнку, распадающуюся на капли. Сечение такого факела имеет эллиптическую форму. При пересечении трёх и более струй форма факела становится конической.

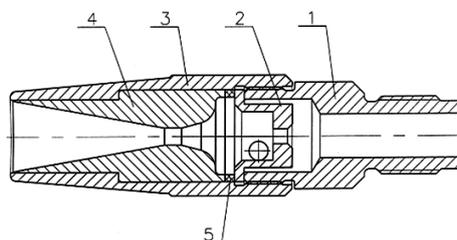


Рис. 3 Форсунка центробежно-струйная

На Рис. 3 представлен вариант конструкции распылителя огнетушителя с использованием центробежно-струйной форсунки. Форсунки этого типа отличаются от центробежных наличием двух потоков подводимой жидкости. Часть жидкости подводится тангенциально в камеру закручивания, образуя вращающийся поток. Другая часть проходит через центральное отверстие вставки, образуя сплошную струю, причём её диаметр должен быть несколько больше внутреннего диаметра кольцевого потока, вращающегося в сопловом канале. Тогда за счёт взаимодействия вращающаяся жидкость будет закручивать центральную струю, создавая единый поток, который на выходе из сопла образует факел в виде сплошного конуса.

При истечении жидкости из форсунки закачного огнетушителя происходит изменение давления подачи из-за падения давления в газовой полости огнетушителя при вытеснении рабочей жидкости. Вследствие этого происходит снижение расхода через форсунку и снижение скорости истечения жидкости, что сказывается на эффективности работы огнетушителя.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать некоторые выводы, учитывающие факторы при проектировании установок для сложных условий эксплуатации. Для арктических районов с отрицательными температурами в качестве первичных средств пожаротушения следует использовать огнетушитель с раствором антифриза. Использование ранцевой установки пожаротушения из-за низкой работоспособности редуктора и клапанов при отрицательных температурах Арктики должно быть ограничено закрытыми (отапливаемыми) помещениями. Для устройств закачного типа (огнетушитель) необходимо выдерживать отношение объёма газовой полости к полному объёму ёмкости в пределах 0,3...0,5. В данной работе также отражены основные параметры струи огнетушащего вещества по дальности 7...10 метров и углу раскрытия факела 20...30°, а также разработана аналитическая модель процесса в закачном устройстве и спроектированы новые типы распылителей.

Проведенные огневые испытания разработанных макетных образцов огнетушителя и ранцевой установки продемонстрировали высокую их эффективность.

05.02.13

**Т.М. Кокина**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного высшего образования «Казанский (приволжский) федеральный университет», bdd777@rambler .ru

### **УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛОВ ПИТАНИЯ И КАЧЕСТВА ПРЯЖИ, ПОЛУЧЕННОЙ БЕЗВЕРЕТЕННЫМ ПРЯДЕНИЕМ НА ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЯДИЛЬНЫХ МАШИНАХ**

*В статье установлена линейная возрастающая зависимость неравномерности вращения валов питания и качественных показателей пряжи. Установлена возможность варьирования неравномерности вращения и ее замер с помощью светодиодного датчика при одновременной наработке безверетенной пряжи. Установлено, что неравномерное вращение валов питания пряжи, полученной на пневмомеханических машинах БД-200 и ППМ-120, снижает качество пряжи.*

Ключевые слова: *безверетенное прядение, неравномерность вращения валов, качественные показатели пряжи.*

Неравномерное вращение рабочих органов машин при безверетенном прядении приводит к появлению нежелательных технологических эффектов. Одним из таких эффектов является появление технологической неровноты прядения, т.е. неровноты, при которой возможно появление периодического утолщения вырабатываемой нити при прядении. Это снижает прочность вырабатываемой нити, что делает пряжу, выработанную безверетенным прядением уступающей по качеству пряже, выработанной традиционным кольцевым прядением. Неравномерность подачи нити в прядильную камеру возникает при нарушении кинематической точности валов выпуска и питания пневмомеханических прядильных машин [1].

Последнее обусловлено: а) причинами технологического характера (неровнота, получаемая на предыдущих технологических переходах) б) причинами, связанными с конструктивными и эксплуатационными параметрами самой машины, т.е., например, износом роторов прядильных камер и их срабатыванием при эксплуатации (применение изношенных прядильных камер).

На качество выпускаемого продукта при безверетенном прядении оказывают влияние несколько факторов. Если при питании лентой валы питания пневмомеханической прядильной машины испытывают неравномерность вращения лишь от неточностей изготовления и монтажа зубчатых колес привода новых машин, то при изношенном оборудовании к этому фактору добавляется износ рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес и износ трущихся поверхностей мест трения в приводах валов питания. Создание модели для исследования всех вышеперечисленных факторов требует подготовительных экспериментов: наработки пряжи при фиксированных остальных факторах. Настоящая статья посвящена первой части создания модели вышеперечисленных факторов влияния на качество вырабатываемого продукта.

Для подтверждения выдвинутых заключений был проведен эксперимент на пневмомеханической прядильной машине марок БД-200 и ППМ-120 с наработкой пряжи на изношенной пятисекционной пневмомеханической прядильной машине марки БД-200 при одновременной наработке пряжи на неизношенном оборудовании (ППМ-120), при сохранении одинаковых заправочных параметров продукта при питании и вытяжке (сьеме).

Одновременно с наработкой испытуемой по качественным показателям нити производился замер неравномерности вращения вала питания лентой и вала выпуска (сьема) пряжи с помощью светодиодного датчика. На рис 1 а) диск с прорезью, одеваемый на вал выпуска (неизношенное зубчатое съемное колесо вала питания со степенью точности -7) б) светодиодный датчик отметок при вращении.

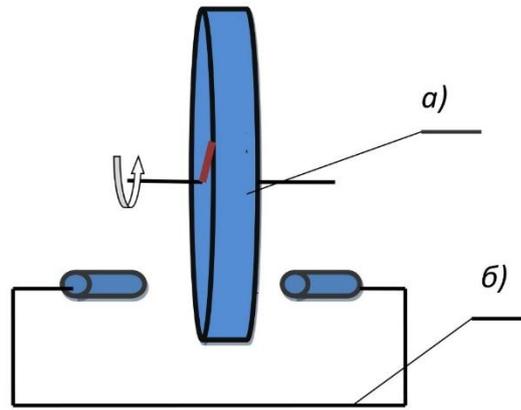


Рис 1 Схема светодиодного датчика для замера неравномерности вращения валов.

Для контроля качества наработанной нити согласно [2] при испытании текстильных нитей, полученных безверетненным (пневмомеханическим) и кольцевым прядением, использовались параметры пряжи по следующим качественным показателям: коэффициент вариации по толщине  $S$  и относительная разрывная нагрузка  $P$ .

Ниже приводится фрагмент протокола данных для неравномерности вращения питающих валов (Табл.1) и исходных данных для построения зависимости качественных показателей пряжи от неравномерности вращения валов питания (Табл.2).

Табл.1 Результаты определения коэффициента неравномерности вращения валов питания новых и изношенных машин

Номер п/п	Исходные данные для определения угловой скорости $\omega$ м/с						Угловая скорость новой машины $\omega$ , рад/с	Угловая скорость изношен. машины $\omega$ , рад/с
	Новая машина			Со смещением звездочки цепи				
	№ эксп	Отметки времени	Отметки угла поворота	№ эксп	Отметки времени	Отметки угла поворота		
1		0,00	0,0	1	0,00	0,0	7,86	5,65
2		0,03	25,0	2	0,04	28,3	7,92	7,54
3		0,07	61,0	3	0,08	56,5	7,76	7,58
4		0,11	92,3	4	0,12	84,1	7,84	7,49
5		0,15	123,7	5	0,16	111	7,82	7,57
6		0,19	157,0	6	0,20	140	7,78	7,61
7		0,23	193,3	7	0,24	167		
8		0,27	233,0	8	0,28	196		
9		0,31	261,5	9	0,31	217		
<b>Новая машина</b>								
Среднее угловой скорости $\omega_{\text{макс.}}$ , рад/с	7,83							
Среднее угловой скорости $\omega_{\text{мин.}}$ , рад/с	7,51							
<b>Изношенной машины с установкой звездочки со смещением посадочной ступицы</b>								
Среднее угловой скорости $\omega_{\text{макс.}}$ , рад/с	5,54							
Среднее угловой скорости $\omega_{\text{мин.}}$ , рад/с	4,92							
Коэффициент неравномерности, %	3,4			11,8				

Для установления зависимости между неравномерностью вращения валов питания и качеством получаемого продукта, проводилась линеаризация данных, полученных после наработки пряжи известными методами. Для коэффициента вариации по толщине пряжи  $C$  средний квадрат чистой ошибки: для регрессии и остатка  $MS=5,363$  и  $0,386$  при значимости  $F$ -отношения  $13,9$ .

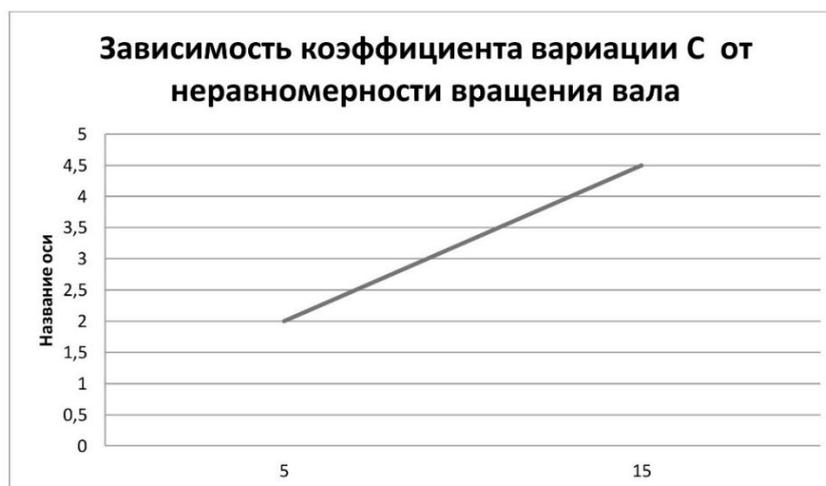


Рис.2 Линия регрессии коэффициента вариации по толщине пряжи  $C$  при увеличении неравномерности вращения валов питания пневмомеханических (безверетенных) прядильных машин

Полученная зависимость одного из показателей качества пряжи, приведенная на рис.2, свидетельствует о том, что с увеличением неравномерности вращения валов возрастает коэффициент вариации по толщине пряжи, т.е. качество пряжи снижается.

#### **ВЫВОДЫ:**

Представленные зависимости между неравномерностью вращения валов питания, замеренной с помощью светодиодного датчика, и качественными показателями пряжи, показали, что неравномерность является фактором снижения качества пряжи

#### **Список литературы**

1. Влияние неточности изготовления и монтажа зубчатых передач привода валов питания и выпуска пневмомеханической прядильной машины на качество выпускаемого продукта, онлайн-научно-технический журнал «Информационные и социально-экономические аспекты создания современных технологий». 2002, №9 <http://kavpi.kcn./zhurnal>
2. Нити текстильные. Правила приемки и испытаний. ГОСТ 6611.0 -73 - ГОСТ 6611.4 -73. М.: Издательство стандартов, 1982. 31 с.

05.21.03

**Е.М. Короткова<sup>1,2</sup>, А.В. Пранович<sup>2,3</sup>, S.M. Willför<sup>2</sup>, Э.М. Сульман<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Тверской государственной технической университет, химико-технологический факультет, кафедра биотехнологии и химии Тверь, ekaterina.korotkova@abo.fi

<sup>2</sup>Åbo Akademi University, Faculty of Science and Engineering, Laboratory of Wood and Paper Chemistry, Турку, Финляндия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова, факультет химической технологии и биотехнологии, кафедра химии

### **ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИГНИНА ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ РАЗБАВЛЕННЫМ РАСТВОРОМ ЩЕЛОЧИ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРЕ И ДАВЛЕНИИ**

*В работе представлены результаты изучения процесса экстракции лигнина из древесины ели разбавленным раствором гидроксида натрия при температурах 160°C и 170°C и давлении 10 МПа. Экстракция проводилась в течение 4 часов двенадцатью циклами по 20 минут каждый. Количество используемого экстрагента варьировалось за счет исключения стадии промывки с целью изучения ее влияния на выход лигнина и уменьшения затрат. Было показано, что уменьшение общего расхода экстрагента на 60% понижает количество выделенного лигнина всего на 5% в случае экстракции при температуре 170°C и на 3% при экстракции при температуре 160°C.*

Ключевые слова: лигнин, экстракция, древесина ели.

Среди традиционных методов, используемых в лабораторных условиях для фракционирования древесины, метод ускоренной экстракции растворителями – Accelerated Solvent Extraction (ASE) – является относительно новым, точным и воспроизводимым методом. ASE использует комбинацию повышенных температуры и давления в инертной атмосфере азота, что позволяет увеличить эффективность процесса экстракции. Повышенная температура ускоряет процесс экстракции компонентов древесины, в то время как повышенное давление позволяет сохранять растворитель в жидкой фазе, позволяя ему проникать глубоко в поры древесины, таким образом, обеспечивается быстрое извлечение не только экстрактивных веществ, но и компонентов вторичной клеточной стенки волокон. Применительно к древесине ASE успешно использовался для извлечения гемицеллюлоз из древесины ели горячей водой [1, 2]. Позднее метод экстракции горячей водой под давлением был применен в реакторе периодического действия [3], а также каскадном реакторе [4, 5]. Концепция экстракции гемицеллюлоз горячей водой также использована в проточных реакторах в лабораторном и пилотном масштабах [6, 7].

В данной работе ASE использовался для извлечения лигнина из древесины ели с использованием 2% раствора гидроксида натрия в качестве экстрагента. Относительно низкая концентрация щелочи позволяет минимизировать глубокие изменения в структуре изолированного лигнина, и вместе с тем предохранить целлюлозу в древесном остатке от существенного разрушения.

#### **Экспериментальная часть**

Экстракция лигнина из заболонной древесины ели (*Picea abies* Karst.) проводилась в аппарате для ускоренной экстракции растворителями ASE 350 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, США). Древесина была предварительно проэкстрагирована ацетоном в аппарате Сокслета в течение 15 экстракционных циклов с целью предварительного удаления из нее экстрактивных веществ. В циркониевую экстракционную ячейку емкостью 100 мл, оборудованную металлическим фильтром, помещали 15 г предэкстрагированной ацетоном древесины ели с размером частиц 0,5-1 мм. Свежеприготовленный водный 2% раствор NaOH использовали в качестве экстрагента. Экстракцию проводили при температуре 160°C и 170°C и давлении 10.34 МПа. Экстракцию проводили двенадцатью циклами по 20 минут каждый, общее время экстракции составляло 4 часа. Во время экстракционного цикла ячейка с древесиной заполнялась экстрагентом и нагревалась под давлением до заданной

температуры. После 20-минутного статического времени выдержки древесины в горячем экстрагенте, экстракт вымывался в приемный сосуд. Проводили 2 параллельные серии экспериментов – с использованием промывки ячейки дополнительной порцией чистого экстрагента и без нее. Объем и вес всех экстрактов контролировался.

#### *Выделение лигнина из полученных экстрактов*

Для выделения лигнина методом осаждения, рН экстрактов понижался до 3 при помощи разбавленной серной кислоты; процесс контролировали рН-метром Handylab рН 12 (Schott-Geräte GmbH, Mainz, Германия). Осажденный лигнин оставляли на ночь для коагуляции; на следующий день отмывали от кислоты на стеклянном фильтре G3. Отфильтрованный и промытый лигнин сушили лиофильно и взвешивали.

#### *Результаты и обсуждение*

Ранее опубликованная работа была посвящена изучению процесса экстракции с точки зрения количества экстракционных циклов и продолжительности одного цикла [8]. Аппарат обычно предусматривает промывку ячейки дополнительной порцией чистого экстрагента. Таким образом общее количество экстрагента, используемого на один цикл экстракции состоит из двух частей – экстрагента, используемого собственно для экстракции, и дополнительной порции экстрагента, в количестве 60% от основного, используемой для промывки образца с целью полного вымывания экстрагированного материала, что приводит к разбавлению экстракта. С целью экономии экстрагента, а также получения более концентрированных экстрактов отказ от ступени промывки является целесообразным. Данная работа фокусируется на изучении влияния отказа от ступени промывки на количество экстрагированного лигнина.

В таблице представлены результаты общего количества лигнина, экстрагированного из древесины ели, после 4 часов экстракции, т.е. всех 12 циклов. При температуре 170°C и обычном режиме экстракции, с промывкой, возможно экстрагировать на 55,6% больше лигнина, чем при температуре 160°C, соответственно. Как следует из рисунков 1 и 2, количество лигнина, выделенного в первом цикле экстракции в обычном режиме, практически не зависит от температуры экстракции. Это может свидетельствовать о том, что лимитирующей стадией на данном этапе является процесс диффузии, а не химическая реакция разрушения связей в молекуле лигнина под действием щелочи.

Таблица – Общий выход лигнина после 4 часов экстракции

Температура, °С	Промывка	Выход лигнина, мг/г древесины*
160	60%	132,28
	0%	121,92
170	60%	224,99
	0%	213,38

\*Без учета кислотно-растворимого лигнина, оставшегося в экстракте после осаждения

На рисунке 1 показано, что количество лигнина, выделенного в первые 4 цикла экстракции при температуре 170°C выше в случае использования промывки, в дальнейшем же, промывка влияет на процесс в меньшей степени. В случае экстракции при температуре 160°C (рисунок 2) влияние промывки еще меньше и явно наблюдается только в первом цикле экстракции.

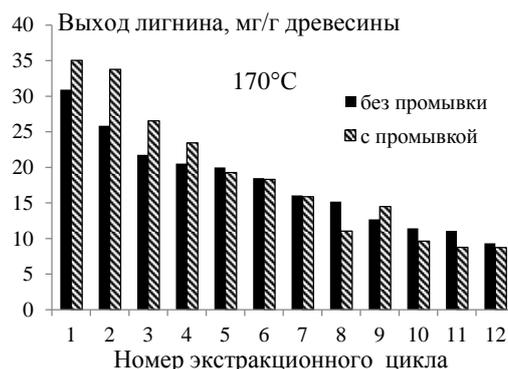


Рис.1 – Зависимость количества выделенного лигнина от номера экстракционного цикла, 170°C

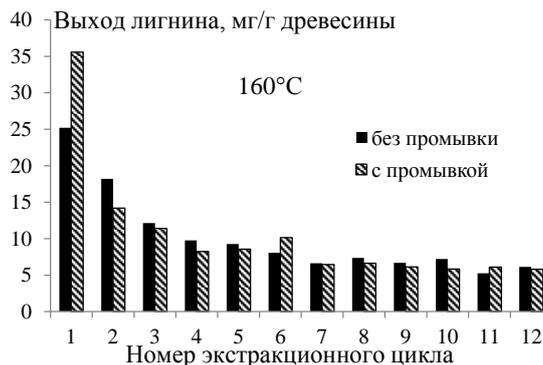


Рис.2 – Зависимость количества выделенного лигнина от номера экстракционного цикла, 160°C

При отсутствии стадии промывки удается сэкономить 60% экстрагента, вместе с тем общее количество выделенного лигнина сокращается лишь на 5% в случае экстракции при температуре 170°C и на 3% в случае экстракции при 160°C.

#### Список литературы

- 1 Song T., Pranovich A., Summerskiy I., and Holmbom B. Extraction of galactoglucomannan from spruce wood with pressurised hot water // *Holzforschung*. 2008. Vol. 62, № 6. P. 659–666.
- 2 Song T., Pranovich A., Holmbom B. Hot-water extraction of ground spruce wood of different particle size // *Bioresources*. 2012. Vol. 3, № 7. P. 4214–4225.
- 3 Krogell J., Korotkova E., Eränen K., Pranovich A., Salmi T., Murzin D., Willför S. Intensification of hemicellulose hot-water extraction from spruce wood in a batch extractor-effects of wood particle size // *Bioresour. Technol.* 2013. Vol. 143. P. 212–220.
- 4 Grenman H., Eränen K., Krogell J., Willför S., Salmi T., Murzin D. Y. Kinetics of Aqueous Extraction of Hemicelluloses from Spruce in an Intensified Reactor System // *Ind. Engineering Chem. Res.* 2011. Vol. 50. P. 3818–3828.
- 5 Rissanen J. V., Grenman H., Willför S., Murzin D. Y., Salmi T. Spruce Hemicellulose for Chemicals Using Aqueous Extraction: Kinetics, Mass Transfer, and Modeling // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2014. Vol. 53. P. 6341–6350.
- 6 Kilpeläinen P., Leppänen K., Spetz P., Kitunen V., Ilvesniemi H., Pranovich A., Willför S. Pressurised hot water extraction of acetylated xylan from birch sawdust // *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 2012. Vol. 27, №04. P. 680–688.
- 7 Kilpeläinen P. O., Hautala S. S., Byman O. O., Tanner L. J., Korpinen R. I., Lillandt M. K.-J., Pranovich A. V., Kitunen V. H., Willför S. M., and Ilvesniemi H. S. Pressurized hot water flow-through extraction system scale up from the laboratory to the pilot scale // *Green Chem.* 2014. Vol. 16. P. 3186–3194.
- 8 Korotkova E., Pranovich A., Wärnå J., Salmi T., Murzin D. Y., Willför S. Lignin isolation from spruce wood with low concentration aqueous alkali at high temperature and pressure: influence of hot-water pre-extraction // *Green Chem.* 2015. Vol. 17, P. 5058–5068.

05.02.02

**Д.И. Кузнецов к.т.н., А.В. Дедушкин**

КНИТУ им. А.Н.Туполева

Казань, eps@eps.kstu-kai.ru

**МЕТОД СОГЛАСОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СВЧ ЦЕПЕЙ  
С ВЫСОКООМНЫМИ НАНОЭЛЕМЕНТАМИ**

*Разработан метод согласования тонкопленочных СВЧ цепей с высокоомными нанозементами. Существует возможность производить согласование наноземента на основе нанотрубок ( $Z=12,8$  кОм) с 50-омным стандартным СВЧ трактом в широком диапазоне частот.*

Ключевые слова: *согласование, КСВ, нанотрубка, подложка, микрополосковая линия.*

Стремительное развитие нанoeлектроники приводит к тому, что этап физико-теоретического моделирования в настоящее время сменяется стадией разработки конкретных элементов. Одним из основных недостатков нанoeлементов, наряду с трудностью согласования с существующими устройствами, цепями и трактами, является их нетехнологичность и дороговизна получения. Изготавливаемые контактные проводники для нанoeлементов должны иметь крайне малую ширину  $w$  и толщину  $t$ , иначе исчезает смысл нанотехнологий и микроминиатюризации. Возникающие в таких проводниках токи, естественно, является практически предельными по плотности, что приводит к известному явлению переноса атомов и даже наночастиц (преимущественно с краев проводников, где локальная напряженность электрического поля  $\mathbf{E}$  максимальна), тем самым вызывая изменения заложенных рабочих характеристик и параметров проводника. Поскольку современные элементы должны работать в импульсном СВЧ и даже КВЧ режиме, то проблема усугубляется еще и создаваемым скин-эффектом (резкое нарастание величины  $|\mathbf{E}|$  по краям проводника, которую фактически можно рассматривать как микрополосковую линию передачи). Предельная плотность токов в проводнике сужает круг материалов, которые мы могли бы применить при его изготовлении. В конечном итоге из списка чистых металлов остается только – Au; но и этот технологически достаточно мягкий металл также не способствует решению проблемы (легирование металла примесями нежелателен, т.к. ухудшается электропроводность и повышается коэффициент отражения рабочего сигнала).

Вторая составляющая данной проблемы – согласование. Сопротивление нанoeлементов на основе нанотрубок постоянно и составляет  $Z_n = h/(2e^2) = 12,8$  кОм (из-за квантомеханического баллистического эффекта). Сопротивление стандартного СВЧ тракта, к которому в конечном итоге придется подключать нанoeлемент, тоже постоянно  $Z_T=50$  Ом. Коэффициент отражения будет составлять  $\Gamma=(Z_n-Z_T)/(Z_n+Z_T)=0,9922\dots$ , т.е.  $|\Gamma|^2=98,5\%$  мощности отражается в случае отсутствия согласования, что недопустимо. С точки зрения сверхвысокочастотной классической схемотехники эта проблема решается с одной стороны путем применения согласующих микрополосковых трансформаторов сопротивления. Но их применение, как с конструкторской точки зрения, так и технологической нецелесообразно из-за большой длины и ширины микрополосковых линий и их многоступенчатости.

С другой стороны, использование классической СВЧ балансной схемы на основе, например, квадратурного моста также создает много неудобств – во-первых, изготовление идентичных (в т.ч. с точки зрения входных импедансов) нанoeлементов является трудным с технологической точки зрения процессом и точность их воспроизводства составляет не более 40%; во-вторых, технологичный квадратный мост в КВЧ диапазоне частот вырождается в труднонастраиваемый прямоугольный резонатор (суммарная ширина шлейфов  $2w_{ш} \geq \lambda/4$ , начиная с определенной частоты). Остается лишь плавно уменьшать ширину микрополосковой линии  $w$  по направлению к высокоомной нагрузке, но изготовить микрополосковый трансформатор даже с приближенным к 12,8 кОм сопротивлением

невозможно, так как ширина полоска будет стремиться нулю ( $w \rightarrow 0$ ).

Для решения данных проблем предлагается использовать конструкцию микрополосковой линии (рис.1), в которой при удельном поверхностном сопротивлении  $\rho = 30 \dots 75 \text{ Ом}$ , величина КСВ в проводниковом слое и коэффициент отражения сигнала определяются вовсе не шириной  $w$  микрополоскового трансформатора сопротивления, а шириной резистивного слоя  $W \gg w$ , находящегося под сигнальным проводниковым слоем, которая позволяет во первых: согласовать устройство со всеми вышеуказанными требованиями; во вторых: позволяет получить высокую стабильность параметров устройства за счет высокой адгезии с подложкой. Следует отметить, что при этом основная плотность тока сигнала сосредоточена в центральном узком участке трансформатора с шириной  $w$ . Это решает казавшуюся неразрешимой технологически проблему  $w \rightarrow 0$  при  $Z \rightarrow 12,8 \text{ кОм}$ . Математическая модель таких RLC-линий (рис.1) приводит к удобной для расчетов результирующей  $[a]$ -матрице:

$$[a] = \begin{bmatrix} \frac{T_n(1 - (w^2 R_s L_s C_p))}{R_s + jwL_s} & \left( \frac{jwR_s L_s}{R_s + jwL_s} \right) V_{n-1} \left( \frac{1 - w^2 R_s L_s C_p}{R_s + jwL_s} \right) \\ jwC_p V_{n-1} \frac{1 - w^2 R_s L_s C_p}{R_s + jwL_s} & \frac{T_n(1 - w^2 R_s L_s C_p)}{R_s + jwL_s} \end{bmatrix}$$

где:  $T_n(x)$ ,  $V_{n-1}(x)$  – полиномы Чебышева 1-го и 2-го рода;

$R_s = \partial R / \partial \ell$ ,  $L_s = \partial L / \partial \ell$ ,  $C_p = \partial C / \partial \ell$  – значения погонных последовательных сопротивлений, индуктивности и параллельной емкости, при этом для элементарного  $n$ -го участка  $\Delta \ell$  RLC-линии  $R_s = \partial R / \partial \ell$  совпадает с удельным волновым сопротивлением участка микрополоскового трансформатора  $\rho_{\square}$  при  $W = \Delta \ell$  и  $W \gg w$ .

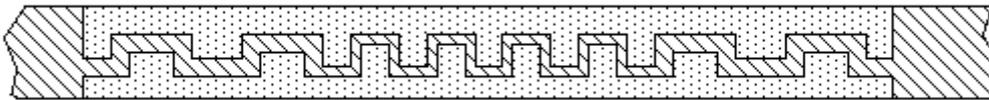


Рис.1. Конструкция технологичной микрополосковой линии (по Пат.РФ №2048694).

Плавно повышая величину удельного волнового сопротивления участка микрополоскового трансформатора сопротивления  $\rho$  по направлению к нагрузке можно легко выйти на требуемое значение  $\rho_{\square} = 12,8 \text{ кОм/}$ :

$$\rho_{\square}^I \approx 50 \text{ Ом/} < \rho_{\square}^{II} < \rho_{\square}^{III} < \rho_{\square}^{IV} < \rho_{\square}^V \rightarrow 12,8 \text{ кОм/}$$

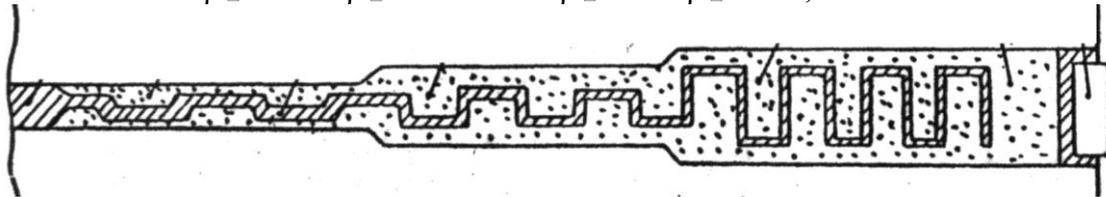


Рис.2. Согласование с высокоомной нагрузкой (по Пат.РФ №2034375).

Благодаря сосредоточению основной плотности сигнала в центральном узком участке микрополоскового трансформатора сопротивления, потери мощности сигнала в участке, где из-за отсутствия проводникового слоя передача сигнала осуществляется через слой резиста, не очень значительны. Кроме того с конструкторской и технологической точки зрения, возможность как угодно изгибать центральный участок микрополоскового трансформатора позволяет сделать  $m$ -ступенчатый широкополосный согласующий трансформатор приемлемой длины  $L \ll m\lambda/4$  с требуемыми параметрами.

Достоинством данной конструкции микрополоскового трансформатора сопротивления является высокая технологичность, выявленная при его изготовлении и так же хорошая стабильность относительно большом диапазоне частот. При изготовлении такой конструкции трансформатора волнового сопротивления следует отметить тот факт, что

сравнительно большие неточности параметров резистивного слоя при изготовлении мало влияют на разброс характеристик всего устройства в целом. Кроме того, дефекты, получаемые при изготовлении центрального сигнального проводникового слоя, которые были бы критичны при изготовлении по традиционной технологии, не являются таковыми в предложенной конструкции. Например, небольшие выемки и неровности края участка проводникового слоя, приводят к стремительному увеличению габаритных размеров дефекта и к выгоранию участка при традиционной технологии изготовления, что в конечном итоге может привести не только к изменению номинальных значений заложенных параметров и характеристик устройства, но и к выходу из строя всей конструкции или узла в целом; в новой конструкции даже микроразрыв или микротрещина центрального проводникового слоя не приводит к выходу устройства из строя, а приводит только к незначительному изменению его параметров и характеристик.

Дополнительным достоинством данной конструкции является то, что резистивный слой не менее чем на порядок снижает локальную напряженность электрического поля центрального участка проводникового слоя, тем самым предохраняя его от лишнего нагрева во время прохождения сигнала по микрополосковому трансформатору сопротивления. Во-первых, плотность тока в резистивном слое значительно ниже, чем в проводящем (в данном случае, определяется в основном увеличением удельного сопротивления резистивного слоя по отношению к проводящему  $i_{рез}/i_{пр} = \rho_{пр}/(\rho_{рез})$ , а не скин-эффектом). Во-вторых, резистивный слой значительно увеличивает эффективный радиус кривизны углов проводника, определяющий концентрацию силовых линий. Относительное снижение локальной напряженности может быть подсчитано (на основании соотношения Фейнмана  $|E| \sim 1/r^2$ , где  $r$  – радиус кривизны выступающей части проводника):  $|E_{пр+рез}/E_{пр}| = r_{пр}^2/(r_{пр+рез})^2$ . В-третьих, резистивный подслой эффективно фиксирует края проводникового слоя, не давая мигрировать атомам и наночастицам (как за счет механических сил, так и химических связей), тем самым данная конструкция позволяет избавиться от связи зависимостей рабочих характеристик и параметров узла от температуры внутри устройства, так и окружающей среды.

В итоге, разработанные новые технологичные конструкции [1–3] позволяют решить проблему согласования стандартного 50-омного СВЧ тракта с высокоомной наноэлектронной нагрузкой и повышения вероятности выхода готовых изделий с идентичными характеристиками при серийном производстве. Параллельные  $RLC$ -линии можно располагать близко друг к другу (вплоть до расстояния разрешающей способности травления боковых зазоров), при этом резистивные включения не только подавляют несанкционированные электромагнитные и емкостные связи, но и позволяют получить  $K_{СВ} < 1,1$  во всем диапазоне СВЧ частот. Кроме того,  $RLC$ -структура вписана в габариты обычной микрополосковой линии, что технологически очень удобно, т.е. позволяют максимально сжать конструкцию при минимальной корректировке топологии. С использованием такой технологии (потери регулируются в широких пределах параметрами меандра и резистивных участков) можно изготавливать помехозащищенные СВЧ разъемы с встроенными фильтр-контактами, аттенюаторы, согласованные нагрузки, элементы СВЧ фильтров.

### **Список литературы**

1. Метод согласования инфокоммуникационных СВЧ-устройств с переменным волновым сопротивлением. / Дедушкин А.В., Кузнецов Д.И. и др. // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2014: Материалы XV Международной научно-технической конференции. Казань: КГТУ, 2014, Т.1, с.269-272,
2. Патент РФ №2185010, МПК Н01Р1/22. Микрополосковый аттенюатор. / Кузнецов Д.И. и др.// Б.И. №19, 2002.
3. Патент РФ №2187866, МПК Н01Р1/26, Н01Q17/00. Микрополосковая нагрузка. / Кузнецов Д.И. и др.// Б.И. №23, 2002.

05.00.00

**К.А. Кузьмин, И.В. Нелин к.т.н.**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), факультет Радиовтуз МАИ, кафедра 44-3 «Аналоговые и цифровые радиоэлектронные системы», Москва, kaf-44-3@yandex.ru

### **ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗМАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ**

*Использование нейросетевых технологий является перспективным направлением в решении задачи распознавания объектов на радиолокационном изображении поверхности. Самым важным свойством нейронных сетей является их способность обучаться на основе данных окружающей среды и в результате обучения со временем повышать свою производительность в соответствии с определенными правилами. Обучение нейронной сети проходит посредством интерактивного процесса корректировки синоптических весов и порогов. В статье указывается на особое место информационного обеспечения искусственной нейронной сети, а также рассматриваются различные методы подготовки и отбора статистических данных. Также предложен ряд мер, направленных на повышение эффективности и точности искусственного интеллекта.*

Ключевые слова: *распознавание, нейронные сети, генетический алгоритм, топология сети.*

Нейросетевыми технологиями называют комплекс информационных технологий, основанных на применении искусственных нейронных сетей [1]. Термин искусственные нейронные сети (ИНС) используется для описания системы соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов), работающих по аналогии с биологической нервной системой человека. Как правило, сети представлены в виде системы взаимосвязанных нейронов, на которые подается входящий сигнал. Важно отметить и способность к машинному обучению благодаря адаптивному характеру сети. Понятие развития нейронов связано с понятием пластичности мозга - способности настройки нервной системы в соответствии с окружающими условиями. Именно пластичность играет самую важную роль в работе нейронов в качестве единиц обработки информации в человеческом мозге. Аналогично, в искусственных нейронных сетях работа проводится с искусственными нейронами. Нейронная сеть представляет собой машину, моделирующую способ обработки мозгом конкретной задачи [2].

Подобно человеческому мозгу, ИНС характеризуется массивом взаимосвязанных клеток, расположенных в слоистых структурах, где каждая ячейка или «нейрон» примерно похож на свой биологический аналог:

— каждый нейрон в ИНС имеет ряд входных каналов, которые в естественном нейроне называются «дендриты»;

— каждый нейрон в ИНС имеет внутреннюю функцию передачи, которая выполняет определенное накопление полученных материалов, а также принимает решение о том, что передать на выходной канал. В естественном нейроне это называется «сома»;

— каждый нейрон в ИНС имеет выходной канал, который соединяет его с одним или несколькими последующими нейронами. В естественном нейроне это называется «аксон».

Обычно ИНС работают максимум с несколькими сотнями нейронов, в то же время человеческий мозг работает примерно с 100-500 миллиардами нейронов и примерно 100 триллионами соединений между ними. Как видно, в настоящее время ИНС может копировать лишь самые основы структуры человеческого мозга, но, тем не менее, она не способна работать так быстро и эффективно. На рис. 1 показан пример ИНС с четырьмя входными узлами, двумя внутренними слоями по 6 узлов в каждом и два выходных узла. Обычно узел слоя соединен с каждым узлом в последующем слое с весами, назначенными каждому из этих соединений.

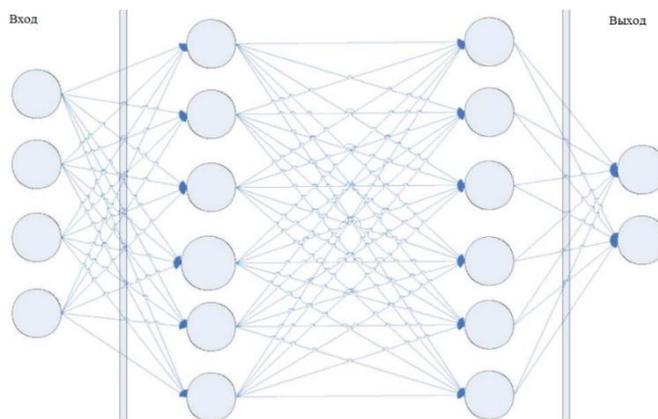


Рис. 1- Пример ИНС

Обучение в человеческом мозге, а также в ИНС, заключается в изменении связи между нервными клетками (синаптические связи). Это означает, что сохраненная информация содержится не в самих нейронах, а в связях между нервными клетками в пределах весов. Роль нейрона заключается в том, чтобы взвесить общие данные, полученные от связей с другими нейронами.

В типичной «многослойный персептронной» (MLP, сеть feed-forward) нейронной сети есть один входной слой, один выходной слой и один или несколько скрытых слоев [3] (Рис. 1). Каждый нейрон имеет нелинейную функцию активации, которая определяет выход нейрона в зависимости от значений входных сигналов. Наиболее часто используется «сигмовидная» функция активации, семейство S-образной нелинейной непрерывной функции с верхними и нижними границами. Наиболее широко используется сигмовидная логистическая функция:

$$1 + e^{-u} \quad (1)$$

В частности, выходной сигнал нейрона в любом слое описывается двумя системами уравнений:

$$\begin{aligned} U_j &= \sum(X_i \cdot W_{ij}) \\ Y_j &= F_{th}(U_j + T_j) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $U_j$  - линейная комбинация входных воздействий;  $X_i$  - компонента вектора, поданного на вход нейрона;  $W_{ij}$  - веса входных сигналов;  $Y_j$  - выходной сигнал нейрона;  $F_{th}$  - нелинейное преобразование (функция активации);  $T_j$  - некоторое постоянное смещение (аналог порога биологического нейрона).

Области применения ИНС довольно разнообразны: от бухгалтерского учета и аудита до управления/принятия решений, маркетинга [4]; для прогнозов осадков [5] и скорости ветра [6], для обнаружения частоты сердечных сокращений, прогнозирования выборов или в распознавании символов. Одним из перспективных направлений использования нейронных сетей является распознавание радиолокационных объектов. Такой широкий спектр областей применения обусловлен следующими характеристиками ИНС [7]:

— адаптивность - мощные алгоритмы обучения и самоорганизующиеся правила позволяют нейронам самостоятельно адаптироваться в соответствии с требованиями в постоянно изменяющейся среде;

— нелинейная обработка - способность выполнять задачи, связанные с нелинейными отношениями;

— параллельная обработка - архитектура с большим количеством процессоров с усовершенствованной обширной взаимосвязанностью обеспечивают параллельную обработку и параллельное распределенное хранение информации. Эта характеристика зависит от реализующего ИНС оборудования, поддерживающего параллельную обработку.

Есть два подхода к обучению в ИНС - контролируемое и неконтролируемое. В контролируемом обучении ИНС снабжена входными данными, где результат вычислений (например, классификации) априори известен. В результате выход ИНС сравнивается с правильным результатом и, в зависимости от степени отклонения, производится

корректировка ИНС. Другой подход заключается в неконтролируемом обучении. В этом случае ИНС будет пытаться выработать классификацию сама, используя методы кластеризации для определения наилучшего способа группировки приведенных входных данных в ряде категорий. В различных областях применения ИНС используются в сочетании с соответствующими генетическими алгоритмами, что обеспечивает оптимизацию сети под конкретную задачу. Единственным источником является исследование Канту-Пан [8], в котором сравнивается выбор из 8 комбинаций ИНС и генетических алгоритмов. В исследовании эмпирически используются 16 общедоступных искусственных наборов данных, чтобы выявить наиболее эффективные сочетания ИНС и генетических алгоритмов. В ходе исследования было обнаружено, что в целом ИНС, настроенные генетическим алгоритмом, не всегда выполняют задачи лучше, чем ИНС после ручной настройки и обучения алгоритмом обратного распространения. Также были предложены сложные безэволюционные методы, в том числе деструктивных алгоритмов, таких как обрезка (создание большего количества слоев, чем необходимо сети, с последующим удалением ненужных соединений), или конструктивных подходов (начиная с малого размера сети с добавлением узлов и соединений по мере необходимости), но они так же являются разновидностью метода проб и ошибок.

К сожалению, даже сегодня, после двух десятилетий исследования ИНС, нет жестких правил относительно оптимальной конструкции сети. Многие исследователи вынуждены идти по пути проб и ошибок в поисках оптимальной конструкции. Поэтому автором исследования был применен генетический алгоритм (ГА), как способ ускорить работу по поиску оптимального сочетания параметров ИНС.

В данной статье рассматривается нейронная сеть с использованием контролируемого подхода обучения на примере выявления объектов при радиолокационном зондировании. Основанием для исследования являются данные по объектам на изображении, которые были предварительно разделены на категории «ложных» и «истинных». ИНС успешно выполняет поставленную задачу по классификации и распознаванию, но в значительной степени эффективность работы сети зависит от соответствующей конструкции сети - обучения, топологии, архитектуры и выбора параметров.

Концепция эволюции для ИНС в виде генетических алгоритмов была принята на трех различных уровнях: вес соединения; архитектура; методы обучения.

Эволюция весов соединений вводит адаптивный и глобальный подход в подготовке сети, чтобы заменить обычные алгоритмы на градиентные.

Эволюция архитектур позволяет ИНС адаптировать топологию для различных задач без вмешательства человека и, таким образом, обеспечивает подход к автоматизированному проектированию ИНС. Это может включать в себя эволюцию топологии сети с точки зрения слоев, узлов и их взаимосвязи, а также выбор соответствующих наборов входов в ИНС.

В соответствии с научно-исследовательским вопросом разработан генетический алгоритм в отношении трех аспектов ИНС:

- определение топологии сети (ГА1);
- определение набора входных атрибутов (ГА2);
- определение весов нейронов (ГА3).

Генетические алгоритмы могут быть использованы вместе или по отдельности. Когда генетические алгоритмы работают одновременно, то работа модели выглядит следующим образом: ГА1 пытается оптимизировать топологию сети, в то время как ГА2 оценивает каждый возможный элемент, который может быть введен в общую комбинацию данных. ГА3 оптимизирует веса для построенной ИНС, учитывая текущую настройку топологии (как определено ГА1) и ввода атрибутов (как определено ГА2).

Рассматриваемая модель следует парадигме обучения с учителем. Это означает, что модели демонстрируются образцы из обучающих данных, которые всегда включают ожидаемый ответ для каждого образца (истина или ложь). Модель сравнивает ожидаемый результат с рассчитанным результатом и делает соответствующие корректировки. Таким

образом, изучается состав обучающей выборки. В центре модели распознавание объектов в ИНС. Было принято решение сохранить простой подход из-за ограниченности времени и прочих ресурсов. ИНС состоит из некоторого числа входных узлов, которое соответствует количеству входных атрибутов, выбранных для ИНС, одного или более внутренних слоев (было допущено максимум 3) и выходного слоя, который состоит из одного узла. Если сети демонстрируется образец входных данных истинного объекта, то ожидаем отклик 1, в противном случае он равен 0. Если ИНС не обучается генетическим алгоритмом для оптимизации веса сигнала, то при обучении ИНС используется стандартный подход обратного распространения. Рассматриваемый прототип позволяет вручную выбрать время импульса и скорость обучения ИНС для всей сети.

Для каждого из трех генетических алгоритмов был выбран метод кодирования фенотипа ИНС к генотипам, представленным в геномах, и наоборот. Для кодирования весов между нейронами выбран один одномерный массив действительных чисел. Длина генома определяется количеством входных факторов, количеством слоев и количеством узлов в каждом слое. Предполагается, что каждый узел в одном слое соединен с каждым узлом в другом слое.

Кодирование входных функций генома выполняется с помощью простого двоичного кодирования. Длина генома соответствует максимальному числу возможных факторов ввода. Ноль особого бита в геноме означает, что входной атрибут не выбран для проектирования ИНС, в то время как единица в этом бите означает, что входной атрибут выбран.

Для оптимизации весов ИНС была выбрана общедоступная библиотека GALIB.DLL, содержащая набор генетических операторов. Одной из основных трудностей было то, что целевые функции генома могут быть определены в библиотеке GALIB.DLL только в статистической функции. Причина, скорее всего, кроется в том, что данная библиотека была разработана для работы только с относительно простыми и автономными целевыми функциями, а этот факт исключает использование библиотеки в стандартном виде для обучения ИНС. Для продолжения исследования необходимо провести корректировку данных в GALIB.DLL. Предполагается, что реализация рассмотренной нейронной сети позволит снизить время поиска оптимальной архитектуры и повысить эффективность искусственного интеллекта.

#### **Список литературы**

1. [http://studopedia.ru/4\\_82775\\_neyrosetevie-tehnologii.html](http://studopedia.ru/4_82775_neyrosetevie-tehnologii.html)
2. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. - 1104 с.: ил.
3. S. Samarasinghe, Neural Networks for Applied Sciences and Engineering: From Fundamentals to Complex Pattern Recognition: Auerbach Publications, 2006.
4. B. Curry, P. Morgan, and M. Silver, "Neural networks and non-linear statistical methods: an application to the modelling of price-quality relationships", Computers and Operations Research, vol. 29, pp. 951-969, 2002.
5. V. Ramirez, C. Velho, and N. J. Ferreira, "Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the Sao Paulo region", Journal of Hydrology, vol. 301, pp. 146-162, 2005.
6. A. Oztopal, "Artificial neural network approach to spatial estimation of wind velocity data," Energy Conversion and Management, vol. 47, pp. 395-406, 2006.
7. A.S. Pandya, Pattern Recognition with Neural Networks in C++. Boca Raton: CRC Press, 1995.
8. E. Cantu-Paz and C. Kamath, "An empirical comparison of combinations of evolutionary algorithms and neural networks for classification problems", Systems, Man and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on, vol. 35, pp. 915-927, 2005.

05.00.00

**К.А. Кузьмин, И.В. Нелин к.т.н., В.А. Скуратов**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), факультет Радиовтуз МАИ, кафедра 44-3 «Аналоговые и цифровые радиоэлектронные системы», Москва, kaf-44-3@yandex.ru

### **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Под информационным обеспечением искусственной нейронной сети (ИНС) понимается хранимая информация или модели, используемые человеком или машиной для интерпретации, предсказания и реакции на внешние события [1]. Автор в данной научной работе отвечает на следующие вопросы: какую информацию необходимо хранить и как эту информацию представить физически для ее последующего использования в нейронных сетях. Также автор разделяет набор данных на положительные и отрицательные примеры для эффективного обучения нейронной сети. Чтобы понизить вероятность неверной трактовки сигнала, автор в часть анализируемых примеров добавляет сигналы, полученные при отсутствии искомого объекта. Предполагается, что реализация рассмотренной системы мероприятий позволит существенно повысить эффективность работы искусственной нейронной сети.*

Ключевые слова: *информационное обеспечение, нейронные сети, генетический алгоритм.*

Одной из наиболее важных проблем, характерных для систем искусственного интеллекта, является представление знаний. Форма представления существенно влияет на характеристики и свойства системы обработки информации. К вопросам представления знаний относятся следующие: какую информацию необходимо хранить и как эту информацию представить физически для ее последующего использования. Таким образом, исходя из самой природы знаний, способ их представления определяется поставленной целью. Относительно реальных приложений "интеллектуальных" систем можно утверждать, что успех решения зависит от хорошо представленной информации [2]. Это касается нейронных сетей, представляющих собой отдельные класс интеллектуальных систем. Форма представления входных сигналов может быть самой разной. Это приводит к тому, что разработка приемлемых нейросетевых решений становится творческим процессом [1].

В данной научной статье рассмотрена методика отбора и подготовки информационного обеспечения искусственной нейронной сети на примере распознавания образов с целью определения типа объектов. В свою очередь нейронная сеть была оптимизирована для этого при помощи генетических алгоритмов.

Самым первым среди слоев, составляющих нейронную сеть, необходимо рассмотреть входной слой. Этот слой получает данные извне (таким путем описывается подлежащая решению задача). При проектировании входного слоя число входящих в него элементов предопределяется объемом входных данных, которые необходимо принимать во внимание при решении задачи. Другой вопрос, что иногда трудно определить, сколько и каких данных нужно вводить в сеть для ее успешной и результативной работы.

В качестве набора данных выступали транзакции, разделенные на "истинные" (А) и "ложные" (Б). Группа данных А не включает в себя данные об отброшенных объектах, также отсутствует время распознавания. Набор данных Б содержит 506 карт, в которых были обнаружены ложные объекты.

Анализируемая информация содержит следующие атрибуты:

- неправильное распознавание объекта;
- ложное срабатывание;
- распознавание с некорректными признаками;
- остальные (все случаи, которые не попадают ни в одну из категорий выше).

С вводом данных в нейронную сеть связано одно обстоятельство, на которое необходимо обратить внимание. Нейроны обладают возможностью вырабатывать решение в форме числовых значений, но почти всегда эти значения строго ограничены. Например, в большинстве практических приложений выходные сигналы всех нейронов могут принимать значения в интервале от 0 до 1 (или, что бывает более удобным, от -1 до 1). Поэтому, если значения ожидаемого результата должны лежать в другом интервале, то необходимо применять масштабирование.

Масштабировать входные данные проще, чем выходные, поскольку на входы нейронов входного слоя можно подать любой сигнал, имеющий произвольное значение. С выходными дело обстоит иначе, потому что нейрон не способен выработать сигнал, не соответствующий параметрам его функции активации. Поэтому для однородности интерпретации всех циркулирующих по сети сигналов и связанных с ними весов практически всегда выполняется масштабирование входных значений. Дополнительное преимущество такого подхода состоит в возможности провести нормализацию входных переменных. Нормализация обеспечивает "равноправие" всех входных сигналов. Проблема заключается в том, что некоторые входные переменные, несущие очень важную для решаемой задачи информацию, могут принимать малые значения, тогда как другие менее важные переменные имеют большие значения. При отсутствии масштабирования нейрон, увидевший на одном своем входе большие числовые значения, а на втором малые, принимал бы во внимание только первый показатель, при полном игнорировании второго. Благодаря нормализации (в результате которой диапазоны изменения всех входных переменных становятся одинаковыми) обе переменные обретают равноправие, и сеть функционирует более эффективно.

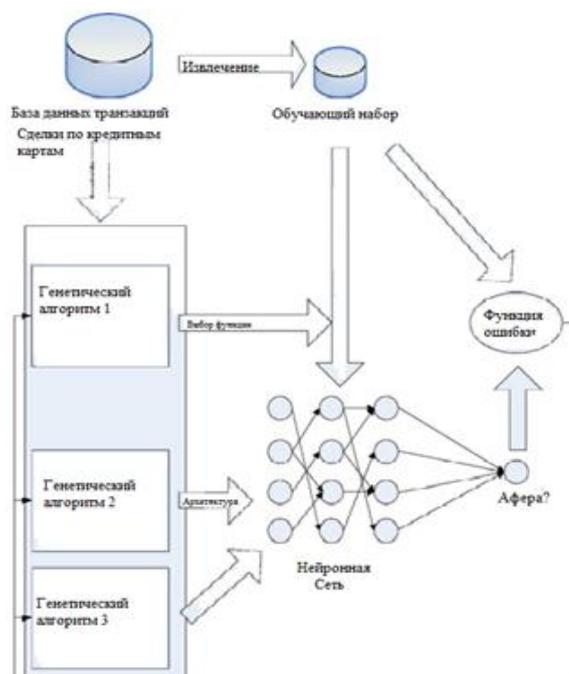


Рис. 1 - Блок-схема алгоритма

Для того чтобы сказать, будут ли отображаться транзакции с точки зрения не типичных признаков для данного объекта, нейронной сети необходима информация об усредненных характеристиках объекта, проведенных до текущей транзакции. Так, для вычисления средней транзакции требуется определенное количество предыдущих данных до фактической. Расчет этих атрибутов до запуска модели ИНС добавляется к времени обработки модели. Блок-схема работы алгоритма представлена на Рис. 1.

Для определения качества работы нейронной сети с загружаемыми данными, была использована следующая функция ошибки:

$$Error = \frac{n(r_{calc} - r_{label}) * C(r_{label})}{n} \quad (1)$$

- где  $r_{calc}$  - результат расчета ИНС,  $r_{label}$  - предварительно меченные данные,  $n$  - число образцов,  $C(r_{label})$  - фактор затрат, связанных с неправильной классификацией. Соотношение было выбрано таким образом, чтобы отметить важность отсутствия мошенничества и понизить ложные срабатывания системы.

Для того, чтобы упростить тестирование, был разработан модуль отбора данных, который позволяет с помощью графического интерфейса выбрать конкретные подмножества данных. Система позволяет выбрать необходимый тип данных для анализа:

- для обучения;
- для тестирования;
- проверка набора данных.

ИНС может быть использована для обнаружения образов на радиолокационном изображении посредством проверки набора входных данных только после проведения соответствующей настройки и обучения сети в учебном модуле.

Учебный модуль ИНС имеет два основных экрана пользовательского интерфейса: один для настройки параметров ИНС, другой - для настройки основных параметров генетических алгоритмов.

Важно отметить, что разработка генетического алгоритма и нейронной сети не была начата с нуля. Для реализации ИНС был использован исходный код библиотеки "Neural Network Utility", которая обеспечивает простоту разработки приложений для ИНС, а также быструю работу с информацией, загружаемой в сеть. Так как библиотека не поддерживает весь необходимый в текущем исследовании функционал, исходный код был надлежащим образом скорректирован. Функциональность генетического алгоритма, обрабатывающего входные данные, базируется на основе генетического алгоритма, реализованного на основе библиотеки Galib.dll. Прототип реализации модели представлен на Рис. 2

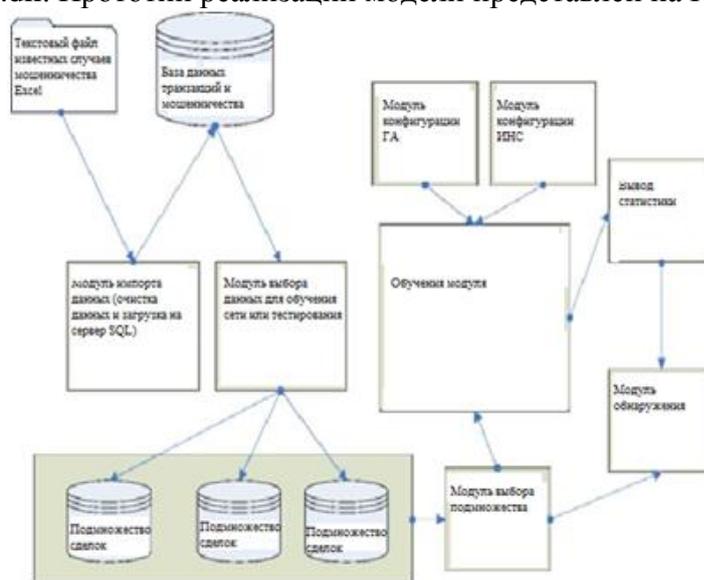


Рис. 2- Прототип реализации ИНС с ГА

Предполагается, что реализация рассмотренных мер по подготовке информации для нейронной сети позволит не только существенно повысить эффективность работы, но и снизить время обучения ИНС.

**Список литературы**

1. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. - 1104 с.: ил.
2. Woods W.A. "Important issues in knowledge representation", Proceedings of the IEEE, Vol. 74, No. 10 (October, 1986), pp 1322-1334. Reprinted in Peter G. Raeth (ed.), Expert Systems: A Software Methodology for Modern Applications, Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1990

05.00.00

**К.А. Кузьмин, В.А. Скуратов**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
факультет Радиовтуз МАИ, кафедра 44-3 «Аналоговые и цифровые радиоэлектронные  
системы», Москва, kaf-44-3@yandex.ru

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

*Проектирование оптимальной топологии нейронной сети заключается в разработке такой архитектуры, которая обеспечивает наилучшее относительно выбранного критерия решения поставленной задачи. Такой подход предполагает перебор пространства архитектур, составленного из всех возможных вариантов, выбор точки этого пространства, наилучшей относительно заданного критерия оптимальности. В данной научной работе автор использует генетический алгоритм для определения эффективной топологии стандартной многослойной искусственной нейронной сети.*

Ключевые слова: *оптимизация, нейронные сети, генетический алгоритм, архитектура сети.*

Структура сети образуется при соединении (согласно принятой схеме) выходов одних нейронов с входами других, благодаря чему формируется целостная система, способная параллельно и полностью согласованно обрабатывать различную информацию. Чаще всего выбирается сеть с многослойной структурой, а связи между нейронами разных слоев устанавливаются по принципу "каждый с каждым". Конечно, конкретная топология сети (т.е. главным образом — количество нейронов в каждом слое) должна определяться задачей, которую необходимо решить. Теоретически, правило довольно простое: чем сложнее задача, тем больше нейронов должно входить в сеть для ее решения, поскольку, чем больше нейронов в сети — тем выше ее "интеллект". Но на практике все не так однозначно, как могло бы показаться.

В исследовании размер сети был ограничен 3 внутренними слоями с 30 нейронами в каждом. Это соответствует общей сложности 27000 возможных сетевых топологий. Учитывая время работы автономной модели, наиболее оптимальным решением представляется применение генетических алгоритмов (ГА), которые способны не только повысить эффективность поиска, но и существенно сократить его время. В исследовании оптимизация топологии рассмотрена на примере банковских транзакций с целью выявления мошенничества. В качестве набора данных выступали смоделированные транзакции по кредитным картам, разделенные по типам мошенничества:

- поддельная кредитная карта;
- украденная карта;
- новая карта не достигла держателя (в случае с перехватом почты);
- карта использовалась вместе с поддельным документом;
- остальные (все случаи, которые не попадают ни в одну из категорий выше).

В качестве атрибутов ГА выступала следующая информация:

Таблица 1 - Атрибуты ГА

<b>Имя переменной</b>	<b>Описание</b>
Средняя общая сумма расходов за месяц	Средняя сумма по всем сделкам за 30-дневный период до рассматриваемой сделки
Средняя общая сумма расходов за неделю	Средняя сумма расходов в течение 1 недели за период последних 3-х месяцев
Средняя общая сумма расходов за день	Средняя сумма, потраченная в день, за период последних 30 дней

Средние расходы в месяц на товар данного типа	Средняя сумма, потраченная в течение 30-дневного периода для всех операций до рассматриваемой на товар данного типа
Средние расходы за неделю на товар данного типа	Средняя сумма расходов в течение 1 недели за период последних 3-х месяцев на товар данного типа
Общая сумма расходов за день	Общая сумма расходов в день сделки
Общее количество сделок за день	Общее количество сделок в тот же день
Количество сделок в день с одним и тем же магазином	Общее количество сделок с тем же магазином за этот день
Предыдущие сделки за месяц с тем же магазином	Общее количество сделок с тем же магазином за период последних 30 дней до рассматриваемой сделки
Предыдущие сделки за месяц в валюте	Общее количество сделок в той же валюте за период последних 30 дней до рассматриваемой сделки
Предыдущие сделки за месяц в той же стране	Общее количество сделок в той же стране за период последних 30 дней до рассматриваемой сделки

Для определения начальных параметров ГА, были выбраны 5 тестовых случаев для 1 карты.

Для анализа оптимальной архитектуры результаты были использованы два сценария:

- топология определяется без генетического алгоритма;
- топология определяется с помощью генетического алгоритма.

В качестве структуры сети была использована многослойная сеть прямого распространения. Сеть прямого распространения представляет собой структуру, в которой задано строго определенное направление распространения сигнала — от некоторого заранее определенного входа, через который в сеть вводятся сигналы носителя входных данных, определяющих решаемую задачу, к выходу, на который сеть выводит найденное решение. Такие сети применяются чаще всего и оказываются наиболее эффективными.

Многослойная нейронная сеть прямого распространения характеризуется наличием одного или нескольких скрытых слоев, узлы которых называются скрытыми нейронами или скрытыми элементами. Их функция заключается в посредничестве между внешними входными сигналами и выходом нейронной сети. Такая сеть позволяет выделять глобальные свойства данных с помощью локальных соединений за счет наличия дополнительных синаптических связей и повышения уровня взаимодействия нейронов.[1] Способность скрытых нейронов выделять статистические зависимости высокого порядка особенно существенна, когда размер входного слоя достаточно велик.

Узлы источника входного слоя формируют соответствующие элементы шаблона активации (входной вектор), которые составляют входной сигнал, поступающий на нейроны второго слоя. Выходные сигналы второго слоя используются в качестве входных для третьего слоя и т.д. Обычно нейроны каждого из слоев сети используют в качестве входных сигналов выходные сигналы нейронов предыдущего слоя. Набор выходных сигналов нейронов выходного (последнего) слоя сети определяет общий отклик сети на данный входной образ, сформированный узлами источника входного слоя. В общем случае сеть прямого распространения с  $m$  входами,  $h_1$  нейронами первого скрытого слоя,  $h_2$  нейронами второго скрытого слоя и  $q$  нейронами выходного слоя называются сетью « $m$ - $h_1$ - $h_2$ - $q$ » [2].

Для выбора топологии с использованием генетических алгоритмов был использован следующий набор параметров:

- размер популяции - конечное множество особей;
- количество поколений - длительность эволюции;
- метод отбора - отбор из множества особей;
- оператор Кроссовера - особи промежуточной популяции случайным образом разбиваются на пары, потом с некоторой вероятностью скрещиваются, в результате чего получаются два потомка, которые записываются в новое поколение, или не скрещиваются, тогда в новое поколение записывается сама пара;

— оператор мутации - к полученному в результате отбора и скрещивания новому поколению применяется оператор мутации, необходимый для "выбивания" популяции из локального экстремума и способствующий защите от преждевременной сходимости;

— элитизм - в новое поколение включается заданное количество лучших особей предыдущего поколения (часто одна лучшая особь).

Таблица 2 - Начальные параметры топологии генетического алгоритма

Параметр	Установка
Тип ГА	Обычный ГА
Размер популяции	10
Количество поколений	10
Метод отбора	Ранг Порядок выбора
Оператор Кроссовера	2 точки
Оператор мутации	Случайный обмен
Вероятность мутации	0.002
Вероятность кроссовера	0.1
Элитизм	да

При тестировании было выявлено, что оптимизация топологии сети при использовании генетического алгоритма не сразу приводит к улучшению результатов в значении целевой функции. Результаты на первом этапе значительно хуже, чем без применения ГА. Поэтому методом проб и ошибок был найден оптимальный набор параметров. Каждый тест занимает около 3 часов. В свою очередь для подбора одного параметра сети потребовалось 5 испытаний. Во-первых, для получения необходимого эффекта потребовалось увеличить размер популяции с 10 до 25. Количество поколений было определено в 20. Вероятность кроссовера была модифицирована с 0,1 до 0,2. Наилучший результат вероятности мутации был достигнут на значении в 0,004.

Окончательный набор параметров ГА представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Окончательный набор параметров ГА

Параметр	Установка
Тип ГА	Обычный ГА
Размер популяции	25
Количество поколений	20
Метод отбора	Ранг Порядок выбора
Оператор Кроссовера	2 точки
Оператор мутации	Случайный Обмен
Вероятность мутации	0.004
Вероятность кроссовера	0.2
Элитарность	Да

Параметры были определены экспериментальным путем, но в целом они позволили повысить общую производительность рассматриваемой модели. Для того, чтобы установить целесообразность параметров, они были пропущены через набор из 5 тестовых случаев, в которых информация была разделена как на обучающий набор, так и на непосредственно тестовые случаи. Введение ограничения размера сети существенно сократило время поиска оптимальной топологии. Полученные результаты будут направлены, как на совершенствование механизма выявления мошеннических транзакций в общем массиве данных, так и для дальнейшего исследования и улучшения топологии данной нейронной сети.

#### **Список литературы**

1. *Anderson J.A.* "Cognitive and psychological computation with neural models", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1983, vol. SMC-13, p. 799-815.
2. *Хайкин Саймон.* Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. - 1104 с.: ил.

05.13.11

**В.В. Ланин, В.В. Морозенко, А.О. Сухов**

Пермский филиал национального исследовательского университета  
«Высшая школа экономики», факультет экономики, менеджмента и бизнес-информатики,  
кафедра информационных технологий в бизнесе,  
Пермь, vlanin@hse.ru, asuhov@hse.ru, vmorozenko@hse.ru

### **АРХИТЕКТУРА РЕДАКТОРА ЛЕКСИКО-СИНТАКСИЧЕСКИХ ШАБЛОНОВ НА БАЗЕ DSL-ТЕХНОЛОГИЙ**

*В статье описывается подход к реализации визуального редактора лексико-синтаксических шаблонов. Описываются требования, предъявляемые к редактору, его архитектура и процесс обработки языковых конструкций. Предлагаемое решение характеризуется значительными возможностями расширения и ориентацией на широкий круг пользователей.*

Ключевые слова: *лексико-синтаксический шаблон, визуальный редактор, предметно-ориентированные языки.*

#### **Введение**

Исследования в компьютерной лингвистике проводятся с использованием специальных лексико-синтаксических шаблонов, которые позволяют выделять в тексте словосочетания и предложения, построенные по определённому лингвистическому принципу. Лексико-синтаксический шаблон – это декларативная структура, структурный образец языковой конструкции, который отображает её лексические и поверхностные синтаксические свойства [1]. Помимо основного назначения данные шаблоны несут некоторую семантическую информацию, что объясняет использование лексико-синтаксических шаблонов в задачах, связанных с семантикой текста. Для описания лексико-семантических шаблонов используются специальные языки. Одним из наиболее простых и доступных способов задания лексико-синтаксических шаблонов являются регулярные выражения [2]. При проектировании и реализации приложений, использующих лексико-синтаксические шаблоны, возможно применение шаблонов в форме, наиболее удобной для текущей задачи. Также возможно использование шаблонов, описанных с помощью специально разработанной структуры (например, шаблоны JAPE [3]). Существуют и языки, специально разработанные для представления лексико-синтаксических шаблонов в отдельных задачах. В качестве примера специального языка можно назвать LSPL (Lexical-Syntactic Pattern Language), предназначенный для работы с русскоязычными текстами. Значительная часть пользователей подобных систем - лингвисты, разработка шаблонов вызывает у них затруднения из-за сложности языковых конструкций и отсутствия навыков программирования. Решением может стать создание специализированного визуального редактора, заметно снижающего порог освоения технологий разработки лексико-синтаксических шаблонов.

#### **Требования к редактору**

Редактор должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Возможность создания моделей в графической нотации. Система должна позволять описывать лексико-синтаксические шаблоны в графическом редакторе понятном компьютерным лингвистам, которые не являются специалистами в области информационных технологий.

2. Гибкость. Возможность настройки языка описания лексико-синтаксических шаблонов на специфику решаемой задачи, а также возможности и потребности конкретного пользователя. В зависимости от решаемой задачи может потребоваться внести изменения в существующий предметно-ориентированный язык (DSL) описания шаблонов. При этом необходимо, чтобы система позволяла это делать без внесения изменений в исходный код и перезапуска.

3. Возможность валидации моделей. Система должна предоставлять возможность выполнять проверку созданных пользователем моделей на корректность.
4. Возможность генерации кода. Система должна позволять генерировать код на целевом языке на основе созданных визуальных моделей.
5. Возможность экспорта моделей. Поскольку большинство систем компьютерной лингвистики использует свой собственный формат данных, то в системе должны быть предусмотрены средства трансформации визуальных моделей в формат конкретной системы компьютерной лингвистики.

### *Архитектура редактора*

Опираясь на перечисленные требования, можно выделить следующие основные компоненты проектируемой системы: редактор, репозиторий, валидатор, генератор.

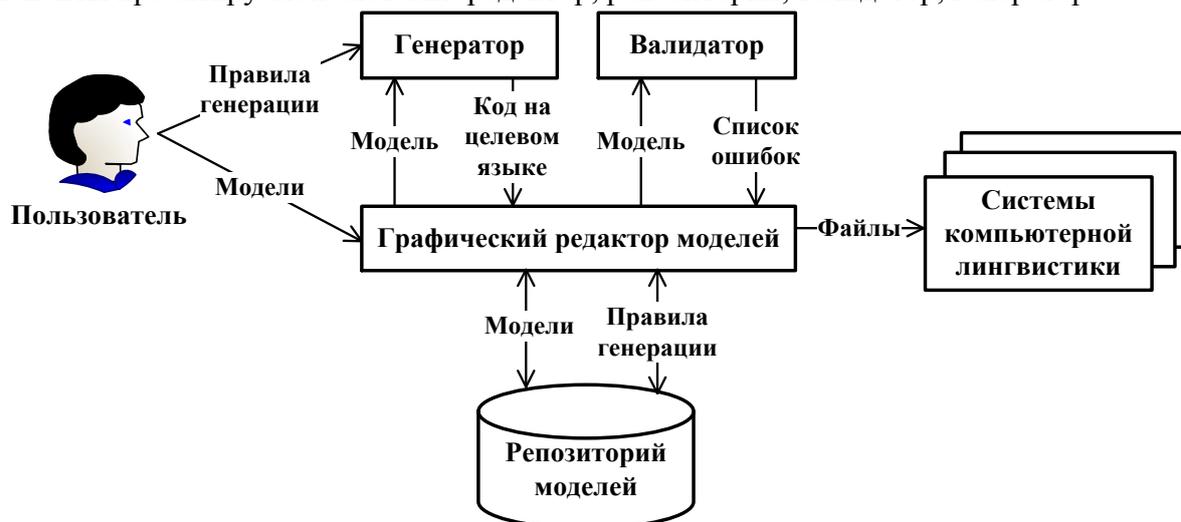


Рис. 1. Архитектура редактора лексико-синтаксических шаблонов

*Графический редактор моделей* – компонент системы, который предназначен для создания моделей лексико-синтаксических шаблонов с помощью удобного графического интерфейса. Для создания моделей система предоставляет в распоряжение пользователей набор конструкций и связей между ними. Для построения шаблонов используется визуальный предметно-ориентированный язык, что позволяет привлечь к их созданию компьютерных лингвистов. Конструкции языка располагаются на панели инструментов. Перетаскивая конкретный инструмент в рабочее поле, пользователь создает экземпляр конструкции.

*Валидатор* – компонент, предназначенный для проверки созданных пользователем моделей на корректность. В процессе построения моделей пользователь может допустить ошибки, а также создать модели, которые не будут удовлетворять ограничениям, налагаемым на метамодель – модель языка моделирования. Перед тем как выполнить генерацию кода, необходимо проверить корректны ли модели, разработанные пользователем. Проверка корректности осуществляется на основе описания метамодели DSL.

*Генератор* – компонент, отвечающий за генерацию кода на целевом языке. Генератор используется для трансформации созданных пользователем визуальных моделей в текстовое представление на языках описания лексико-синтаксических шаблонов, а также для генерации файлов в форматах систем компьютерной лингвистики, например, в формате JARE. Для расширения возможностей интероперабельности, система предоставляет пользователю возможность самостоятельно определять правила трансформации. Для этого на уровне метамодели необходимо для каждого элемента языка задать текстовый шаблон, в соответствии с которым будет выполняться генерация кода. Текстовый шаблон содержит как статическую часть, не зависящую от конкретной модели, так и динамическую часть, которая позволяет пользователю обращаться к значениям атрибутов различных конструкций DSL.

*Репозиторий моделей* – единое хранилище моделей и правил трансформации. Репозиторий представляет собой реляционную базу данных.

Для обеспечения гибкости средств построения визуальных моделей лексико-синтаксических шаблонов необходимо, чтобы редактор во время своей работы выполнял интерпретацию описания языка моделирования, благодаря этому пользователь в любой момент будет иметь возможность настроить язык на собственные потребности или специфику предметной области.

Процесс построения моделей лексико-синтаксических шаблонов и генерации кода на целевом языке состоит из следующих основных этапов:

1. Настройка языка. Используя графический редактор моделей, пользователь выполняет модификацию языка описания шаблонов с целью его адаптации к специфике решаемой задачи и предметной области.

2. Построение моделей. Опираясь на конструкции визуального предметно-ориентированного языка, пользователь выполняет построение моделей лексико-синтаксических шаблонов.

3. Описание правил трансформации. На данном этапе пользователь определяет правила преобразования графических моделей в код на целевом языке. Для описания трансформаций используются алгоритмы, основанные на обработке графовых структур [6].

4. Генерация кода на целевом языке.

### **Заключение**

Предлагаемый подход позволяет разработать визуальный редактор лексико-семантических шаблонов, обладающий полным набором функционала, необходимого для разработки и использования JAPE-шаблонов лингвистами. Визуализация и возможность динамической настройки позволяют заметно снизить требования к квалификации пользователя. В дальнейшем планируется поддержка визуального редактирования других языков описания лексико-семантических шаблонов.

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке Научного фонда НИУ ВШЭ (проект № 15-09-0254), РФФИ (проекты №№ 14-07-31273, 14-07-31330).

### **Список литературы**

1. *Большакова Е.И.* Лексико-синтаксические шаблоны в задачах автоматической обработки текстов / Н.В. Баева, Е.А. Бордаченкова, Н.Э. Васильева, С.С. Морозов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды Международной конференции Диалог '2007 / Под ред. Л.Л. Иомдина, Н.И. Лауфер, А.С. Нариньяни, В.П. Селегея – М.: Изд-во РГГУ, 2007. С. 70-75.
2. *Jacobs P.S., Krupka G.R., Rau L.F.* Lexico-semantic pattern matching as a companion to parsing in text understanding [Электронный ресурс] // URL: [http://pdf.aminer.org/000/511/641/lexico\\_semantic\\_pattern\\_matching\\_as\\_a\\_companion\\_to\\_parsing\\_in.pdf](http://pdf.aminer.org/000/511/641/lexico_semantic_pattern_matching_as_a_companion_to_parsing_in.pdf) (дата обращения: 10.01.2015).
3. GATE JAPE Grammar Tutorial Version 1.0 [Электронный ресурс] // URL: <https://gate.ac.uk/sale/thakker-jape-tutorial/GATE%20JAPE%20manual.pdf> (дата обращения: 10.01.2015).
4. *Сухов А.О., Лядова Л.Н.* О подходе к разработке профессионально-ориентированных систем на основе DSM-платформ / Информатизация и связь. – 2013. – № 5. – С. 15-18.
5. *Лядова Л.Н., Серый А.П., Сухов А.О.* Подходы к описанию вертикальных и горизонтальных трансформаций метамodelей / Математика программных систем: межвузовский сборник научных статей. – Вып. 9. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2012. – С. 33-49.
6. *Патокина У.М., Морозенко В.В.* Генерация графов с заранее известным хроматическим числом // Актуальные проблемы механики, математики, информатики: сб. тез. науч.-практ. конф. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010.

05.00.00

**А.В. Лаптев, А.В. Макаренко к.т.н., М.А. Быковский к.т.н.**

Московский государственный университет леса, лесопромышленный факультет, кафедра технологии и оборудования лесопромышленного производства, Мытищи, laptev@mgul.ac.ru  
makarenko@mgul.ac.ru bykovskiy@mgul.ac.ru

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА**

*В работе, представлена методика определения оптимальной зоны работы манипулятора лесозаготовительной машины, на примере самой распространённой компоновки харвестеров с расположением манипулятора впереди кабины.*

Ключевые слова: *технология лесозаготовок, многооперационные машины, зона работы манипулятора.*

Основными требованиями процесса валки и обработки деревьев технологическим оборудованием современных многооперационных машин являются: направленность валки, валка без повреждения ствола и высокая производительность работ по обрезке сучьев и раскряжевке. Эффективность использования лесозаготовительных машин манипуляторного типа зависит от многих факторов, в том числе от рабочей зоны манипулятора, которая может быть реализована в валочном, валочно-пакетирующем, валочно-сучкорезно-раскряжевочном и других технологических режимах. Геометрические параметры реализуемой рабочей зоны определяются рабочей позицией машины в соответствующем технологическом режиме, то есть местом установки машины относительно дерева или группы деревьев, подлежащих заготовке [1].

На геометрические параметры рабочей зоны существенное влияние оказывают целый ряд факторов, которые можно, с некоторыми допущениями, разделить на три группы.

В первую группу можно объединить факторы, относящиеся к предмету труда – дереву. С одной стороны, необходимо рассматривать предмет труда с точки зрения совокупности деревьев. Это такие факторы как таксационные показатели древостоя в целом, геометрическое расположение деревьев относительно самой лесозаготовительной машины и относительно друг друга. С другой стороны, необходимо учитывать факторы, относящиеся к индивидуальным особенностям отдельно взятого дерева, которыми являются форма, размеры, вес дерева, физико-механические свойства прикорневой части ствола, расположение отдельных частей дерева в пространстве.

Во вторую группу следует объединить факторы окружающей среды: температуру воздуха; атмосферные осадки; ветровую нагрузку; сопротивление воздушной среды падению дерева; рельеф местности; почвенно-грунтовые условия. При технологических расчетах одни из этих факторов имеют вполне четкую определенность (например, рельеф), другие – такие как атмосферные явления, могут учитываться с той или иной степенью вероятности.

К третьей группе относятся факторы, определяемые техническими параметрами лесозаготовительной машины и выполнением данной машиной комплекса технологических операций. К таким факторам относятся тип базовой машины, ее геометрические и весовые характеристики, компоновка технологического оборудования и его технические характеристики, выбранная технология работы в лесонасаждениях, порядок выполнения операций технологии заготовки и обработки единичного деревьев.

Именно факторы третьей группы оказывает наиболее существенное влияние на эффективность работы основного технологического оборудования, а именно манипулятора и рабочего механизма (захватно-срезающего устройства, харвестерной головки и др. и соответственно многооперационной машины в целом. Оптимизация рабочей зоны манипулятора, образуемой при работе многооперационной машины, является одним из путей повышения её производительности. С одной стороны, увеличение вылета

манипулятора приводит к возрастанию числа деревьев, достигаемых с одной рабочей позиции, повышая, тем самым, производительность за счет снижения затрат времени на переезд и другие внецикловые затраты времени. С другой стороны, увеличение вылета манипулятора ограничено устойчивостью самой машины [3]. Ограничения, накладываемые поперечной устойчивостью, приводят к снижению значения коэффициента использования манипулятора в поперечном положении и как следствие уменьшение ширины разрабатываемой пашки. Продольная устойчивость выше поперечной и величина вылета манипулятора в продольном направлении ограничивается его грузовым моментом, который определяет значения коэффициента использования манипулятора в продольном направлении.

Таким образом, размерные нагрузочные характеристики рабочей зоны многооперационной машины находятся в зависимости от сочетания устойчивости машины и грузового момента используемого манипулятора.

Устойчивость машины является изменяемым параметром, находящимся в зависимости от угла поворота манипулятора, его вылета. Способность машины противостоять опрокидыванию зависит от конструктивных параметров машины, а также от действия оператора, управляющего машиной. Условно можно различать собственную и управляемую устойчивость машины: первая зависит от конструктивных параметров машины; вторая – от действий оператора в критических ситуациях (наезд или съезд с препятствия, движения на повороте по склону и т.п.) путем соответствующего изменения скорости движения или положения машины и ее рабочего оборудования. Элементы машины, посредством которых оператор управляет устойчивостью, характеризуют “активную” безопасность машины, так как она реализуется через активные действия оператора. Различают статическую и динамическую устойчивость против опрокидывания. Статическая устойчивость характеризуется равновесным состоянием машины под действием внешних нагрузок, постоянных по значению и направлению. Динамическая устойчивость характеризует способность машины сохранять заданное состояние после того, как на нее воздействовали возмущающие силы и моменты. [2]. В зависимости от направления опрокидывания различают оси бокового и продольного опрокидывания, которые совместно образуют опорный контур машины.

Определение значений грузовых моментов в различных положениях манипулятора и для различных значений длин выдвижения манипулятора, позволяет определить значение максимального груза, который может поднять манипулятор, и на основании этого строится диаграмма грузоподъемности, основанная на устойчивости машины.

Рассчитав устойчивость харвестера, и зная заводские технические характеристики грузового момента манипулятора, можно построить общую диаграмму устойчивости с использованием полученных данных. Диаграмма строится на основе углов поворота манипулятора, длин вылета манипулятора и значений грузоподъемности. Значение грузоподъемности берется наименьшим из полученных расчетов опрокидываемости или номинальных данных, установленных производителем для грузоподъемности манипулятора. Для расчетов был принят харвестер массой 15 т и оснащенный манипулятором с максимальным вылетом 10м и грузовым моментом 188кНм. Общий вид диаграммы приводится на рис. 1.

Как показывает анализ построенной диаграммы, подняв груз на определенном угле поворота и вылете стрелы, харвестер может опрокинуться, но грузовой момент может вывести манипулятор из строя. Исходя из этого в рабочей зоне манипулятора многооперационной машины можно выделить две зоны в которых существуют ограничения по возможности заготовки деревьев по весовым характеристикам. Первая зона – располагается с левой и с правой стороны машины и образуется за счет ограничений накладываемых поперечной опрокидываемостью относительно боковой продольной оси опорного контура.

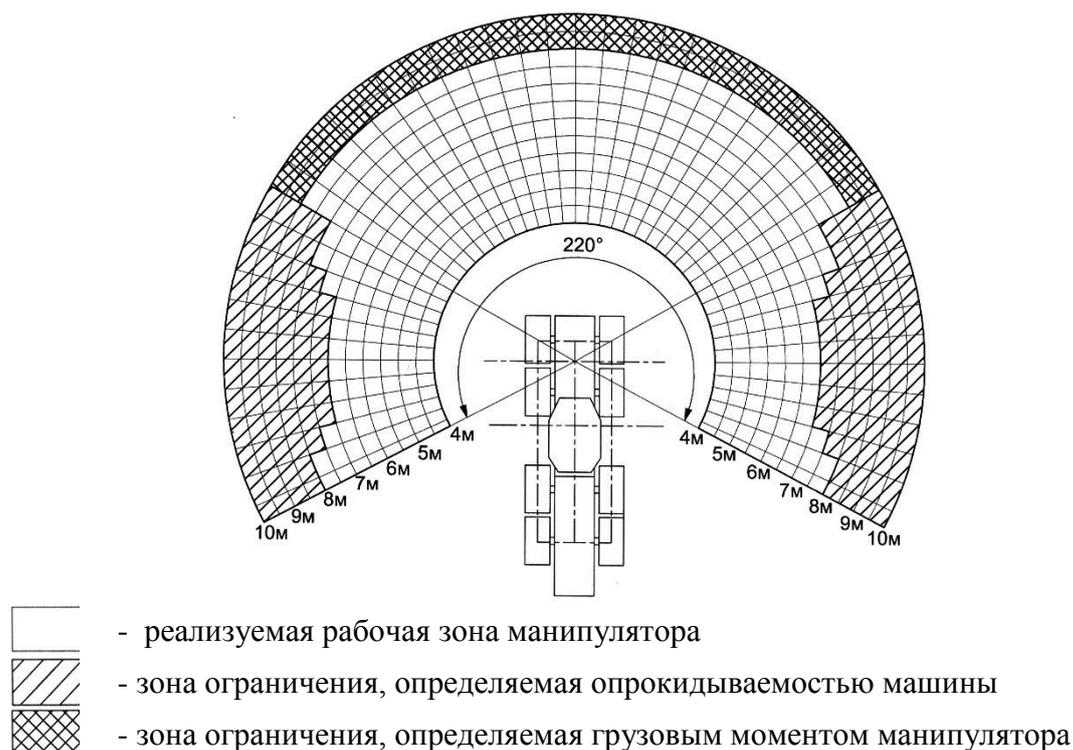


Рис.1 Общий вид рабочей зоны многооперационной машины с учетом ее устойчивости и грузоподъемности манипуляторного оборудования.

Вторая зона занимает часть сектора, образуемого линией максимального вылета манипулятора, на котором манипулятор с харвестерной головкой может обрабатывать деревья данного древостоя, и линиями, исходящими из точки крепления манипулятора и проходящими через точки пересечения передней поперечной и продольных осей опорного контура. На размеры и конфигурацию обеих зон оказывают влияние параметры древостоя, определяемые его таксационными характеристиками.

Таким образом можно сделать вывод, что коэффициент использования вылета манипулятора в области центрального угла рабочей зоны  $k_{ц}$ , определяется весовыми характеристиками деревьев и значением грузового момента манипулятора. Данный коэффициент определяет расстояния переездов машины между рабочими позициями при разработке лесосеки. Коэффициент использования манипулятора в области боковых углов  $k_{б}$  определяется с учетом весовых и геометрических характеристик манипулятора, харвестерной головки, базовой машины, древостоя разрабатываемой лесосеки и устойчивостью машины. Коэффициент  $k_{б}$  необходимо учитывать при определении ширины пасеки разрабатываемой многооперационной машиной.

#### **Список литературы**

1. Аболь, П.И. Машины ЛП-17 и ЛП-19 на лесосечных работах/ П.И.Аболь, Г.К.Виногоров. – М.: Лесная промышленность, 1981.–64 с.
2. Баринов, К.Н. Проектирование лесопромышленного оборудования/ К.Н.Баринов, В.А.Александров. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1988. – 240 с.
3. Герц, Э.Ф. Теоретическое обоснование технологий рубок с сохранением лесной среды (на примере Уральского региона): автореф. дисс... д-р. техн.наук / Э.Ф.Герц; УГЛТА.–2004.–38с.
4. Ксенович, И.П. Гоберман В.А., Гоберман Л.А. Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия ./ И.П. Ксенович, В.А.Гоберман, Л.А.Гоберман. – М.: Машиностроение. 2003.- 743с.; ил.
5. Заготовка сортиментов на лесосеке/ А.В.Жуков, И.К.Иевень, А.С. Федоренчик, Ю.И. Проворотов и др. –М.: Экология, 1993. -312 с.

05.13.19

**А.А. Медведев, Е.Н. Созинова к.т.н.**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,  
факультет «Институт комплексного военного образования»,  
кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,  
Санкт-Петербург, a.medvedev.spb@mail.ru, s.ekaterina-nik@mail.ru

## **ПРАВОВЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*В статье описывается проблематика проведения аудита информационной безопасности и рассматриваются правовые и методологические основы аудита информационной безопасности.*

Ключевые слова: *информационная безопасность, аудит, управление информационной безопасностью.*

Термин «аудит информационной безопасности» достаточно «новый» в нашей стране. В последние десятилетия резко увеличилось количество исследований и разработок в данной области. Как правило, при исследованиях ориентир идет на зарубежные методы и стандарты. С одной стороны, это в какой-то степени и правильно, так как они в данной области ведут исследования уже очень долгое время и имеют определенный теоретический и практический опыт. Но с другой стороны, наша страна является уникальной и неповторимой, соответственно наши цели, задачи и функции немножко отличаются от зарубежных. При использовании иностранных стандартов и методов их необходимо не только перевести на русский язык, но еще и адаптировать к нашим условиям.

В настоящее время в стране отсутствует единая система взглядов на государственное регулирование процессов аудита информационной безопасности организаций. Федеральный закон "Об аудиторской деятельности" от 30.12.2008 N 307-ФЗ (редакция от 23.07.2013), рассматривает аудит только как независимую проверку бухгалтерской (финансовой) отчетности аудируемого лица с целью выражения мнения о достоверности такой отчетности. В нем нет ни слова про аудит информационной безопасности. Существующие стандарты и методические рекомендации узконаправленные и затрагивают либо банковскую сферу, либо вопросы персональных данных.

В сфере информационной безопасности до сих пор не сформировалась единая и общепризнанная терминология. В настоящее время специалистами используется большое количество достаточно разных определений одних и тех же терминов. Соответственно, и термин аудит информационной безопасности понимается по-разному, в зависимости от контекста и области применения. На данный момент, нет общепринятых и утвержденных методов проведения аудита информационной безопасности организаций. Для банковских организаций, государственных и стратегических объектов существуют методики проведения аудита информационной безопасности. Но они являются узконаправленными и «закрытыми» для общего пользования.

Так же, в сфере информационной безопасности, в частности, в направлении аудит информационной безопасности нет систематизации. Очень большая путаница в классификации, видах, типах и способах проведения аудита информационной безопасности. Без четкой и научно-обоснованной систематизации невозможно развивать это направление. Практически нет «свежих» учебных пособий. Основная масса учебных пособий является устаревшими, а качество свежих изданных, практически не контролируется.

В мире существует не так много прямых законодательных требований в области информационной безопасности и аудита информационной безопасности. Однако, в большинстве стран действуют отраслевые регулятивные нормы, предписывающие внедрение

мер по обеспечению безопасности и разработаны руководством для осуществления контроля эффективности этих мер. Некоторые из них являются нормативами прямого действия, как, например, в отраслях с высоким уровнем регулирования по всему миру, в частности, в сфере оказания финансовых услуг (включая банковские операции); другие возникают как результат требований к обеспечению защиты персональных данных клиентов, сотрудников и других заинтересованных в деятельности организаций лиц. Существует огромное количество стандартов в области информационных технологий и безопасности, одни из них — отраслевые, другие — общие.

В Российской Федерации не определена правовая база аудита в сфере информационной безопасности. Нет ни одного нормативно-правового акта, который бы не только регулировал отношения в данной сфере, но хотя бы определял базовые понятия в области аудита информационной безопасности, как это сделано для аудита финансовой отчетности. В то же время, в связи с объективно складывающимися потребностями и, как следствие, с широким распространением аудита информационной безопасности за рубежом и использованием аудита информационной безопасности в практической деятельности международных аудиторских компаний на территории Российской Федерации подобное положение нельзя признать нормальным. Несмотря на отсутствие закона об аудите ИБ, эта деятельность достаточно жестко регламентируется.

Для этого предусмотрено две принципиальных группы документов, регулирующих аудиторскую деятельность:

- законодательные акты государства;
- документы, определяющие основополагающие принципы и приемы аудиторской деятельности, морально-этические нормы.

Правовую основу для обеспечения и проведения аудита информационной безопасности организаций составляют: Конституция РФ, ГК РФ, УК РФ, Доктрина информационной безопасности РФ, концепция национальной безопасности РФ, законы и другие правовые и нормативные акты, призванные обеспечить информационную безопасность Российской Федерации на всех уровнях и направлениях.

Например:

- Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения.
- Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 53114-2008 Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения.
- Менеджмент инцидентов информационной безопасности.
- Кодекс профессиональной этики аудиторов от 22.03.12 г.
- Международный стандарт ISO/IEC 27005:2008. Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Управление рисками информационной безопасности.
- Международный стандарт ISO/IEC 27006:2007. Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Требования к органам аудита и сертификации систем управления информационной безопасностью.
- Международный стандарт аудита (МСА) 200 / Сборник Международных стандартов аудита, выражения уверенности и этики.
- Рекомендации в области стандартизации Банка России РС БР ИББС-2.2-2009 "Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Методика оценки рисков нарушения информационной безопасности" N Р-1190 от 11.11.09 г.
- Стандарт Банка России. СТО БР ИББС-1.1-2007. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Аудит информационной безопасности, от 01.05.2007 г.

Аудит информационной безопасности является сегодня одним из наиболее эффективных инструментов для получения независимой и объективной оценки защищенности организаций от угроз и рисков ИБ и оценки уровня обеспечения ИБ организаций. Результаты

аудита должны использоваться для формирования стратегии развития системы защиты информации в организации и для повышения общего уровня ИБ организаций.

Проведение аудита информационной безопасности - это очень новое и до конца не исследованное направление. В настоящее время данная услуга становится все более востребованной на рынке услуг информационной сферы. Необходимо помнить, что аудит ИБ не является однократной процедурой, а должен проводиться на регулярной основе. Только в этом случае аудит будет приносить реальную пользу и способствовать повышению уровня информационной безопасности организаций.

#### **Список литературы**

1. Жигулин Г.П., Созинова Е.Н. Метод прогнозирования в области информационной безопасности / Г.П. Жигулин, Е.Н. Созинова // В мире научных открытий. – 2012. - №8.1. – С. 60-71.
2. Созинова Е.Н. Аудит, как способ обеспечения информационной безопасности организаций / Е.Н. Созинова // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур. Межвузовский сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. - СПб: НИУ ИТМО. – 2013. – С. 74-77.
3. Международный стандарт аудита (МСА) 200 / Сборник Международных стандартов аудита, выражения уверенности и этики. Алматы, 2007. 1260 с.
4. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации. Указ президента РФ №1895 от 09.09.2000 г. // Российская газета. - 2000.
5. Аудит информационной безопасности предприятий и систем. Учебное пособие. Московская академия комплексной безопасности, Тульский филиал. Тула, 2008.
6. Международный стандарт аудита (МСА) 200 / Сборник Международных стандартов аудита, выражения уверенности и этики. Алматы, 2007. 1260 с.
7. Руденко И.В. Уровень существенности в аудите // Аудиторские ведомости. - 2009. - №12.
8. Федеральный закон Российской Федерации «Об аудиторской деятельности» № 307-ФЗ от 30.12.2008 г. // Российская газета. - 2008.
9. Сайт - База ГОСТов РФ [Электронный ресурс]. URL:<http://gostexpert.ru/>

05.00.00

**А.В. Мигачев**Самарский государственный технический университет,  
г. Самара, atri@inbox.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ  
ГАЗА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

*В работе проведено экспериментальное исследование статических и динамических характеристик аппарата воздушного охлаждения газа компрессорных станций магистральных газопроводов. На основе аппроксимации переходных характеристик объекта управления получено математическое описание в форме передаточных функций. Определены параметры модели, дана оценка погрешности аппроксимации.*

Ключевые слова: *аппарат воздушного охлаждения газа, модель объекта управления, переходные характеристики.*

Перспективным методом повышения энергетической эффективности и надежности функционирования установок охлаждения газа компрессорных станций магистральных газопроводов является использование систем автоматического управления (САУ) температурой газа с использованием частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) [1] – [3].

Для последующего проведения синтеза САУ и обоснования рациональных областей применения разрабатываемой системы одной из важнейших первоочередных задач является разработка математической модели объекта управления (ОУ) [4]. При разработке САУ аппаратами воздушного охлаждения газа в качестве объекта управления рассматривается обобщенный объект, включающий аэродинамические процессы и процессы теплообмена в АВО [2]. Выходной регулируемой переменной ОУ является температура газа  $\theta_{\text{вых}}$  на выходе АВО.

Температура газа на выходе АВО и ее приращение зависят от температуры газа на входе теплообменника, температуры наружного воздуха, расхода газа через теплообменник, скорости или расхода воздуха, создаваемых вентиляторами, влажности воздуха и ряда других менее значимых факторов. Частота вращения вентиляторов является регулирующим воздействием на объект, причем, как показано в [2], [3], скорость и расход охлаждающего воздуха приближенно линейно связаны с частотой  $n$  вращения вентиляторов.

Изменение регулирующего воздействия на объект осуществляется с помощью ЧРП, путем изменения частоты  $f$  и напряжения  $U$  на статоре электродвигателя.

Экспериментальные исследования проведены для аппаратов воздушного охлаждения газа типа 2АВГ – 75, с ЧРП вентиляторов на основе преобразователей частоты «АВВ АС550». Температура наружного воздуха во время экспериментов составляла  $3,5^{\circ}\text{C}$ , расход газа через АВО  $222000\text{ м}^3/\text{час}$ . Температура газа на входе и выходе АВО измерялась с помощью датчиков (термопреобразователей с унифицированным выходным сигналом) Метран-270, установленных во входном и выходном коллекторах АВО. При проведении экспериментов создавалось ступенчатое изменение задающего сигнала на входе ЧРП и фиксировались показания датчиков температуры на входе и выходе АВО. Один из графиков переходных процессов, полученный при ступенчатом изменении уставки частоты  $f$  ЧРП с 20Гц на 30Гц, приведен на рис. 1.

Задача заключается в определении параметров объекта по экспериментально полученным переходным процессам.

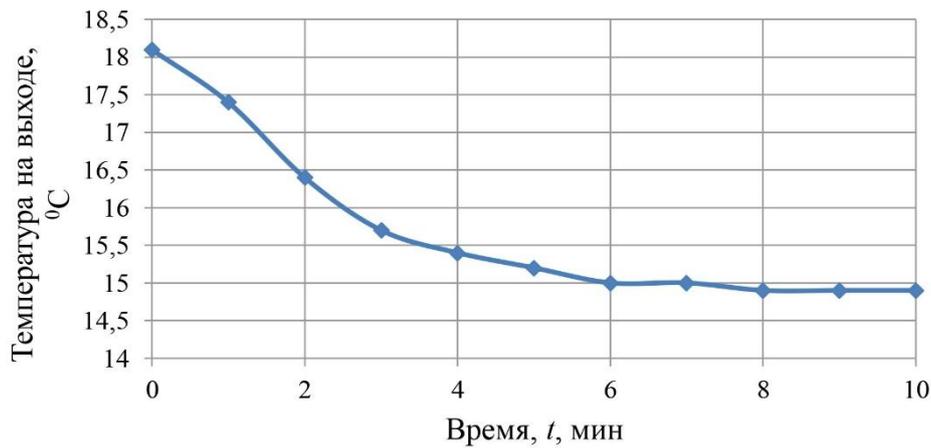


Рис. 1– Переходный процесс при изменении уставки частоты  $f$  с 20Гц на 30Гц

В структурную схему звеньев цепи (рис. 2) по снятию динамических характеристик входит ЧРП, собственно объект управления и датчик температуры.

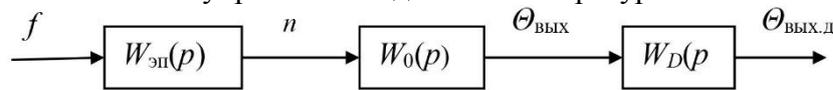


Рис. 2– Структурная схема

Динамические свойства электропривода, как показывают результаты анализа, можно приближенно описать передаточной функцией (ПФ) аperiodического звена

$$W_E(p) = \frac{\Delta n(p)}{\Delta f(p)} = \frac{k_E}{T_E p + 1},$$

где  $\Delta n$  - приращение частоты вращения электродвигателей вентиляторов;

$\Delta f$  - приращение уставки частоты ЧРП;  $p$  - оператор Лапласа;  $k_E$  и  $T_E$  - коэффициент передачи и постоянная времени ЧРП.

Постоянная времени  $T_E$  почти на 2 порядка меньше постоянной времени объекта. В связи с этим далее инерционность электропривода не учитывалась, т.е. считалось, что при подаче ступенчатого воздействия на вход электропривода (изменения уставки частоты  $f$ ) на вход исследуемого объекта поступает ступенчатый сигнал.

Датчик температуры газа на выходе АВО имеет определенную инерционность. По данным ряда исследований динамические свойства датчика температуры могут быть описаны ПФ аperiodического звена

$$W_D(p) = \frac{\Delta \theta_{\text{вых.д}}(p)}{\Delta \theta_{\text{вых}}(p)} = \frac{k_D}{T_D p + 1},$$

где  $\theta_{\text{вых.д}}$ ,  $\theta_{\text{вых}}$  – сигнал на выходе датчика температуры (имеет размерность температуры и соответственно  $k_D = 1$ ) и температура на выходе АВО, соответственно.

Постоянная времени датчика по литературным данным составляет примерно  $T_D \approx 20\text{с}$ .

При последующем анализе было принято, что передаточная функция объекта совместно с электроприводом описывается выражением

$$W_o(p) = \frac{\Delta \theta_{\text{вых}}(p)}{\Delta f(p)} = - \frac{k_o}{(T_o p + 1)}.$$

Знак минус в последнем выражении отражает то обстоятельство, что положительному приращению частоты вращения двигателей вентиляторов соответствует отрицательное приращение температуры газа на выходе АВО.

Таким образом, эквивалентная ПФ цепи, показанной на рис. 2, имеет вид

$$W_3(p) = \frac{\Delta \theta_{\text{вых.д}}(p)}{\Delta f(p)} = - \frac{k_o}{(T_o p + 1)(T_D p + 1)}. \tag{1}$$

Определение коэффициента передачи объекта не вызывает затруднений:

$$k_0 = \frac{\Delta\theta_{\text{вых.д.уст}}}{\Delta f},$$

$$\Delta\theta_{\text{вых.д.уст}} = \theta_{\text{вых.д.уст}} - \theta_{\text{вых.д.0}},$$

где  $\theta_{\text{вых.д.уст}}$  и  $\theta_{\text{вых.д.0}}$  - установившееся значение выходного сигнала датчика и значение сигнала в начальный момент времени переходного процесса.

Для последующего анализа экспериментальных данных целесообразно принять нулевые начальные условия - рассматривать приращение переменных

$$\Delta\theta_{\text{вых.д}} = \theta_{\text{вых.д}} - \theta_{\text{вых.д.0}}$$

и использовать нормированное значение приращения выходного сигнала датчика, определив его в виде

$$h = \frac{\Delta\theta_{\text{вых.д}}}{\Delta\theta_{\text{вых.д.уст}}}.$$

Аналитическое выражение для переходного процесса при нулевых начальных условиях - переходной функции объекта, имеющего передаточную функцию (1), для положительного приращения частоты  $f$  будет [5]:

$$h_a(t) = - \left[ 1 - \frac{T_0}{T_0 - T_D} \exp(-t/T_0) + \frac{T_D}{T_0 - T_D} \exp(-t/T_D) \right]. \quad (2)$$

Задача сводится к определению  $T_0$  по экспериментально полученной переходной характеристике  $h_3(t)$ . При обработке экспериментальных данных учитывалось, что постоянная времени датчика температуры  $T_D$  априори известна. Для определения постоянной времени объекта экспериментальные данные, полученные для переходных характеристик, аппроксимировались экспоненциальной функцией с использованием электронных таблиц MS Excel. Аппроксимирующее выражение для экспоненциальной функции в MS Excel имеет вид

$$y = a * \exp(bx). \quad (3)$$

В связи с этим экспериментальные нормированные значения переходной характеристики были преобразованы к аналогичному виду с использованием выражения

$$h_3^*(t) = 1 - |h_3(t)|.$$

Преобразованная переходная характеристика  $h_3^*(t)$  для переходного процесса, показанного на рис. 1, приведена на рис. 3. При ее построении начальный участок характеристики не учитывался, поскольку по данным предварительного анализа, известно, что постоянная времени объекта  $T_0$  на порядок больше  $T_D$ , а при таком соотношении постоянных времени вид переходной характеристики на конечном участке определяется значением большей постоянной времени [5].

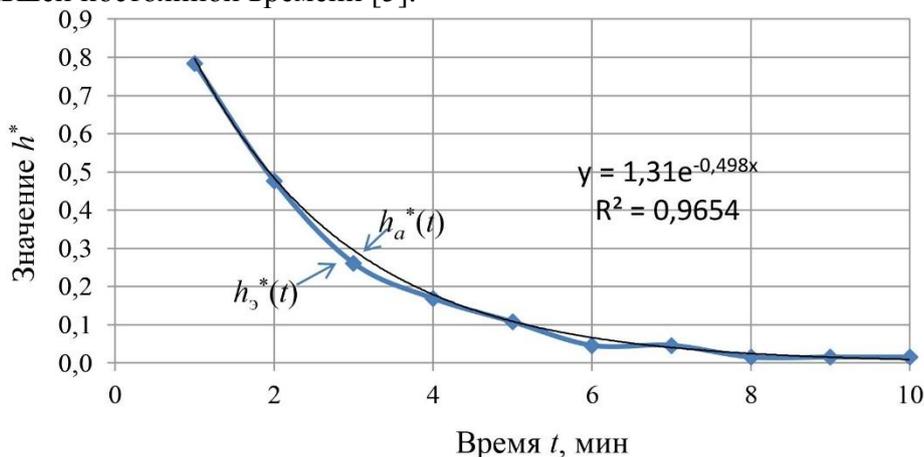


Рис. 3- Преобразованная переходная характеристика

На этом же рисунке показана аппроксимирующая экспоненциальная кривая  $h_a^*(t)$ , а также значения параметров  $a$  и  $b$ , входящих в выражение (3), и коэффициент детерминации  $R^2$ , характеризующих тесноту связи переменных. Согласно шкале Чеддока, значения  $R^2 = 0,7 \dots 0,9$  соответствуют высокому уровню связи,  $R^2 = 0,90 \dots 0,99$  - весьма высокому.

На основании полученных данных аппроксимации вычислено значение постоянной времени  $T_0 = -\frac{1}{b} = \frac{1}{0.498} = 2.01$  мин.

На заключительном этапе экспериментальная переходная характеристика сравнивалась с рассчитанной по выражению (2) учетом найденного значения  $T_0$  и известного значения постоянной времени  $T_D$ . Результаты обработки 8 реализаций переходных характеристик по описанной методике показывают, что наибольшие отклонения аппроксимирующих зависимостей от экспериментальных в основном не превышают 10%, при этом среднее значение коэффициента передачи объекта управления составляет  $k_o = 0.26 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{ГЦ}^{\circ}\text{a}$

постоянной времени  $T_0 = 2$  мин. Следует отметить, что приведенные значения параметров объекта определены для конкретных, указанных выше условий. Изменение внешних условий и технологических факторов ведет к вариациям параметров объекта управления.

**Выводы.** Исследованы динамические свойства аппарата воздушного охлаждения газа как объекта управления и показана возможность их описания передаточной функцией апериодического звена с экспериментально определенными параметрами.

#### *Список литературы*

1. Шварц Г.Р. Применение регулируемого электропривода в технологиях транспорта нефти и газа / Г.Р. Шварц, А.М. Абакумов, Л.А. Мигачева, Ф.Н. Рассказов, П.К. Кузнецов // Книга 1. М.: Машиностроение-1, 2008. – 240 с.
2. Абакумов А.М. Исследование системы автоматического управления температурой газа на выходе аппаратов воздушного охлаждения / А.М. Абакумов, С.В. Алимов, Л.А. Мигачева, А.В. Мигачев // Известия вузов. Электромеханика. №5 - 2014. С. 68 - 71.
3. Алимов С.В. Моделирование установившихся процессов теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения газа / С. В. Алимов, И. А. Данилушкин, В. Н. Мосин // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. «Технические науки». –2010 – № 2 (26). – С. 178–186.
4. Методы классической и современной теории автоматического управления: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 616 с.
5. Дехтяренко П.И. Определение характеристик звеньев систем автоматического регулирования / П.И. Дехтяренко, В.П. Коваленко //М.: Энергия, 1973. – 118 с.

05.11.16

**М.Н. Морозова, В.А. Соловьев**

Пензенский государственный университет, факультет приборостроения, информационных технологий и электроники, кафедра «Приборостроение»

### **ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА**

*В статье рассматривается информационно-измерительная колориметрическая система, построенная на принципах искусственных нейронных сетей, измеряющая координаты цвета в системе XYZ. Приведена структура искусственной нейронной сети, а также структурная и оптическая схемы разрабатываемой системы.*

**Ключевые слова:** *информационно-измерительная колориметрическая система, искусственная нейронная сеть, синаптические коэффициенты, обучение.*

В ходе проведенного анализа методов и средств измерения цвета сделан вывод, что наиболее перспективными являются колориметры интегрального типа. Однако погрешность измерения координат цвета XYZ в приборах данного типа определяется, в основном, точностью воспроизведения относительной спектральной чувствительности измерительных каналов под функции сложения цветов стандартного наблюдателя. Отклонения относительной спектральной чувствительности измерительных каналов от функций сложения цветов стандартного наблюдателя настолько велики, что подавляющее большинство приборов работает в режиме компарирования, например, приборы фирмы Konica Minolta.

В статье рассматривается информационно-измерительная колориметрическая система, функционирующая в режиме прямых измерений, при построении которой применялись принципы построения искусственных нейронных сетей, что стало возможным с появлением многоэлементных фотоприемников с цифровым выходом.

Нейронная сеть информационно-измерительной колориметрической системы представляет собой совокупность однослойной (измерительные каналы Y и Z) и двухслойной (измерительный канал X) сетей. Различия в структуре каналов объясняются особенностями спектральных характеристик чувствительности измерительных каналов системы, в которой чувствительность измерительного канала X имеет два экстремума, формируемыми нейронами 1 и 2 (рисунок 1). Сигналы с аксонов (выходов нейронов) 3, 4, 5 соответствуют координатам цвета X, Y, Z. Нейроны связаны с множеством фотоприемников  $j=1\dots m$  синаптическими связями  $\omega_{xmj}$ ,  $\omega_{xbj}$ ,  $\omega_{yj}$ ,  $\omega_{zj}$ . Перед многоэлементными фотоприемниками установлены светофильтры с коэффициентами пропускания  $T_{x_{aj}}(\lambda_i)$ ,  $T_{x_{ij}}(\lambda_i)$ ,  $T_{y_j}(\lambda_i)$ ,  $T_{z_j}(\lambda_i)$ . В предлагаемой структуре вклад в координаты цвета X, Y, Z дает не один фотоприемник, а множество, с необходимыми величинами синаптических связей [1].

Исходя из приведенной структуры связей информационно-измерительной колориметрической системы, координаты цвета будут определяться выражениями [2]:

$$\begin{aligned}
 X &= \omega_{x1} \left[ \sum_{j=1}^m \omega_{x_{ij}} \left[ \sum_{i=1}^n K_{x_{ij}} \tau(\lambda_i) \varphi_p(\lambda_i) S_{x_{ij}}(\lambda_i) T_{x_{ij}}(\lambda_i) \Delta\lambda \right] \right] + \omega_{x2} \left[ \sum_{j=1}^m \omega_{x_{aj}} \left[ \sum_{i=1}^n K_{x_{aj}} \tau(\lambda_i) \varphi_p(\lambda_i) S_{x_{aj}}(\lambda_i) T_{x_{aj}}(\lambda_i) \Delta\lambda \right] \right]; \\
 Y &= \sum_{j=1}^m \omega_{y_j} \left[ \sum_{i=1}^n K_{y_j} \tau(\lambda_i) \varphi_p(\lambda_i) S_{y_j}(\lambda_i) T_{y_j}(\lambda_i) \Delta\lambda \right]; \\
 Z &= \sum_{j=1}^m \omega_{z_j} \left[ \sum_{i=1}^n K_{z_j} \tau(\lambda_i) \varphi_p(\lambda_i) S_{z_j}(\lambda_i) T_{z_j}(\lambda_i) \Delta\lambda \right].
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $K_X$ ,  $K_Y$ ,  $K_Z$  – коэффициенты передачи по каналам измерения X, Y, Z (устанавливаются при калибровке прибора по образцу с известными координатами цвета);  $\varphi_p(\lambda_i)$  – относительное спектральное распределение потока излучения реального источника установленного в приборе;  $S_X(\lambda)$ ,  $S_Y(\lambda)$ ,  $S_Z(\lambda)$  – относительная спектральная

чувствительность фотоприемников по соответствующим каналам измерения;  $T_X(\lambda)$ ,  $T_Y(\lambda)$ ,  $T_Z(\lambda)$  – спектральный коэффициент пропускания корректирующих фильтров по соответствующим каналам измерения;  $\omega_{xmj}$ ,  $\omega_{xbj}$ ,  $\omega_{yj}$ ,  $\omega_{zj}$  – синаптические коэффициенты;  $\tau(\lambda)$  – спектральный коэффициент пропускания измеряемого образца;  $\lambda$  – длина волны, нм.

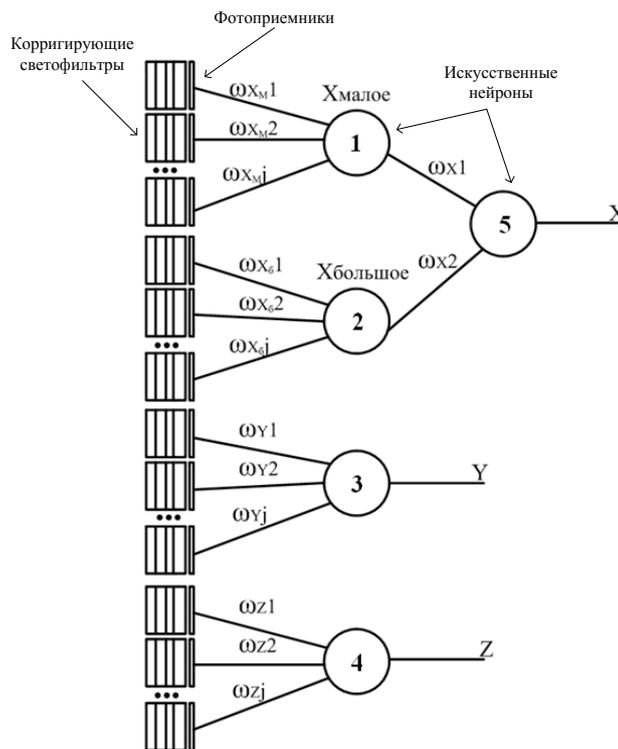


Рис. 1 - Структурная схема информационно-измерительной колориметрической системы

На стадии проектирования информационно-измерительной колориметрической системы вычисляются параметры корректирующих светофильтров и величины синаптических коэффициентов, используя справочные данные для источника и приемника излучения, а также на спектральные коэффициенты поглощения цветных стекол [3].

На стадии производства и эксплуатации обучение системы должно проводиться на ограниченном количестве эталонных мер цвета при реальных характеристиках источника излучения, корректирующих светофильтров и фотоприемной линейки установленных в системе. В процессе обучения вычисляются четыре ряда значений синаптических коэффициентов, которые обеспечивают измерение координат цвета при любом из стандартных источников излучения А, В, С, D<sub>65</sub> соответственно.

Информационно-измерительная колориметрическая система реализована на фотодиодной линейке, микроконтроллере и жидкокристаллическом индикаторе.

Структурная схема системы приведена на рисунке 2. Исследуемое излучение, пройдя корректирующие светофильтры, попадает на фотодиодную линейку S8377, которая имеет в своем составе коммутатор, усилитель схему синхронизации и сдвиговый регистр. Аналоговые сигналы с выхода Video фотодиодной линейки преобразовываются АЦП в 14 – разрядный код и подаются в микроконтроллер, который управляет процессом последовательного вывода сигналов с каждого из 128 элемента фотодиодной линейки и их ввода в микроконтроллер.

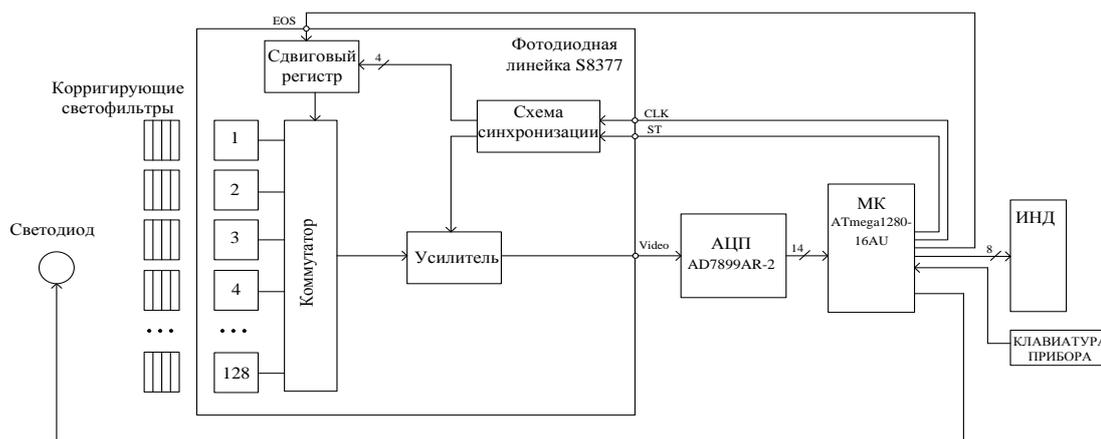


Рис. 2 - Структурная схема информационно-измерительной колориметрической системы

Оптическая схема информационно-измерительной колориметрической системы приведена на рис. 3. Оптическая схема обеспечивает одну из стандартных геометрий освещения и наблюдения  $d/8^0$ , при измерении отражающих образцов. Светодиод 2, установленный в фотометрической сфере 1, работает в импульсном режиме с большой скважностью, что позволяет получить большой уровень освещенности в сфере. Отраженное от измеряемого образца 3 излучение при помощи объектива 7 направляется на диафрагму 9, расположенную в плоскости изображения образца, и далее на цилиндрическую линзу 10, в фокальной плоскости которой расположены 64 элемента фотодиодной линейки 12, образующих измерительные каналы. Перед фотодиодной линейкой установлены корректирующие светофильтры 11. Аналогичным образом формируются 64 сравнительных канала, а на фотодиодную линейку попадает отраженное излучение от части фотометрической сферы.

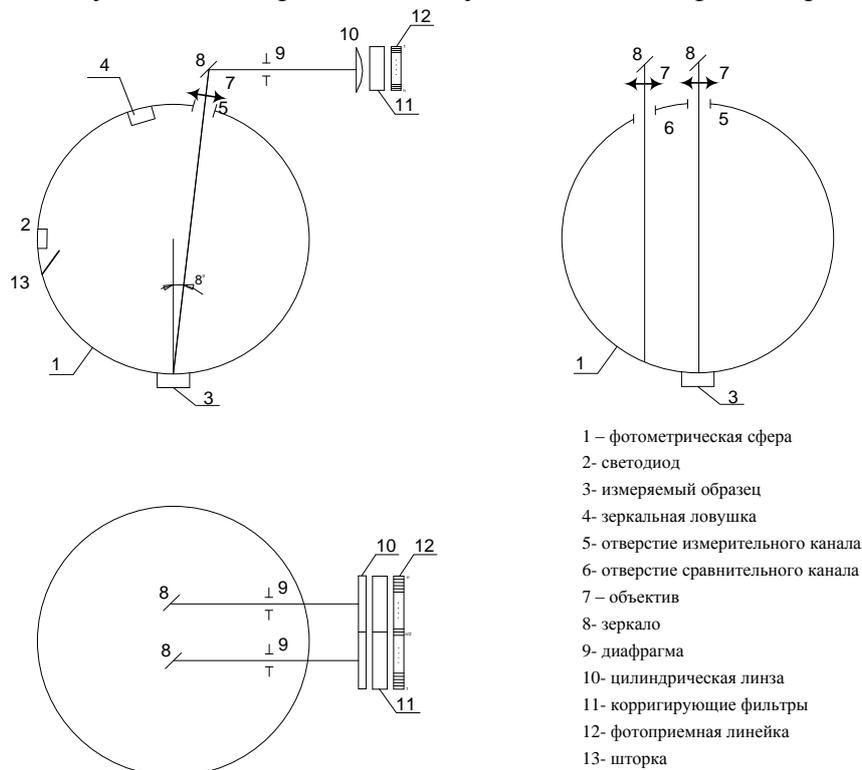


Рис. 3 - Оптическая схема информационно-измерительной колориметрической системы

Исследования метрологических характеристик информационно-измерительной колориметрической системы проводились с использованием эталонных мер цвета. В таблице 1 приведены погрешности измерения координат цвета в системе координат XYZ и цветовых различий  $\Delta E$  в равноконтрастной системе координат CIE Lab, рекомендованной МКО.

Таблица 1 – Погрешность измерения координат цвет эталонных мер цвета в системе координат XYZ и цветовые различия ΔE в системе координат CIE Lab

Тип стандартного источника	Координата цвета	Типы эталонных мер цвета											
		39-2-79		39-7-79		39-15-79		39-16-79		39-18-79		39-21-79	
		Погр. изм	ΔE	Погр. изм	ΔE	Погр. изм	ΔE	Погр. изм	ΔE	Погр. изм	ΔE	Погр. изм	ΔE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	X	0,002	0,282	-0,003	0,460	0,049	0,340	-0,001	0,302	-0,002	0,504	0,023	0,189
	Y	0,051		0,245		0,154		0,023		0,07		0,327	
	Z	-0,001		0,041		-0,032		-0,091		-0,081		0,086	
B	X	0,003	0,167	0,019	0,309	0,019	0,405	0,01	0,064	0,013	0,158	-0,018	0,569
	Y	-0,029		-0,151		-0,148		-0,003		0,041		-0,032	
	Z	-0,023		-0,107		-0,089		0,005		0,018		-0,04	
C	X	-0,024	0,414	-0,153	0,672	-0,029	0,576	0,006	0,599	-0,03	0,558	-0,101	0,348
	Y	-0,085		-0,436		-0,227		-0,086		-0,103		-0,269	
	Z	0,052		0,168		0,24		0,326		0,275		0,016	
D <sub>65</sub>	X	-0,002	0,246	-0,009	0,373	0,047	0,282	-0,033	0,789	-0,065	0,940	0,014	0,210
	Y	0,044		0,18		0,169		0,128		0,142		0,091	
	Z	0,022		-0,019		0,12		0,236		0,254		0,068	

Таким образом, абсолютная погрешность измерения координат цвета ΔX, ΔY, ΔZ, не превысила 0,3. Рассчитанные цветовые различия ΔE в равноконтрастной системе координат Lab не превысили одной единицы. По принятой классификации, если ΔE ≤ 1, то цветовые различия в обычных условиях визуально неразличимы, и ИИКС может использоваться в режиме абсолютных измерений при стандартных источниках излучения A, B, C, D<sub>65</sub>.

**Список литературы**

1. В.А. Соловьев, М.Н. Морозова. Искусственные нейронные сети в цветовых измерениях// Измерительная техника.- 2012.- № 8- С. 43-48.
2. Патент № 2491521 РФ. Способ измерения цвета в произвольной системе координат// Морозова М.Н., Соловьев В.А. – Оpubл. 2013, Бюл. №24
3. Цветное оптическое стекло и особые стекла. Каталог. Под ред. Г.Т. Петровского, Москва, 1990.

05.23.19

**Х.Г. Мусин, Р.А. Газизов, Н.Ф. Гибадуллин**

Министерство лесного хозяйства Республики Татарстан, Казань

haris.musin@tatar.ru rusxat@mail.ru nursil.gibadullin@mail.ru

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ  
ОФОРМЛЕНИИ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ**

*В статье представлены экологические перспективы сохранения окружающей среды при оформлении краевого эффекта в рекреационных лесах. Приведены результаты ландшафтных рубок при оформлении краевого эффекта.*

Ключевые слова: *окружающая среда, экология лесов, краевой эффект; опушка, типы ландшафтов, ландшафтные рубки; строение насаждений.*

Актуальность проблемы.

Сохранение экологии окружающей среды, - задача, стоящая перед Правительством, регионами и муниципалитетами РФ. Частью выполнения этой задачи является сохранение и воспроизводство лесных массивов, вовлечение в эту работу населения страны. Однако проблемы в ухудшении экологии продолжают существовать. Одной из многих задач сохранения окружающей среды является оформление краевого эффекта в рекреационных лесах.

Край по В.И.Далю - начало и конец, предел, рубеж, грань, кромка, полоса, ближайшая к наружности [1]. Краевой эффект - тенденция к увеличению разнообразия и плотности организмов на окраине двух соседствующих биогеоценозов и переходных поясах между ними [7]. Ощущение опушки леса - психофизический процесс непосредственно чувственного отражения самих первых свойств леса, создающий усиливающую установку.

Чувственно - наглядное отражение пространственных свойств опушки леса (ее величины и формы, цвета и глубины, пространственной ориентацией), его восприятие посетителем леса характеризуется целым комплексом физических характеристик, и сохраняются надолго: первое впечатление от леса складывается именно от степени выраженности опушечного или краевого эффекта [5].

В пограничной зоне каждый вид (фауны и флоры) многочислен и его территория обитания занимает меньше места. Возможно это «влечение к жизни» подсознательно связано с более благоприятными условиями окружающей среды, обеспечивающие безопасность (открытое пространство), обилие пищи (скопление на ограниченной территории представителей флоры и фауны обеих сред) и зрелищность (обилие света, игра света и тени во все времена года и суток. В рекреационном лесу дополнительным фактором служит цветное оформление, при этом возникающая реакция рекреанта, его ощущения, эмоциональные переживания, в целом акт поведения, возникающий в ответ на определенные строения пограничных участков насаждений, характеризуется различной скоростью, интенсивностью и формой [4], сохраняется надолго в памяти и нередко формирует отношение человека к лесу.

Краевой эффект леса в научном плане обсуждается исключительно с точки зрения выращивания древесины - во главу угла всегда ставилась задача формирования высокопродуктивных лесов. Исследования в этом аспекте внутривидовой и межвидовой конкуренция деревьев, реакции древесного полога на тесноту и загущение [4] не затрагивают интересы рекреанта. Отсюда не подготовленность лесов, вовлеченных и вовлекаемых в рекреационное пользование. Отдельные поисковые работы [2,3,6] по облагораживанию лесов с окраин в ущерб древесной продуктивности не могли оказать существенное влияние на общую обстановку.

Результаты исследований.

Учитывая некоторую монотонность внешнего облика насаждений при въезде в основные места отдыха, отсутствие коренных древостоев, преобладание по границам

землепользований насаждений с низкими ландшафтными характеристиками рассматривалась возможность повысить рекреационные свойства пограничных участков леса созданием ступенчатых разновозрастных насаждений, где важнейшим элементом является ландшафтный дизайн и художественное конструирование строения насаждений. Для осуществления задуманного необходимы были такие участки леса, которые отвечали следующим требованиям:

- насаждение используется для отдыха населения или в краткосрочной перспективе будет вовлечено в повышенное рекреационное пользование;
- социально-эстетическая организация пространственной среды не нарушает сложившиеся общей структуры насаждений;
- разновозрастные простые насаждения потребуют длительные сроки их перестроения, поэтому не приемлемы;
- формирование краевого эффекта облегчается при наличии древостоев, различающихся по высотам минимально в 1 м;
- наивысшая точка психофизиологического удовольствия должна размещаться со стороны основного подъезда.

Участки леса, удовлетворяющие отмеченным требованиям, и в которых с минимальными затратами в короткие сроки выполнить весь цикл работ, подобраны вблизи автотрассы М-7. При этом потребовалось несколько видоизменить лесоводственные принципы и методы проведения известных в лесоводстве методов рубок, поскольку конечная цель их проведения отличается весьма существенно.

Лесоводственно-таксационная характеристика прилегающего к полю насаждения (опушка)- 4В 3Кл, 3Лп ед Б+Ос+Ив, А-25 лет, Нср- 17 м, Дср-20см, полнота - 0,9, класс бонитета - III, дубняк кленово-липовый, Д2, запас на 1 га - 90 м<sup>3</sup>/га. Из-за высокой полноты живой напочвенный покров развит слабо. Подрост и подлесок отсутствуют.

Площадь основного массива леса небольшой - 1,6 га. Она прямоугольной формы, имеет небольшой уклон в противоположную от опушки сторону. На месте бывших дубрав (сплошная рубка произведена в 1940 г.) сформировалось насаждение составом 6Лп1Д1В1Кл1Ос, Нср- 19 м, Дср-24,0 см; полнота - 0,7, класс бонитета - II, дубняк кленово-липовый, Д2, запас на 1 га - 190 м<sup>3</sup>/га. Подрост 7Лп3Кл, 13 лет, 737 шт/га, куртинный, благонадежный; в подлеске рябина, жимолость, шиповник, лещина (Нср 2 м), подлесок: Р.Чр,Лщ,Мл, средней густоты. Почва серая лесная среднесуглинистая. При оптимальном сочетании метеорологических условий она благоприятна для формирования высокопродуктивных насаждений широколиственной формации (содержание гумуса в горизонте А составляет 6,7 %). Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова основного массива удовлетворительны.

Дифференциация деревьев по высоте, диаметру, площади поперечного сечения на высоте 1,3 м, а также объему стволов, статистические характеристики рядов распределения древостоев опушки и основного массива подтверждают основные закономерности их развития. Распределение деревьев по классам роста Крафта основного массива составляет (%): I-го класса - 10,1 II - 27,3, III - 34,0, IV - 23,1 и V - 16. Коэффициенты варьирования диаметров - 45%, высот - 11, диаметров крон - 17, площадей поперечного сечения стволов на высоте 1,3 м - 69% и объемов стволов - 89%. Кривые распределения числа стволов по естественным ступеням толщины практически согласуется с аналогичной кривой обобщенного ряда по А. В. Тюрину: максимальное число стволов занимают ступени на 0,8, 0,9, 1,0 и составляют соответственно 16,8, 18,4 и 20,1% от общего, что свидетельствует о близком соответствии с теоретической кривой для нормальных насаждений одного возраста, не подвергавшихся воздействию лесохозяйственных мероприятий (рисунок 1). Ландшафтные характеристики обеих участков леса характеризовались невысокими показателями.

Формирование краевого эффекта начато с опушечного участка как вспомогательного звена к восприятию основного участка леса. Учитывая, что основным достоинством на

данном возрастном диапазоне опушки является единообразие насаждения, для ослабления внутривидовой конкуренции и недопущения дифференциации деревьев при отборе в рубку назначены экземпляры, отклоняющиеся от средних признаков.

В опушке за счет полной вырубki осины, березы и ивы, частичной - вяза и липы ( $45\text{ м}^3$ ) изменился состав древостоя до 5Лп 3Кл 2В+Ив, полнота насаждения снижена до 0,5. Интенсивность рубки по количеству деревьев составила 53%, по запасу-50%. Низкая полнота инициировала и в дальнейшем будет стимулировать разрастание крон деревьев и несколько сдерживать их линейный рост стволов. Одновременно она сопровождалась повышением показателей проходимости и просматриваемости участка. При ландшафтных рубках в опушке применены элементы комбинированного, в основном массиве - низового метода ухода. Они улучшили ряд лесоводственно-таксационных показателей древостоев

(рисунок 2).

Частичная обрубка сучьев стволов дуба и липы до высоты 1.3 м (заготовлено  $2,9\text{ м}^3$  неликвидного хвороста) прибавила дополнительные штрихи и тем и другим и создала заметный контраст с древостоем основного насаждения.

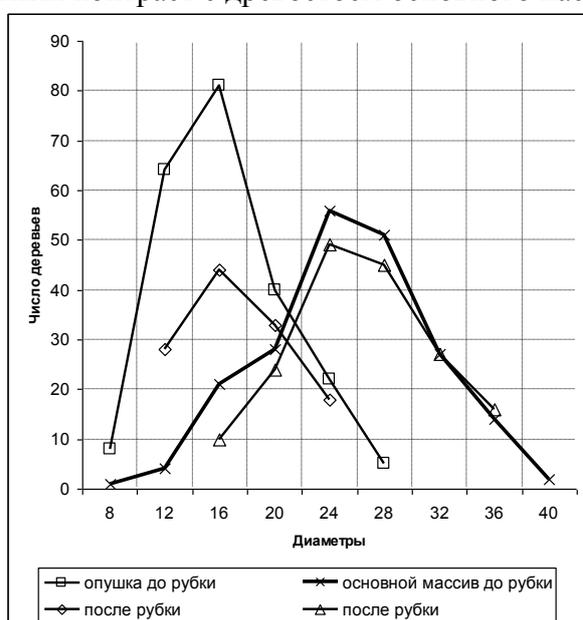


Рис. 1. Диаметры деревьев до и после рубки



Рис.2. Оформление краевого эффекта ландшафтными рубками

Разная интенсивность рубки в обоих участках с учетом ландшафтных характеристик деревьев обеспечила возрастание контраста по высоте и диаметрам как отдельных деревьев, так и насаждений в целом, а в опушечной части - и по показателям просматриваемости и проходимости, увеличили глубину обзора.

#### Выводы

1. Оформление краевого эффекта в рекреационных лесах положительно влияет на экологию окружающей среды.

2. Повысить рекреационные свойства пограничных участков леса возможно формированием ступенчатых разновозрастных насаждений ландшафтными рубками. Разная интенсивность рубки учетом ландшафтных характеристик деревьев обеспечивает контраст по высоте и диаметрам смежных участков, в опушечной части и по показателям просматриваемости и проходимости, увеличивающих глубину обзора.

При этом их специфика по интенсивности и отбору деревьев на доращивание в опушечном участке направлена на создание единообразия насаждения, а в основном массиве леса - на увеличение контрастности отдельных деревьев.

**Список литературы**

1. *Даль В.И.* Толковый словарь великорусского языка. - М.: Русский язык т.2. - 2002. - С.273.
2. *Габдрахимов К.М. Набиуллин Р.Б., Хайретдинов А.Ф.* Леса и лесоводы Башкортостана. – Уфа. БГАУ, 2010. – 334 с.
3. *Залесов С.В.* Ландшафтные рубки в лесопарках / А.Ф. Хайретдинов - Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. – 176 с.
4. *Маленко А.А.* Рост и продуктивность искусственных насаждений в ленточных борах Западной Сибири. Автореф. д.с.-х.н. Екатеринбург: 2012. - 41с.
5. *Мещерякова Б.Г.* Большой психологический словарь / Б. Г. Мещерякова, В. П. Зинченко. – М.: «Олма-Пресс», 2003. – 611 с.
6. *Мусин Х.Г., Хайретдинов А.Ф.* Экология и экономика рекреационного лесопользования. Казань: Казан.ун-т, 2010. -316 с.
7. Экологический энциклопедический словарь, М.: Изд. Дом «Ноосфера» - 1996. - 406с.

05.17.01

**О.Е. Нисина, М.А. Куликов**Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, o.nisina@mail.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА МАГНИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ**

*В статье рассмотрено использование различных видов магнийсодержащего сырья для приготовления раствора нитрата магния, применяемого в качестве кондиционирующей добавки для аммиачной селитры. Приведен химический состав образцов брусита, магнезита, периклазового порошка и растворов нитрата магния, полученных на их основе. Показано, что более предпочтительным видом сырья является магнезит.*

*Ключевые слова: магнийсодержащее сырье, сульфаты, силикаты, раствор нитрата магния.*

Для улучшения потребительских свойств аммиачной селитры используются различные добавки: магнезиальная добавка, сульфатная добавка и другие [1]. На отечественных предприятиях наибольшее распространение получила магнезиальная добавка, представляющая собой водный раствор нитрата магния. Добавка нитрата магния к аммиачной селитре снижает слеживаемость, повышает статическую прочность гранул и положительно влияет на термостабильность удобрений. Сырьем для приготовления магнезиальных растворов служат различные магнийсодержащие минералы. Способы получения технических растворов нитрата магния заключаются в выщелачивании магнезитовых руд азотной кислотой [2-4]. Известны способы получения раствора нитрата магния из серпентинита [5] и брусита [6]. В дальнейшем полученные растворы можно использовать, не только как кондиционирующую добавку для азотных удобрений, а также для получения гексагидрата нитрата магния реактивной квалификации [2,7,8].

Целью работы является оценка влияния состава магнийсодержащего сырья на качество раствора нитрата магния.

В качестве магнийсодержащего сырья использованы образцы брусита «Агромаг 100-300» и «Агромаг 0-300», магнезитовый порошок марки ПМК-87 и магнезитовый порошок ООО «Кефрон», а также периклазовый порошок. Химический состав образцов представлен в таблице 1.

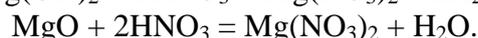
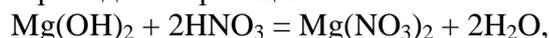
Таблица 1 – Химические показатели образцов магнийсодержащего сырья

Наименование показателей (в пересчете на сухое вещество)	Брусит молотый		Магнезит каустический		Перикла- зовый порошок
	Агромаг 100-300	Агромаг 0-300	ООО «Кефрон»	ПМК-87	
М.д. магния в пересчете на MgO, %	61,2	59,2	79,9	90,9	78,7
М.д. кальция в пересчете на CaO, %	2,8	2,8	3,8	1,1	3,7
М.д. железа в пересчете на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0,4	0,2	1,7	-	1,7
М.д. кремния в пересчете на SiO <sub>2</sub> , %	4,8	3,9	9,2	1,1	2,7
М.д. алюминия в пересчете на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0,3	0,3	1,1	-	0,5
М.д. сульфатов в пересчете на SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , %	отс.	отс.	отс.	отс.	0,2
Потери при прокаливании при 1000 °С, %	30,1	33,4	2,3	4,1	11,1

в том числе влажность, %	-	-	0,3	0,4	0,01
--------------------------	---	---	-----	-----	------

Сравнительный анализ данных табл. 1 показывает, что образцы брусита марки «Агромаг» значительно уступают образцам каустического магнезита по таким показателям, как содержание оксида магния и диоксида кремния, а также потери при прокаливании. Положительной стороной рассматриваемых образцов является отсутствие сульфатов. Порошок периклазовый по содержанию магния, кальция и железа практически соответствует образцу магнезита ООО «Кефрон», при этом содержание двуоксида кремния значительно меньше.

Приготовление раствора нитрата магния осуществляли взаимодействием магнийсодержащего сырья с 30 %-ной азотной кислотой при механическом перемешивании. Образование нитрата магния проходит по реакциям:



В зависимости от вида используемого сырья процесс проводился в течение 2-6 часов при обычной температуре. При этом было отмечено, что степень извлечения MgO из брусита примерно на 5 % меньше, чем из магнезита, что объясняется разными показателями по массовому содержанию основного вещества (MgO) в исходном сырье. Необходимая концентрация раствора нитрата магния и его pH (6,0-6,5) достигаются дозированной подачей сырья.

В связи с тем, что периклазовый порошок имеет более плотную кристаллическую структуру, условия его растворения в азотной кислоте были несколько изменены. Расчетное количество кислоты нагревали в термостойком сосуде до температуры 35-38 °С и дозировали порциями периклазовый порошок при интенсивном перемешивании, при этом температура раствора повышалась до 72-78°С. Эксперименты показали, что для получения раствора с pH 6,0-6,5 требуется избыток порошка от 10 % до 20 % от стехиометрии.

После растворения магнийсодержащего сырья раствор отстаивался в течение 24-40 часов для высаживания механических примесей и соединений кремния, которые затем отфильтровывали. Отфильтрованные растворы нитрата магния, полученные из брусита и периклазового порошка, имеют заметный желтый оттенок, из магнезита – практически бесцветны, усредненные аналитические показатели полученных растворов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Аналитические показатели растворов Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

Образцы	Показатели			
	м.д. Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , %	м.к. Fe, мг/дм <sup>3</sup>	м.к. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	м.к. SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>
Агромаг 100-300	32,9	0,11	отс.	61,7
Агромаг 0-300	33,4	0,14	отс.	53,5
Магнезит ООО «Кефрон»	35,7	-	отс.	12,5
ПМК-87	31,3	отс.	отс.	6,7
Периклазовый порошок	35,6	-	311	3,9

Лимитирующими показателями растворов нитрата магния, используемых в качестве модифицирующей добавки в производстве гранулированной аммиачной селитры, являются содержание сульфатов и силикатов. Их соединения в виде магниевых солей «высаливаются» из плава аммиачной селитры на стадии выпарки и осаждаются на стенках технологического оборудования, ухудшая процесс теплообмена, что влечет за собой остановки для промывки оборудования. Сульфаты в виде MgSO<sub>4</sub> легко отмываются паровым конденсатом, для промывки от силиката магния необходим специальный раствор, это приводит к дополнительным экономическим затратам.

В растворах нитрата магния, полученных из бруситового порошка, содержание силикатов достигает 61,7 мг/дм<sup>3</sup>, что значительно выше их содержания в растворах, приготовленных из магнезита (12,5 мг/дм<sup>3</sup>) и периклазового порошка (3,9 мг/дм<sup>3</sup>). Анализ растворов показал

отсутствие сульфатов в пробах, приготовленных из брусита и магнезита. В пробах из периклазового порошка содержание сульфатов составляет 311 мг/дм<sup>3</sup>, что значительно меньше регламентируемого значения (3200 мг/дм<sup>3</sup>). В процессе исследования были отмечены высокая слеживаемость бруситового сырья, а также увеличение времени фильтрации раствора нитрата магния вследствие высокой дисперсности шлама.

Оценивая результаты проведенных опытов можно сделать вывод, что наиболее качественным сырьем для приготовления магнезиальной добавки в производстве аммиачной селитры являются минералы магнезитовой группы.

#### **Список литературы**

1. Производство аммиачной селитры в агрегатах большой единичной мощности / М.Е. Иванов [и др.]. – М.: Химия, 1990. – 288 с.
2. Лановецкий С.В., Пойлов В.З., Косвинцев О.К. Технология получения гексагидрата нитрата магния реактивной квалификации // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 4. – С. 35 – 39.
3. Способ получения гексагидрата нитрата магния высокой чистоты из технического раствора нитрата магния: пат. 2285667 Рос. Федерация / В.З. Пойлов [и др.]. 2005100303/15; заявл. 11.01.2005; опубл. 20.10.2006. Бюлл. № 29. – 11 с.
4. Способ получения раствора нитрата магния: а.с. 1165633 СССР / Ю.М. Галкин [и др.]. № 365965/23-26; заявл. 02.11.1983; опубл. 07.07.1985. Бюлл. № 25. – 2 с.
5. Способ получения гексагидрата нитрата магния путем комплексной переработки серпентинита: пат. 2395457 Рос. Федерация / Н.Ф. Данилов [и др.]. 2008150607/15; заявл. 22.12.2008; опубл. 27.07.2010. Бюлл. №21. – 10 с.
6. Способ получения оксида магния: пат. 2513652 Рос. Федерация / Т.В. Бондарчук [и др.]. № 2012122273/05; заявл. 29.05.2012; опубл. 10.12.2013. Бюлл. № 34. – 8 с.
7. С.В. Лановецкий Исследование способов очистки технического раствора нитрата магния от примесей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 5. – С. 234 – 238.
9. Лановецкий С.В., Пойлов В.З., Косвинцев О.К. Влияние параметров кристаллизации на захват примесей кристаллами гексагидрата нитрата магния // Вестник Казанского технологического университета. – 2006. – № 3. – С. 81 – 85.

05.12.04

Е.А. Семенищев, И.В. Толстова, М.М. Письмескова

Донской государственной технической университет (филиал) институт сферы обслуживания и предпринимательства, Шахты, sea.sea@mail.ru

### ОБЪЕДИНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЕДИНУЮ КОМПОЗИЦИЮ С УЧЁТОМ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ НА СЦЕНЕ

В работе представлена математическая модель объединения изображений с учётом значимости объектов расположенных на них. Приведён алгоритм объединения пары изображений, различающихся масштабом и степенью освещённости, с учётом значимости объектов расположенных на единой сцене. На наборе тестовых изображений показана эффективность работы предложенного подхода.

Ключевые слова: Объединение изображений, сшивание, математическая модель объединения.

Современный мир наполнен большим количеством фото и видео камер, приспособленных для решения огромного спектра задач. Использование нескольких устройств фиксации позволяют расширить область охвата и построить относительные трёхмерные модели. Дальнейшее увеличение количества камер позволяет повысить качество изображения. Современные автоматизированные системы требуют комплексного подхода к обработке и анализу данных. Особое значение имеют изображения мозаики, позволяющие наблюдать непрерывную сцену, вместо просмотра разрозненных ее частей. Задача получения объединённых изображений является актуальной, поскольку необходимость совмещения возникает: в охранных системах, медицине, картографии, фотограмметрии, микробиологии, генетике, технологических процессах т.д. [1-4].

Решение задачи получения объединённого изображения, осложнено количеством и расположением объектов на изображении. Особо остро данная проблема возникает в случаях фиксации кадров полученных с различных точек. Также при фиксации без устройства позволяющего добиться стабилизации камеры, объекты могут получиться смазанными или повёрнутыми [4]. В случае объединения изображений, фиксируемых цифровыми микроскопами, на результат влияет выбираемое фокусное расстояние [3]. Большинство используемых на практике алгоритмов не являются универсальными и в ряде случаев требуют участие оператора при выборе параметров и перенастройке системы. Выполнение операций над изображениями разного масштаба, а также полученных с различных точек, в ряде случаев делает невозможным применение стандартных подходов. В связи, с чем разработка новых методов и алгоритмов объединения изображений в единую композицию является актуальной задачей.

Целью работы является разработка и исследование алгоритма объединения изображений, полученных с различных точек фиксации.

Для достижения поставленной цели в работе предложена математическая модель и алгоритм объединения изображений в единую композицию. На рисунке 1 представлено графическое представление задачи объединения изображений в единую композицию.

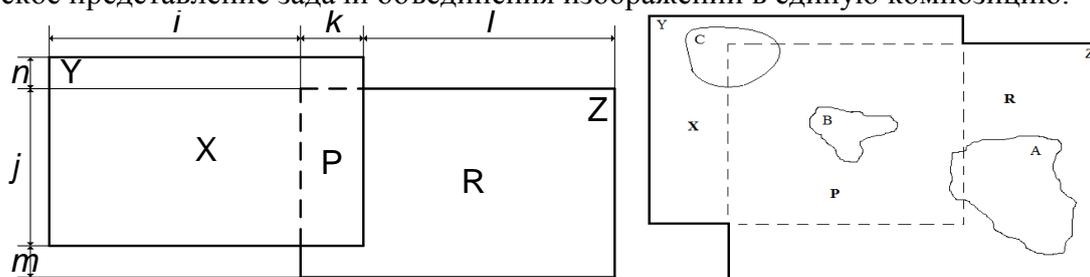


Рис. 1 - Графическое представление задачи объединения изображений (а – представление пары кадров; б – нахождение объектов на изображениях)

Упрощенная математическая модель результата объединения изображений представляется в виде (рисунок 1(а)):

$$S_{i+k+l,n+j+m} = X_{i+k,j+n} + \alpha P_{k,j+n+m} + R_{l+k,m+j}, \quad (1)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент смешивания областей;  $Y_{i+k,j+n} = X_{i+k,j+n} + P_{k,j+n}$  – первое изображение с областью объединения;  $Z_{k+l,j+m} = P_{k,j+m} + R_{l+k,m+j}$  – второе изображение с областью объединения;  $X_{i+k,j+n}$  – первое изображение;  $R_{l+k,m+j}$  – второе изображение;  $P_{k,j+n+m}$  – область объединения.

В большинстве случаев на фотографии можно выделить объекты ближней, средней и задней зоны. На рисунке 1 (б) представлен пример объединения изображений с объектами расположенными в различных зонах фиксации, обладающих разным приоритетом: ближней (А), средней (В) и дальней (С). Чаще всего объекты, расположенные в ближней зоне, являются главными и как следствие обладающих большим приоритетом. Также следует отметить, что объекты, находящиеся в дальней зоне, менее подвержены искажениям оптической системы камеры. Обозначим  $A(Z)_{ik_1, nj_1} + A(Y)_{k_1, j_1} = A$ ,  $B(Z)_{k_2, j_2} + B(Y)_{k_2, j_2} = B$  и  $C(Z)_{k_3, j_3} + C(Y)_{k_3, j_3} = C$ , где  $A \in S_{i+k+l, n+j+m}$ ,  $B \in S_{i+k+l, n+j+m}$ ,  $C \in S_{i+k+l, n+j+m}$ ,  $t, v$  – ширина и высота объекта фиксации. Согласно выражения (1) математическая модель объединения изображений с учётом объектной особенностей примет вид:

$$S_{i+k+l, n+j+m} = X_{i+k, j+n} \cup \beta \cdot C + \alpha \cdot P_{k, j+n+m} \cup \beta \cdot \delta \cdot B + R_{l+k, m+j} \cup \beta \cdot \gamma \cdot A \quad (2)$$

где:  $\beta$  – коэффициент компенсирующий тип искажений,  $\gamma, \delta$  – весовые коэффициенты задающие приоритет объектов.

Приведённый в выражении (2) коэффициент  $\beta$  может иметь как простой, так и составной характер, позволяющий подавление основных типов искажений. На рисунке 2 представлена блок схема алгоритма объединения изображений учитывающий наличие объектов расположенных в различных зонах.

Представленный на рисунке 2 алгоритм реализуется следующим образом: На первом шаге производится загрузка пары объединяемых изображений;

- На следующих этапах производится поиск объектов на изображениях и их разделение на зоны фиксации. В качестве детектора могут выступать: оператор, обученные нейронные сети, различные алгоритмы «умной» сегментации [5];

- На следующем этапе производится классификация объектов и определение его веса, для сохранения границ. Классификация также может быть осуществлена, оператором или обученной нейронной сетью [5].

- Параллельно предыдущему шагу выполняются операции поиска границ объектов на изображении, для данной работы был использован метод на основе алгоритма Канни [6]. Поиск ключевых точек осуществлён методом SURF [7], определение сопряжений между точек осуществляется на основе корреляционного анализа окрестностей вокруг базовых точек величиной  $9 \times 9$  пикселей, объединение производится совмещением ключевых точек. Также производится расчёт расхождения в положении базовых точек на изображении.

- На следующем этапе производится определение коэффициента преобразования изображений [8]. В качестве критерия выступает близость совпадения границ объектов с максимальным весовым коэффициентом.

- В случае появления двойных контуров на изображениях применяется метод поиска средней линии или один из алгоритмов восстановления размытия на изображениях.

- На заключительных этапах производится цветовая коррекция о поиск объединённого и яркости изображений. Анализ и подбор коэффициентов осуществляется на основе областей области перекрытия производится на основе границ объектов вокруг окрестностей базовых точек величиной  $9 \times 9$  пикселей [9]. После чего производится окончательное объединение изображений в единый контент и его запись.

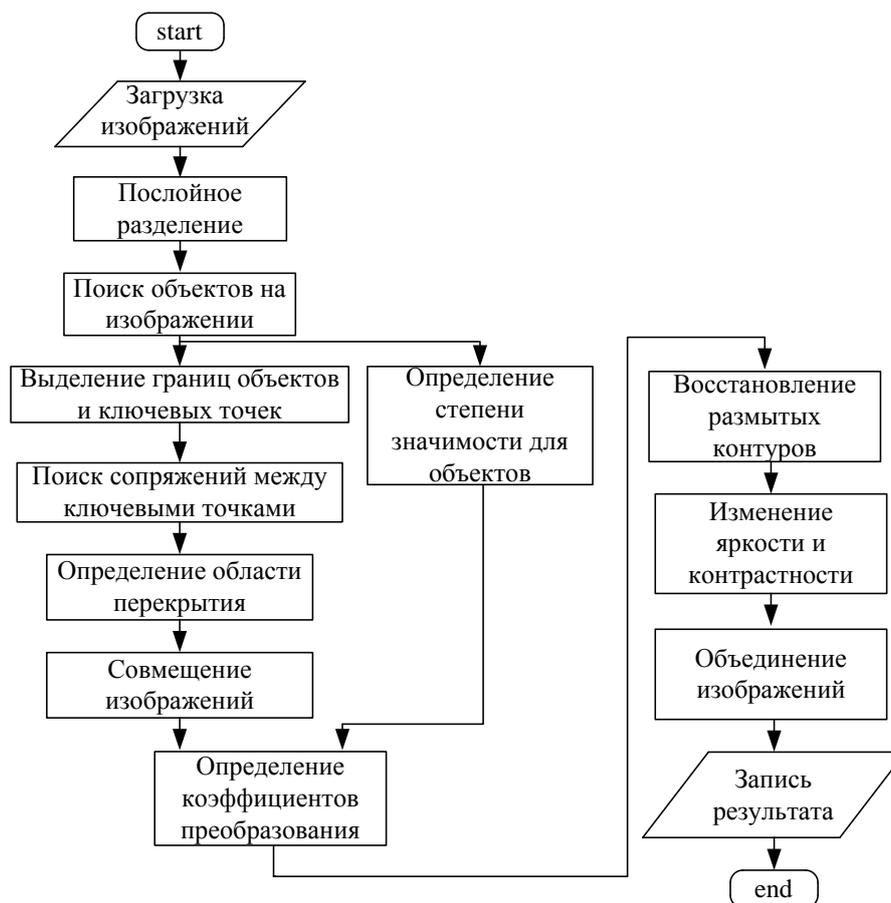


Рис. 2 - Блок схема алгоритма объединения изображений учитывающий наличие объектов расположенных в различных зонах

Пример объединения пары изображений представлен на рисунке 3.



Рис. 3 - Пример объединения изображений

В результате проведённых исследований получены следующие результаты:

- разработана математическая модель объединения изображений в единую композицию учитывающая наличие детализированных объектов на изображениях и искажения вызванные применением различных объективов, разницей в режимах съёмки.
- разработан алгоритм объединения изображений, полученных с различных точек фиксации, анализом особенностей объектов на них, с возможностью совмещения кадров отличающихся точкой расположения камеры, освещённостью сцены, контрастностью и масштабом в единую композицию. На наборе тестовых изображений показана эффективность объединения изображений.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № №15-07-08300\15 от 26.01.2015 г.**

**Список литературы**

1. *González R. C., Valdés R., Cancelas J. A.* Vision based measurement system to quantify straightness defect in steel sheets //Computer Analysis of Images and Patterns. – Springer Berlin Heidelberg, 2001. – С. 427-434.
2. *Jain D. K., Saxena G., Singh V. K.* Image Mosaicing Using Corner Techniques //Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2012 International Conference on. – IEEE, 2012. – С. 79-84.
3. *Ratha N. K., Govindaraju V. (ed.).* Advances in biometrics: sensors, algorithms and systems. – Springer Science & Business Media, 2007. – С. 360.
4. *Hasler D., Susstrunk S.E.* Color handling in panoramic photography //Photonics West 2001-Electronic Imaging. – International Society for Optics and Photonics, 2000. – С. 62-72.
5. *Szirányi T., Csapodi M.* Texture classification and segmentation by cellular neural networks using genetic learning //Computer Vision and Image Understanding. – 1998. – Т. 71. – №. 3. – С. 255-270.
6. *Canny J.*A computational approach to edge detection //Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. – 1986. – №. 6. – С. 679-698.
7. *Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L.* SURF: Speeded up robust features //Computer vision–ECCV 2006. – Springer Berlin Heidelberg, 2006. – С. 404-417.
8. *Semenishchev E. A. et al.* Stitching algorithm of the images acquired from different points of fixation //IS&T/SPIE Electronic Imaging. – International Society for Optics and Photonics, 2015. – С. 94040R-94040R-8.
9. *Semenishchev E. A. et al.* Investigation of methods to search for the boundaries on the image and their use on lung hardware of methods finding saliency map //SPIE Sensing Technology+ Applications. – International Society for Optics and Photonics, 2015. – С. 94970T-94970T-9.

05.13.19

**Е.Н. Созинова к.т.н., А.А. Медведев**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,  
факультет «Институт комплексного военного образования»,  
кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,  
Санкт-Петербург, s.ekaterina-nik@mail.ru a.medvedev.spb@mail.ru

### **АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ**

*В статье рассматривается важность и необходимость проведения аудита информационной безопасности, анализируются основные направления проведения аудита информационной безопасности.*

Ключевые слова: *информационная безопасность, аудит, управление информационной безопасностью.*

В настоящее время, в связи с массовым развитием информационных технологий, кардинально поменялась вся наша жизнь. Информация в нашей жизни стала играть очень важную и даже ключевую роль. Информационная сфера меняется гораздо быстрее, чем мы можем это осознать и проконтролировать. В нашу повседневную жизнь плотно вошли такие термины, как: информационные технологии, информационные ресурсы, информационная безопасность, информационный терроризм, информационная война, защита информации, информационные риски, угрозы информационной безопасности, аудит информационной безопасности и так далее. С одной стороны, эти термины кажутся нам очень знакомыми и понятными. С другой стороны, это термины, которые описывают совершенно для нас новую и еще не полностью изученную сферу – информационную.

До недавнего времени, изучением данной сферы занимались только специализированные государственные службы. Разработки и исследования были узконаправленными и велись под грифом «секретно» или с пометкой «только для служебного пользования». В настоящее время, в связи с массовым распространением информационных технологий, данная сфера стала интересна всем. Последние десятилетия резко увеличилось количество исследований в данном направлении. Исследованиями стали заниматься не только государственные структуры, но и частные организации. Обеспечение информационной безопасности - является одной из самых важных задач любой организации. И сейчас, в период нарастающей информатизации, глобализации и жёсткой конкуренции, этот вопрос становится особенно «острым» и актуальным.

Несмотря на всеобщий интерес к аудиту информационной безопасности, его, как правило, проводят не очень часто. И на это слишком много причин. Самой главной причиной является отсутствие теоретических и методологических аспектов и основ обеспечения и проведения аудита информационной безопасности.

Проанализировав проблематику вопроса, можно сделать вывод о том, что в настоящее время наиболее распространено 3 направления проведения аудита информационной безопасности организаций:

1) Аудит ИБ на соответствие стандартам, с целью продемонстрировать партнерам или клиентам надежность организации, а также способность выступать в качестве устойчивого партнера, способного обеспечить защиту информационных ресурсов и систем.

2) Обязательный аудит ИБ с целью подтверждения достоверности отчетности организации, контроля и оценки на соответствие ИБ организации существующим требованиям и стандартам в области информационной безопасности, нормативным документам и законодательству РФ со стороны регулирующих органов, наделенных правом осуществлять соответствующие надзорные мероприятия.

3) Инициативный или добровольный аудит с целью оценки текущего состояния информационной безопасности организации, прогнозирования и минимизирования рисков, угроз и уязвимостей, а также управление их влиянием на бизнес-процессы организации;

Первые два направления аудита проводятся, как правило, внешними независимыми коммерческими организациями, имеющими лицензии на осуществление аудиторской деятельности в области ИБ. Третье направление аудита может проводиться, как внешними специалистами, так и внутренними – в качестве самопроверки.

Проведение инициативного внешнего аудита информационной безопасности сторонней организации, в свою очередь, имеет свои достоинства и недостатки. Далее отметим лишь основные достоинства и недостатки.

Достоинства:

- относительная быстрота результата;
- опытные специалисты;
- объективная проверка;
- доступны различные методы и подходы аудита, которые можно выбрать в зависимости от типа организации и целей аудита.

Недостатки:

- дороговизна;
- внешним специалистам придется предоставлять документацию и информацию, которая является иногда секретной и конфиденциальной;
- нет гарантий что специалисты, которые будут проводить аудит, имеют достаточную квалификацию и опыт;
- в некоторых ситуациях результат может быть отчасти субъективным или неполным, по таким причинам, как: нет заинтересованности, непрофессионализм, человеческий фактор, болезнь, нет настроения, большая загруженность на других объектах и так далее;
- очень часто внешние организации, проводящие аудит информационной безопасности, пользуются шаблонами или программным обеспечением, которое очень быстро устаревает, не позволяя изменять некоторые положения и этапы аудита, а также не позволяет влиять и корректировать ход проведения аудита специалисту, с учетом его опыта и знаний;
- очень часто специалисты, проводящие аудит, являются только «теоретиками» и не могут объективно оценивать некоторые моменты с позиции «практика».

Проведение инициативного внутреннего аудита информационной безопасности организации тоже имеет ряд достоинств и недостатков. На данный момент, это направление аудита, в качестве внутренней самопроверки почти не применяется и на это слишком много причин. Например:

- внутренние сотрудники не умеют проводить аудит ИБ, им не хватает опыта и знаний;
- даже если сотрудники организации достаточно опытные и имеют навыки проведения аудита ИБ, то их начальство, чаще всего не считает нужным и необходимым проведение аудита ИБ. Для руководства организации это является затратным мероприятием (труд сотрудников, время) и они не понимают пользу и не осознают выгоду от аудита;
- даже если руководство и осознает необходимость проведения аудита ИБ, а сотрудники являются достаточно квалифицированными и опытными, то у руководства результаты данного аудита не вызывают доверия, так как:

а) проводится он внутренними сотрудниками - результаты могут быть субъективными;

б) сотрудники хоть и достаточно опытные, но аудит ИБ они не проводят каждый день и, соответственно, у них нет опыта, именно, в проведении аудита ИБ. Им будет достаточно трудно выбрать метод, способ и подход к проведению внутреннего аудита ИБ в качестве самопроверки.

Как правило, руководство организаций отрицательно относится к проведению инициативного внутреннего аудита информационной безопасности и оно ошибочно считает, что:

1) аудит ИБ в качестве самопроверки проводить глупо и нецелесообразно;

2) аудит ИБ необходимо проводить только крупным организациям, при такой необходимости как: аттестация, стандартизация и др.;

3) если аудит ИБ и необходимо проводить, то это должны делать специализированные внешние организации. Так как проще при необходимости заплатить деньги и получить готовый результат, чем заниматься обучением и повышением квалификации своих сотрудников.

Любая организация при осуществлении своей деятельности подвержена различным информационным рискам, которые, так или иначе, влияют на специфику ведения бизнес-процессов и могут негативным образом повлиять как на финансовые показатели, так и на возможность организации продолжать бизнес. Современные требования бизнеса диктуют настоятельную необходимость использовать в своей работе обоснованные технико-экономические методы и средства, позволяющие количественно и качественно измерять уровень обеспечения информационной безопасности, а также оценивать экономическую эффективность затрат на информационную безопасность. Для того, чтобы гарантировать эффективное обеспечение информационной безопасности организаций, нужен серьезный, систематизированный и комплексный подход. Немаловажную роль в этом подходе играет аудит информационной безопасности. Необходимо помнить, что аудит информационной безопасности – это основа эффективной защиты организации.

#### **Список литературы**

1. *Васильева Н.Е.* Внутренний аудит. Некоторые пути его развития» // Внутренний контроль в кредитной организации. - 2009. - №1.
2. *Данилкина Н.* Использование риск-ориентированного подхода во внутреннем аудите: Иллюзия или реальность [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://www.pwc.ru/en\\_RU/ru/events/2013/teammate/3-danilkina-rus.pdf](http://www.pwc.ru/en_RU/ru/events/2013/teammate/3-danilkina-rus.pdf) (дата обращения: 11.06.2013).
3. *Жигулин Г.П., Созинова Е.Н.* Метод прогнозирования в области информационной безопасности / Г.П. Жигулин, Е.Н. Созинова // В мире научных открытий. – 2012. - №8.1. – С. 60-71.
4. *Созинова Е.Н.* Аудит, как способ обеспечения информационной безопасности организаций / Е.Н. Созинова // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур. Межвузовский сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. - СПб: НИУ ИТМО. – 2013. – С. 74-77.

05.02.02

А.А. Сурниченко<sup>1</sup> к.т.н., К.А. Сурниченко<sup>2</sup>, Д.О. Кочетов<sup>2</sup>, Д.С. Серов<sup>3</sup>, П.В. Лебедев<sup>3</sup>,  
Д.А. Майоров<sup>3</sup>, М.С. Деревенцев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОАО «МЗКСМ», Владимирская область, <sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им.А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, <sup>3</sup>ОАО «МЗКСМ», Владимирская область, <sup>3</sup>ООО «Промдиагностика», г. Владимир

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЗИП ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*В статье приводится описание подхода для определения потребностей ЗИП для автоматических линий непрерывного цикла. Предложена модель надежности автоматической линии, в которой исследуются возможные состояния системы, наиболее вероятные причины отказов для конкретного производства.*

*Ключевые слова:* ЗИП (запасные части, инструменты, принадлежности), автоматическая линия (АЛ), технологическая система, эксплуатация, математическая модель.

Эксплуатация автоматических линий (АЛ), в подавляющем большинстве случаев не предполагает резервирования целых производственных объектов [1-3]. Следовательно, необходимо резервировать ЗИП и рассматривать его как резерв состава элементов системы, наличие которого является необходимым условием нормального функционирования АЛ при эксплуатации [4,5]. При определении состава ЗИП решаются две задачи. Первая – определение номенклатуры запасных частей, вторая – определение количественного состава ЗИП, необходимого для восстановления работоспособности системы в течение установленного времени эксплуатации. ЗИП представляет собой поставляемую в размонтированном виде исходную систему по тем составным частям, которые изнашиваются или отказывают в процессе эксплуатации, и должны заменяться. Задача выбора номенклатуры формируется и решается как задача оптимизации затрат на создание ЗИП при определенных ограничениях, вытекающих из условия обеспечения надежности системы [2].

Исходя из предположения, что ЗИП есть исходная система, только в размонтированном виде, возможно предположить, что размонтированная система повторяет структуру исходной. Из определения АЛ вытекает, что в подавляющем большинстве случаев АЛ имеют последовательную структуру. ЗИП, как «размонтированная АЛ», тоже имеет последовательную структуру.

Основным объектом исследования является последовательная система, состоящая из  $n$  независимых подсистем на примере АЛ ОАО «МЗКСМ» для производства кирпича. Последовательная система в теории надежности есть система, которая отказывает при отказе хотя бы одной из ее подсистем. Каждая подсистема характеризуется некоторым показателем надежности, который есть некоторая функция, зависящая от числа резервных элементов. Обозначим эту функцию для  $i$ -ой подсистемы через  $R_i(x_i)$ , где  $x_i$  – количество резервных элементов этой подсистемы. Показатель надежности всей системы

$R(x) = \prod_{i=1}^n R_i(x_i)$ . Задачи оптимального резервирования возникают тогда, когда существует

определенные ограничения на затрачиваемые на повышение надежности средства. Стоимость системы линейно возрастает с увеличением количества резервных элементов

$C(X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i$ , где  $c_i$  стоимость одного элемента  $i$ -го типа.

Модель оценки эффективности затрат на восстановление и ремонт может быть выражена уравнением:  $\frac{W_0}{\alpha} + \frac{(1 + p_0 W_0) \ln(1 - p_0 W_0)}{1 - p_0} = 0$  где  $W_0$  – вероятность выполнения задания ТС с НЦ,  $p_0$  – обобщенный показатель надежности,  $\alpha$  – параметр, определяемый по данным.

Расчет вероятности  $W_0$  выполнения задания для случая, когда номинальная производительность АЛ определяется номинальной производительностью второго участка, производим по формуле:

$$W_0(t_0, S_{01}) = e^{-(\lambda_2 + \lambda_n)t_0} \left( 1 - q e^{-\frac{(1-q)S_{01}}{T_{b1}Q_{n2}}} \right), \text{ где } q = \frac{\lambda_1 T_{b1} Q_{n2}}{Q_{n1} - Q_{n2}}, \quad Q_{n1} > Q_{n2}$$

В качестве исходной информации для исследования модели используются следующие параметры и статистические данные:  $\lambda_i$  – интенсивности отказов участков АЛ,  $Q_n$  – номинальные производительности участков АЛ,  $\lambda_{ni}$  – интенсивности отказов межоперационных накопителей,  $S_{oi}$  – уровни начального заполнения,  $T_{bi}$  – средние времена восстановления,  $S_i$  – емкость  $i$ -го накопителя,  $T_{ni}$  – средние времена восстановления.

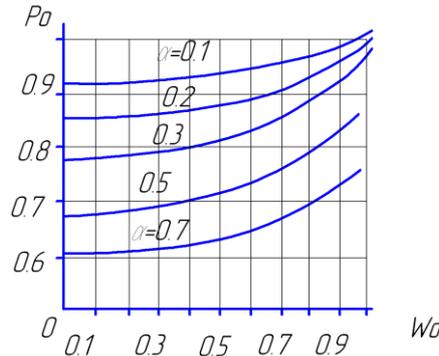


Рис.1. График зависимости показателя  $P_0$  от  $W_0$

Из графика следует, что с увеличением  $W_0$  при  $\alpha = const$ , величина  $P_0$  возрастает. Это значит, что чем производительнее система, тем выше должны предъявляться требования к ее надежности, так как стоимость отказа такой системы выше, чем для менее производительной системы. Например, при  $W_0=0,7$  и  $\alpha=0,1$  минимум стоимости выполнения задачи обеспечивается при  $P_0=0,95$ . Если же  $W_0=0,7$  и  $\alpha=0,5$ , то для обеспечения минимума стоимости выполнения задачи необходимо иметь  $P_0=0,75$ . Как видим, оптимальное значение обобщенного показателя надежности  $P_0$  весьма существенно зависит от величины  $\alpha$ .

Рассматривалась обратная задача оптимального резервирования: требуется найти такое количество резервных элементов для каждой подсистемы, чтобы при заданных допустимых затратах на систему в целом, обеспечивался максимально возможный показатель надежности системы. Эта задача в формальной записи может быть записана следующим образом: найти вектор  $X_0$  такой, что  $R(X_0) = \sup_{x_0 \in X} R(x)$ , где  $X$  множество всех допустимых решений, т.е.

$$C(x) \leq C_0.$$

Обратную задачу оптимизации, применительно к ТС решают методом перебора либо динамического программирования. Вследствие марковости процессов функционирования ТС, в частности АЛ, предпочтительнее использование метода динамического программирования. Запишем функциональное уравнение, дающее рекуррентное решение для обратной задачи оптимального резервирования

$$f_n(C_0) = \max R_n(x_n) f_{n-1}(C_0 - c_n x_n), \quad 0 \leq c_n x_n \leq C_0, \quad x_n = 0, 1, 2, \dots$$

Рассмотрим пример ТС ОАО МЗКСМ, состоящей из двух участков с промежуточным накопителем [2]. Каждый из участков, включая межоперационный накопитель, управляется программируемым логическим контроллером (ПЛК), что позволяет автоматизировать сбор информации о вышедших из строя узлах (агрегатах). Информация о поломке деталей, приведших к выходу из строя узла (агрегата), фиксируется вручную, во время проведения ремонта. Выход из строя самого узла и время его простоя, фиксируется ПЛК. Для описания модели надежности ТС использовался математический аппарат Марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем, т.к. все возможные состояния системы можно заранее перечислить. В модели задавались потоки отказов и

восстановлений, для которых находились вероятности нахождения системы в работоспособном состоянии. Математическая модель надежности ТС имеет восемь возможных состояний  $S_i$  и представляет собой систему дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} dp_0/dt = p_1\mu_1 + p_2\mu_2 + p_3\mu_3 - p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\ dp_1/dt = p_4\mu_2 + p_6\mu_3 + p_0\lambda_1 - p_1(\lambda_2 + \lambda_3 + \mu_1) \\ dp_2/dt = p_4\mu_1 + p_5\mu_3 + p_0\lambda_2 - p_2(\lambda_1 + \lambda_3 + \mu_2) \\ dp_3/dt = p_6\mu_1 + p_5\mu_2 + p_0\lambda_3 - p_3(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3) \\ dp_4/dt = p_7\mu_3 + p_1\lambda_1 + p_2\lambda_1 - p_4(\lambda_3 + \mu_1 + \mu_2) \\ dp_5/dt = p_7\mu_1 + p_3\lambda_2 + p_2\lambda_3 - p_5(\lambda_1 + \mu_3 + \mu_2) \\ dp_6/dt = p_7\mu_2 + p_3\lambda_1 + p_1\lambda_3 - p_6(\mu_3 + \mu_1 + \lambda_2) \\ dp_7/dt = p_4\lambda_3 + p_5\lambda_1 + p_6\lambda_2 - p_7(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) \end{cases}$$

где  $t$  – время, а  $p_0...p_7$  вероятности нахождения системы в одном из состояний,  $\lambda_i$  и  $\mu_i$  интенсивности отказов и восстановлений каждого из трех участков (формовки, сушки и садки).

Модель оценки количества ЗИП построена на основе задачи целочисленного нелинейного программирования. ТС состоит из элементов  $k$ -типов, характеристики надежности которых известны. Для увеличения надежности мы придаем некоторое число  $n_1$  резервных элементов первого типа,  $n_2$  – второго типа,  $n_3$  – третьего типа,  $n_k$  –  $k$ -го типа. Необходимо выбрать числа  $n_1, n_2, \dots, n_k$  при заданном числе рабочих элементов каждого типа, чтобы вероятность безотказной работы в промежутке времени от 0 до  $t$   $K(t)=K(t;n_1,n_2,n_3,\dots,n_k)$  была максимальна. При этом на величины  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$  накладываются дополнительные условия  $\sum_{i=1}^k a_{si} \cdot n_i \leq \beta; a_{si} \geq 0; s=1,2,\dots,r$

$$\text{Условия ограничения по стоимости } \sum_1^i n_{1i} \cdot c_{1i} + \sum_1^i n_{2i} \cdot c_{2i} + \dots + \sum_1^i n_{ni} \cdot c_{ni} \leq \beta \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы каждой детали из списка должна быть известна, если неизвестна, то определяется как  $1-Q(t)$ , либо из выражения:

$$P_1(t) = p_{10} \cdot p_{11} \cdot \dots \cdot p_{1i} \Rightarrow P(t) = \sum_1^i p_{1i} \cdot n_{1i} + \sum_1^i p_{2i} \cdot n_{2i} + \dots + \sum_1^i p_{ni} \cdot n_{ni} \Rightarrow \max ?$$

которое решается с использованием модели надежности на базе уравнений Колмогорова. Находятся неотрицательные значения  $n$ , которые удовлетворяют (1), т.е. определяется количество деталей, с помощью которых можно поддерживать необходимый уровень надежности. Взаимосвязь бухгалтерской финансовой и бухгалтерской управленческой информационных систем с технологическим процессом может быть осуществлена посредством предоставления ими информации для решения математических моделей оценки количества ЗИП. Данная взаимосвязь предполагает устранить искусственное разделение автоматизированных систем предприятий на АСУ, САПР и АСУТП. Описание и расчет модели данной системы при различных исходных данных производится на языке для технических расчетов MatLab [2].

### **Список литературы**

1. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000 – 383 с.
2. Анализ различных вариантов потери работоспособности ТС с непрерывным циклом / А.А. Сурниченко, А.В. Жданов // Экология и промышленность России / М: ЗАО «Калвис», сентябрь 2010. С. 50-52.
3. Надежность и эффективность в технике Т.1 Методология. Организация. Терминология. / Под ред. А.И. Рембезы.- М.: Маш-ние, 1989. - 224с.
4. *Червонный А.А., Лукьященко В.И., Котин Л.В.* Надежность сложных систем. - М.: Маш-ние, 1976.
5. *Черпаков Б.И.* Эксплуатация АЛ. - М.: Маш-ние, 1978. - 248с.

05.02.02

А.А. Сурниченко<sup>1</sup> к.т.н., К.А. Сурниченко<sup>2</sup>, Е.С. Никитин<sup>2</sup>, В.Ю. Смирнов<sup>3</sup>,  
М.С. Деревенцев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОАО «МЗКСМ», Владимирская область, <sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им.А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, <sup>3</sup>ООО «Комплексные инженерные системы», г. Владимир

### ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*В статье приводится описание методики расчета остаточного ресурса прессового оборудования на примере расчета шнекового вакуумного горизонтального пресса СМК-376. Приведенные зависимости сводятся к инженерной методике расчета. Приведен пример расчета конкретного оборудования, предельный износ для которого наступит через 14 лет эксплуатации при трехсменном режиме работы*

Ключевые слова: *остаточный ресурс, прессовое оборудование, интенсивность изнашивания*

Особое место в теории надежности занимает прогнозирование ресурса объектов на стадии эксплуатации. Прогнозирование ресурса сложных машин, состоящих из десятков и сотен деталей, представляет собой задачу, решение которой затруднено как раз большим количеством элементов. Следует необходимо сосредоточить усилия на прогнозировании ресурса узлов и агрегатов машины, истощение ресурса которых приведет к необходимости полной замены машины.

Вывод о выборе элемента системы (машины), для которого будет определяться остаточный ресурс, базируется на методике анализа и ранжирования наиболее критичных элементов в составе системы (машины). В качестве примера по прогнозированию индивидуального ресурса выбран пресс шнековый вакуумный горизонтальный СМК-376, входящего в состав кирпичноделательного комплекса СМК-350, ввиду его собственной высокой стоимости и трудоемкости замены. Пресс предназначен для пластического формования керамических стеновых материалов путем уплотнения и выдавливания в виде бруса из предварительно подготовленных массоподготовительными машинами (очищенных от каменистых и прочих включений), равномерно увлажненных керамических масс нормальной формовочной влажности. Внешний вид пресса представлен на рис. 1.



Рис. 1.

При проведении анализа узлов пресса СМК-376 на предмет критичности по последствиям, был сделан вывод о том, что пресс СМК-376 подлежит замене в случае появления повышенного радиального зазора в посадочных местах подшипников приводного вала. Восстановить геометрию посадочных мест подшипников невозможно, вследствие этого пресс подлежит замене.

Наиболее нагруженный участок вала установлен на подшипниках 3620 и 3534 ГОСТ 5721-75. Внешний вид наиболее нагруженного участка вала приведен на рис. 2

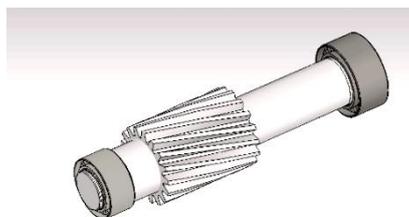


Рис. 2

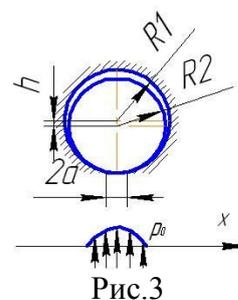


Рис. 3

Рассматривать будем процесс изнашивания сопряжения типа «вал – втулка», в данном случае в роли вала будет выступать наружная обойма подшипника, а в роли втулки – посадочное место подшипника в корпусе пресса. Расчетная схема сопряжения показана на рис. 3.

Принимаем, что в нашем случае износостойкость вала выше износостойкости втулки.  $R_1$  – начальный диаметр втулки,  $R_2 = \text{const}$ . Начальный радиальный зазор –  $h_0$ . Считаем, что износ втулки равномерный и ее сечение остается круговым. Для интенсивности изнашивания примем соотношение:

$$I = \frac{c_1 p^{1+\beta t}}{\alpha} \cdot \left( \frac{Kf}{c_3 \sigma_0} \right)^t \cdot \left( \frac{E}{1-\mu^2} \right)^{1-\beta t-1} \cdot \frac{A_c}{A_a} = \frac{c_1}{\alpha (1-\mu^2)^{1-\beta t-1}} \cdot \left( \frac{p}{E} \right)^{1+\beta t} \cdot \left( \frac{Kf}{c_3 \varepsilon_0} \right)^t \cdot \frac{A_c}{A_a} \quad (1)$$

Где  $p$  – контурное удельное давление;  $f$  – коэффициент трения;  $\sigma_0$  – прочность;  $\varepsilon_0$  – разрывное удлинение;  $E$  – модуль Юнга,  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $t$  – коэффициент усталости;  $A_c$  – контурная площадь контакта;  $A_a$  – номинальная поверхность трения;  $K$  – коэффициент приведения напряжений;  $c_1, c_3, \beta$  – константы микрогеометрии, которые могут быть получены по формулам:

$$c_1 = \frac{3\pi \sqrt{2\nu\xi}}{8K_2(\nu+1)} \quad (2)$$

$$c_3 = \xi b^3 \left( \frac{3\pi}{2K_2} \right)^{1-\beta} \cdot \left( \frac{r}{h_{\max}} \right)^{\frac{1-\beta}{2}} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{1}{2\nu+1} \quad (4)$$

де  $\nu$  и  $b$  – константы кривой опорной поверхности;  $\xi$  – поправочный коэффициент ( $0.5 \leq \xi \leq 1$ );  $r$  – радиус кривизны вершины неровностей;  $h_{\max}$  – высота неровностей;  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий распределение амплитуд напряжений на пятнах фактического касания.

Максимальное давление  $p_0$  на площадке контакта и длину  $2a$  эллипса контакта на этой площадке находим по формулам Герца для случая двух вложенных упругих круговых цилиндров:

$$p_0 = \left( \frac{Q}{\pi \cdot \eta} \cdot \frac{R_1 - R_2}{R_1 R_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$a = \left( \frac{4Q \cdot \eta}{\pi} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Здесь  $Q$  – усилие на единицу длины вала;  $\eta$  – постоянная:  $\eta = (1-\mu_1^2) \cdot E_1^{-1} + (1-\mu_2^2) \cdot E_2^{-1}$ , где  $E_1, E_2$  – модули упругости;  $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона материалов втулки и вала.

Поскольку давление  $p_0(x)$  распределено по площадке контакта неравномерно, вычислим усредненное по длине  $2\pi R$  приращение износа  $\Delta h$  за один оборот:

$$\Delta h = \int_{-a}^a I(x) dx \quad (7)$$

Закон распределения давления в рамках теории Герца имеет следующий вид:

$$p_0(x) = p_0 \sqrt{\left( 1 - \frac{x^2}{a^2} \right)} \quad (8)$$

Подставив это выражение в формулу (1), получим выражение:

$$\Delta h = \int_{-a}^a \frac{c_1}{\alpha(1-\mu)^{t-\beta t-1}} \cdot \frac{p_0^{1+\beta t} \cdot \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^{\frac{1+\beta t}{2}}}{E^{1+\beta t}} \cdot \left(\frac{Kf}{c_3 \varepsilon_0}\right)^t \cdot \frac{A_c}{A_a} dx \quad (9)$$

Скорость изнашивания  $dh/dt$  равна приращению  $\Delta h$ , деленному на продолжительность одного оборота  $2\pi/\omega$  ( $\omega$  – относительная угловая скорость). Также скорость изнашивания  $j = dl/dt$ , следует для процесса изнашивания сопряжения «вал-втулка» справедливо выражение:

$$j = \frac{dl}{dt} = \frac{dh}{dt} \quad (10)$$

Следует приращение зазора количественно равно приращению объема уносимого материала за время совершения одного оборота.

Посадки неподвижных относительно нагрузки колец, назначают таким образом, чтобы обеспечить проворачивание невращающегося кольца от одного до пяти раз в сутки, так как при этом изменяется положение его зоны нагружения. Кроме того, такое сопряжение облегчает осевые перемещения при монтаже. Угловая скорость  $\omega$  связана с частотой вращения  $n$  зависимостью:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (11)$$

Рассмотрим подшипник 3620 ГОСТ 5721-75. Рекомендованная посадка наружного кольца подшипника в корпус –  $H7/10$ . Наибольший диаметр посадочного места в корпусе составит  $\varnothing 215,046$  мм. Наименьший диаметр кольца подшипника составит  $\varnothing 214,962$  мм. Необратимые изменения в сопряжении наступят при достижении диаметра посадочного места в корпусе  $\varnothing 215,115$  мм. Объем унесенного металла в данном случае составит  $1678,42$  мм<sup>3</sup>. Решая средствами Mathcad выражение (9), находим объем уносимого металла за один оборот. Далее находим количество оборотов, необходимое для уноса такого объема металла. Зная количество оборотов, находим время, за которое они совершатся. Таким образом, находим срок службы прессы. В нашем случае объем уносимого металла составит  $5,47 \cdot 10^{-11}$  м<sup>3</sup>. Предельный износ наступит через 14 лет эксплуатации при трехсменном режиме работы.

Вывод: Из выражения (1) следует, что коэффициент трения оказывает сильное влияние на износ  $I \sim f^t$  (значение  $t$  в зависимости от свойств материала изменяется в пределах 2-15). При этом связь износа с коэффициентом трения неоднозначна, так как на износ влияют и другие свойства материала. Однако указанная закономерность позволяет объяснить ряд экспериментально наблюдаемых фактов, в первую очередь эффективность смазки как средства, снижающего износ.

Формула (1) основана на соображениях размерности и модельных представлениях о процессе изнашивания, что позволяет оценить интенсивность изнашивания  $I$  и скорость изнашивания  $j$ , если соответствующие опытные данные отсутствуют. Так как собрать соответствующие экспериментальные данные в условиях реальной эксплуатации весьма проблематично, то полученные результаты показали актуальность работ по прогнозированию остаточного ресурса прессового оборудования, основанных на соотношениях для интенсивности изнашивания, в правые части которых входят параметры шероховатости, модули упругости материалов, коэффициент трения в сопряжении и т.п.

#### Список литературы

1. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312с., ил.
2. Кордонский Х.Б. и др. Вероятностный анализ процесса изнашивания. М. – Наука, 1968, 57с.
3. Демкин Н.Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. Изд-во АН СССР, 1960.
4. Анализ различных вариантов потери работоспособности технологической системы с непрерывным циклом / А.А. Сурниченко, А.В. Жданов // Экология и промышленность России / М: ЗАО «Калвис», сентябрь 2010. С. 50-52. - ISSN 1816-0395

05.23.00

**Э.В. Тимиров, О.Г. Новоселов, С.Г. Буютова**

Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, строительное отделение, кафедра технологии строительства и управление недвижимости, Набережные Челны, timirov1511@mail.ru, sbuyatova@yandex.ru

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АТТЕСТАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

*Статья посвящена вопросу модернизации нынешней системы аттестации для инженерно-технических работников (ИТР) в строительной отрасли. Особое внимание обращается на проблемы системы саморегулируемых организаций и изыскание путей решения. Предложена новая система с разделением ИТР на четыре квалификации.*

*Ключевые слова: аттестация инженерно-технических работников, ВУЗ независимый аттестационный эксперт, стратегия минимализма субъективного влияния.*

На данный момент система высшего образования реализуется по трем уровням подготовки: бакалавриат, специалитет, магистратура, подготовка кадров высшей квалификации [1]. Многообразие уровней подготовки высшего образования привело к отсутствию четкого понимания их места в структуре персонала инженерно-технических работников (занимаемые должности, уровень материальной ответственности).

В последние годы в менеджменте возросло внимание к оценке и аттестации персонала. Сегодня трудно представить эффективную модель управления персоналом без института аттестации.

Базовой задачей проведения аттестации являются: комплектование высококвалифицированного кадрового персонала, возможность проведения обоснованных и объективных лакировок кадров, стимулирование роста профессионализма, уровня знаний работников, установление соответствия работников занимаемой должности.

Аттестация исполняет роль юридического основания для перевода, продвижений по службе, награждений, определения размеров заработной платы, а также увольнения. Она стремится к цели отыскания резервов роста, повышения производительности труда и заинтересованности работника, а также создание условий для динамичного развития личности.

На сегодняшний день, еще не все работодатели, проводят аттестацию сотрудников, находящие данную процедуру сложной трудозатратой, а многие, кто осуществляет данные мероприятия, ограничиваются формальной сбором бумажек и подписей, что в итоге не приносит должных результатов. А в сравнении грамотное проведение аттестации работников не только приносит пользу и дает реальную отдачу, но и имеет большое значение для обеих сторон трудовых отношений; как для работодателя, так и для персонала.

Вследствие выше сказанного проведение аттестации должно быть не формальным, а давать возможность в принятии верных решений поставленных задач.

01.12.2007 Принят Федеральный Закон № 315-ФЗ «О саморегулируемых организациях» (СРО). Законом установлены правовые вопросы создания системы СРО, определены функции, права и обязанности организаций, органы управления, требования к Уставу и финансированию [2]. СРО в строительстве – представляет собой объединения индивидуальных предпринимателей и юридических лиц в некоммерческую организацию с функцией контроля и надзора за деятельностью субъектов строительной отрасли.

10.11.2009I Всероссийский съезд саморегулируемых организаций, основанных на членстве лиц, осуществляющих строительство, реконструкцию, капитальный ремонт объектов капитального строительства (г. Москва). По результатам работы съезда создано Национальное объединение строителей (НОСТРОЙ).

Советом Национального объединения строителей «НОСТРОЙ», утверждено «Положение

о единой системе аттестации руководителей и специалистов строительного комплекса». Согласно этому положению, аттестация руководителей и специалистов отдана на откуп СРО (саморегулируемым организациям) [3].

За девятилетний период действия СРО были выявлены следующие недостатки [4]:

- отсутствие контроля над строительными компаниями, вступающими в СРО;
- отсутствуют единые правила и требования для членов СРО;
- недобросовестные организации, гарантирующие получение свидетельства без прохождения обучения или повышения квалификации (85% организаций);
- монополизация строительной отрасли (финансовые барьеры не позволяют малым и средним предприятиям вступить в СРО);
- проблема демпинга цен.

Данные недостатки сильно складываются на качество всего строительного комплекса.

Основной трудовой силой на предприятии являются работники. Работники могут содействовать росту эффективности производства, могут относиться безразлично к результатам деятельности предприятия, противодействовать нововведениям, если привычный ритм работы будет нарушен.

На данный момент, в котором преобладает система ипотечного кредитования, сотрудники не заинтересованы деятельностью предприятия, они просто выполняют отведенную им функцию согласно должностным обязанностям с целью получения денежных средств. Карьерный рост также связан с увеличением дохода, а не со стремлением повысить эффективность труда и собственного профессионального уровня.

Отсутствие стремления обуславливается агнософобией — боязнь неизвестности. У сотрудников отсутствует четкое понимание и представление критериев для продвижения по карьерной лестнице, что приводит к отсутствию инициатив и мотивации.

Основное требование, которое предъявляется к процедуре аттестации – это объективность или достоверность критериев оценки сотрудника. Противоположностью объективности является субъективности, которая довольно часто считается проявлением отрицательных воздействий и ее пытаются избежать всевозможными способами.

В психологии управления следует искать ответ на вопрос о влиянии субъективности руководителя для аттестации персонала. Так как взаимоотношения группы «руководитель – подчиненный» были всегда предметом изучения и исследования психологии менеджмента. Главным образом руководитель ориентирован на успешное достижение поставленной задачи, рискуя заполучить негативные межличностные отношения с подчиненными.

Руководители различных личностно-стилевых типов при оценке сотрудников наравне ориентируются на различные виды характеристик подчинённых. Следовательно, при выводе оценки наименее предпочтительного сотрудника руководители давали ему более высокие оценки, чем руководители, ориентированные на цель.

Субъективность в данной модели можно рассмотреть, как готовность ценить и замечать одно, и не замечать другого. Из этого следует, что при аттестации субъективность руководителя, приводит к одностороннему восприятию сотрудника и как следствие к неверным кадровым решениям.

Роль руководителя в системе аттестации персонала должна быть минимизирована, чтобы уменьшить влияние его субъективности на итоги аттестации. Такой подход к построению процедур аттестации может быть назван – «стратегия минимизации субъективного влияния», что принято в рамках данной работы.

На сегодняшний день при соискательстве человека на работу в основном оценивается готовность работы в коллективе и базовые понятия отрасли.

В некоторой своей части успешное прохождения обучения, и сдача заключительных экзаменов гарантируют определенный уровень знаний, несмотря на это работодатели могут дополнительно потребовать от кандидатов на должность решить тесты, которые подтвердят его уровень (внутренняя аттестация).

На данный момент в системе высшего образования произошло много изменений.

Реализация основных образовательных программ по шифру 08.00.00 «Техника и технологии строительства» ведется по требованиям федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС). Стандарт включает в себя подготовку специализированных рабочих, техников и специалистов с вашим образованием на разном уровне подготовки [5-7].

На рассмотрения предполагается следующая система аттестации. Всех инженерно-технических работников разделить на четыре группы по уровням подготовки: младшие инженеры, инженеры, ведущие инженеры и Кадры высшей квалификации. Каждой группе определен перечень возможных должностей и обязанностей, что представлено в таблице 1.

Получив по окончании ВУЗа квалификацию младшего инженера и устроившись на работу в качестве ИТР, обязан ежегодно в течение трех лет подтверждать свою квалификацию путем сдачи экзаменов в соответствующем ВУЗе. По истечению данного срока ему предоставляется право на получение следующей квалификации – инженера, которую ему также предстоит подтверждать в течение трех лет, последующем предоставлении очередной квалификации и так до звания главного инженера.

Таблица 1 - Ранжирование ИТР

Звания	Младший инженер (бакалавр)	Инженер (магистр) (специалист)	Ведущий инженер (магистр) (специалист)	Кадры высшей квалификации
Образование	08.03.01.	08.04.01. 08.05.01.	08.04.01. 08.05.01.	08.06.01.
Категории	3-ой категории; 2-ой категории; 1-ой категории*	3-ой категории; 2-ой категории; 1-ой категории;	3-ой категории; 2-ой категории; 1-ой категории;	3-ой категории; 2-ой категории; 1-ой категории;
Должности	Мастера, Инженеры отделов Прорабы (НМО**)	Старший прораб Начальник участка; Начальники отделов СУ***	Руководители СУ Начальники отделов треста.	Руководители трестов Начальники отделов главков, министерств
Места аттестации	ВУЗ местного значения.	ВУЗ регионального значения.	ВУЗ федерального значения.	Академия народного хозяйства.
Стаж работы	-	Не менее 4 лет	не менее 8 лет	не менее 12 лет

\* 1-ой категории трижды подтвердивший данный статус.

\*\* НМО – не материально-ответственный.

\*\*\* СУ – строительное управление.

Дальнейший карьерный рост возможен при окончании Народнохозяйственной академии. Полученный статус, также подтверждается ежегодно. В случаях не сдачи с первого раза экзаменов, не менее чем через один месяц предоставляется возможность сдать повторно. В случае повторной не сдачи ИТР понижают квалификацию, о чем уведомляют работодателя. Сдача экзамена должна осуществляться не только, ответами на разработанные тесты но, и выявлять наличие знаний о новейших достижений как отечественных, так и зарубежных практик и их применение по месту работы экзаменуемого. Это будет способствовать совершенствованию производства и более быстрому внедрению прогрессивных технологий.

Данная система разделения инженерно-технических работников на четыре группы внесет ясность занимаемые места высших образований, занимаемых должностей и уровня материальной ответственности. Передача роли аттестации сотрудников независимым ВУзам решит вопрос мотивации, повысит уровень знаний и заинтересованность в работе сотрудников всех уровней, устранил субъективизм оценки руководителей организации и повысит качество управления и производства в целом.

**Список литературы**

1. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Об образовании в Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 24.07.2015).
2. Федеральный закон от 01.12.2007 N 315-ФЗ (ред. от 24.11.2014) «О саморегулируемых организациях».
3. Положение о порядке проведения аттестации руководителей и специалистов организаций – членов Саморегулируемой организации некоммерческое партнерство «Межрегиональное объединение дорожников «СОЮЗДОРСТРОЙ» (СРО НП МОД «СОЮЗДОРСТРОЙ»)// СРО НП МОД «СОЮЗДОРСТРОЙ». Протокол №1 от 18.02.2011.
4. Дроздова И.В. Проблемы саморегулируемых организаций (СРО) в строительстве. Проблемы современной экономики, № 1 (41), 2012. С. 233-237.
5. Приказ Минобрнауки России от 12.03.2015 № 201 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата)».
6. Приказ Минобрнауки России от 30.10.2014 N 1419 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 08.04.01 Строительство (уровень магистратуры)».
7. Приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 N 873 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 08.06.01 Техника и технологии строительства (уровень подготовки кадров высшей квалификации)».

05.00.00

**М.Р. Хисамутдинов**Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань  
khisamutdinovmr@mail.ru**АСПЕКТЫ ИНТЕГРАЦИИ ERP С ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ PLM И MES ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ ИТ ПРОДУКТОВ**

*Разработка отечественных интеграционных решений – одна из важнейших задач импортозамещения в сфере ИТ. Разрабатываемый модуль на основе интеллектуальных агентов и использовании базы знаний с учетом накопленного опыта и правил, обеспечит динамичное внедрение интеграции на предприятии. В результате, благодаря исключению человеческого фактора, исключению ручного труда и повышению эффективности принимаемых решений, произойдет минимизация ошибок.*

Ключевые слова: *информационные системы, интеграция, эффективность.*

На сегодняшний день в России используется большое количество автоматизированных информационных систем внедренных на предприятиях, которые обычно решают отдельные группы задач связанные с производством, финансами, логистикой и т.д. Эти информационные системы обычно не объединены в рамках корпоративной информационной системы. Так как в них отсутствует поддержка интеграции разноплатформенных информационных систем, отсутствует единый стандарт интеграции, нет заинтересованности разработчиков информационных систем в интеграции, как правило, закрытое программное обеспечение. В связи с этим предприятия сталкиваются с определенными издержками, связанными с неэффективным использованием ИТ персонала, имеет место быть высокий уровень скрытых потерь, множество ошибок в системе из-за использования ручного подсчета и ввода данных.

Основными запросами, с которыми сталкиваются машиностроители во всем мире, являются увеличение конкуренции с одной стороны и повышение индивидуальных требований различных групп потребителей с другой стороны. Эти вызовы требуют от машиностроителей непрерывной работы над повышением эффективности собственного производства.

Построение автоматизированного интеграционного модуля разноплатформенных информационных систем является актуальной проблемой, так как создание единого информационного пространства позволяет предприятию полностью автоматизировать управление бизнес процессами и производством в условиях действующих информационных систем, тем самым избавляя от лоскутной автоматизации и повышая экономическую эффективность предприятия в целом.

В рамках программы импортозамещения требуется разработка отечественной системы интеграции разноплатформенных систем. Реализация интеграционного модуля разноплатформенных информационных систем предполагает переход от классической стратегии построения единого информационного пространства к более совершенной, что подразумевает избавление от параллельного функционирования информационных систем, которая требует больших вычислительных ресурсов и персонала, а это существенные расходы в долгосрочной перспективе. Большую роль в интеграции составляет грамотное сопоставление соответствующих атрибутов между информационными системами для обмена генерируемыми данными.

В настоящее время интеграцией разноплатформенных автоматизированных информационных систем заинтересованы многие современные предприятия, которые используют различные уровни информационных систем таких, как ERP, PLM, MES, CRM, SCM, HRM и т.д. Задачей интеграции является консолидирование всех уровней управления предприятием в единую цепочку. Данные уровни могут использоваться в совокупности в зависимости от поставленных целей, задач и условий предприятий. Был проведен

сравнительный анализ информационных систем, с точки зрения использования интеграционных решений, технологий и стандартов (таблица 1).

ERP-системы большей частью охватывают все ключевые процессы деятельности предприятия. Крупные разработчики ERP-систем обычно имеют в своём арсенале модули PLM, MES, BI, DSS, HRM и т.д., которые монополизуют рынок информационных систем и мешают интеграции с действующими внедренными системами. Так как при отсутствии интеграционных решений, предприятию-заказчику легче отказаться от действующей локальной информационной системы и докупить нужный модуль, чем интегрироваться.

На Рис. 1 ниже представлены бизнес потоки современного предприятия, данные процессы должны охватываться ERP системой



Рис. 1. Бизнес-процессы современного предприятия

Успешно внедренная ERP система позволяет:

- Автоматизировать бизнес-процессы
- Сократить штат
- Улучшить качество планирования
- Снизить запасы
- Увеличить скорость потока и оборачиваемость
- Производить точно в срок
- Повысить качество расчета себестоимости продукта

Любое машиностроительное предприятие вынуждено использовать в своей деятельности целый ряд различных информационных систем (ИТ систем). Наиболее эффективным способом их совместного использования является создание специализированных интерфейсов между различными ИТ системами. В этом случае обмен данными между ними происходит автоматически, без непосредственного участия человека. Т.к. MES обеспечивает непосредственный контакт всех информационных систем предприятия с персоналом и оборудованием в производственной зоне, то кроме всего прочего на этот класс систем возлагают роль транспортного информационного канала между уровнем управления ресурсами предприятия, разработки конструкции, технологии продукции и уровнем производства

При интеграции корпоративной информационной системы с MES-системами, либо с другими производственными информационными системами используется стандарт ISA-95, который основывается на формировании XML-схемы, реализующие описание объектной модели. Проект по формированию XML-схем носит название B2MML. Помимо указанного проекта существует ряд параллельных реализаций стандарта ISA-95 в виде XML-схем, наиболее известным аналогом является проект MIMOSA [1].

Отечественные PLM продукты Неотлант и T-Flex поддерживают принципы XML и не уступают прямому конкуренту TeamCenter компании Siemens в области интеграции с разноплатформенными системами.

При создании единого информационного пространства, предприятие сталкивается с проблемой интеграции информационных систем (ИС), так как ИС от разных разработчиков в большинстве случаев имеют различный интерфейс преобразования информационных потоков данных.

Для связи ИС используется интегратор. Это соединительный интерфейс, который служит для адаптирования и последующей передачи входных информационных потоков данных с одной ИС на другую.

Объектом исследования является единое информационное пространство на базе ERP, PLM и MES систем. В данной работе мы рассматриваем интеграцию PLM системы Teamcenter (Siemens) с ERP системой SAP R/3 (SAP AG) и MES.

PLM система должна обеспечить инструментами, которые дают целевую поддержку для разработки продукта и производственных процессов, обеспечивая конкурентоспособность компании, позволяя интеллектуально использовать данные об изделии. В качестве открытой платформы, она может быть интегрирована с важными для бизнеса системами: ERP, MES, CRM и SCM.

В рассмотренных информационных системах используются различные способы передачи информации: стандарт вызова удаленных процедур XML RPC; веб-сервисы CSV, XLS; протокол обмена структурированными сообщениями SOAP; открытая структура данных в СУБД; технология .NET Framework; стандарта семантика RDF. Разработчики информационных систем так же используют системы управления нормативно-справочной информации (MDM-системы) и системы управления документами, неструктурированной информацией и различных типов контента (ECM-системы), которые используются в качестве средств интеграции, позволяющей согласовывать данные различных информационных систем. Обычно данные системы управления не включены в набор продуктов ERP и выступают в качестве дополнительных платных опций.

В настоящее время интеграция ERP с PLM является актуальной задачей для многих предприятий. Например, в ПАО «КАМАЗ» работы по формированию базы данных для ERP выполняется вручную силами более чем 50 инженеров, что является сдерживающим фактором полномасштабного внедрения ERP на производстве. В то же время эта информация для формирования БД могла бы быть передана из PLM. Однако отсутствие интеграции двух систем не позволяет автоматизировать передачу данных из одной ИС в другую. Ручное ведение БД является весьма затратным и приводит к существенным потерям для компании.

В задачах интеграции между ИС в основном акцент делается на обеспечение совместимости данных. При этом требуется создание новых или доработка существующих интерфейсов. Каждый интерфейс имеет множество одинаковых параметров: средства передачи данных, передача и обработка данных в текстовом формате, передача и обработка данных в табличном виде, передача объектов и т.д. Рис. 2.

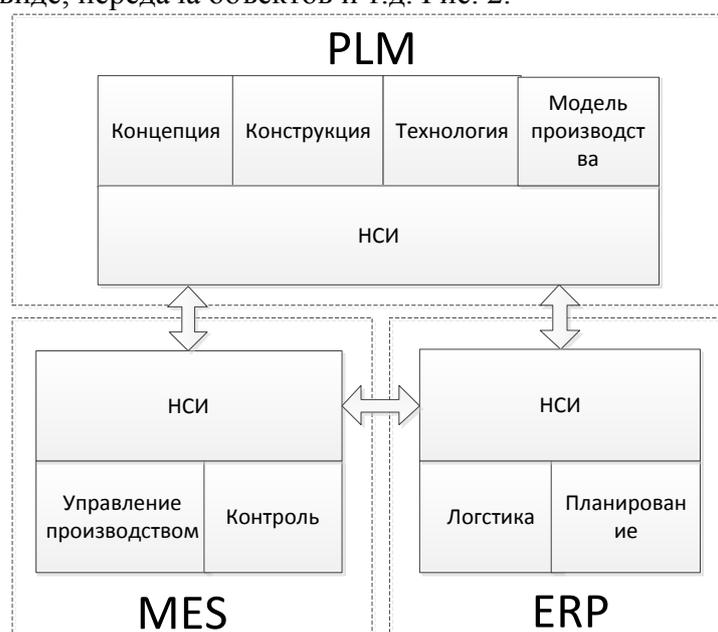


Рис. 2. Объекты интеграции ERP-PLM-MES

Для интеграции данных ИС необходимо создание двунаправленной интеграционной схемы ERP-PLM-MES. Каждая ИС должна содержать процедуры подготовки данных для передачи, обработки принятых данных и т.д. Отсутствие обратной связи с пояснением характера ошибки является недостатком такой схемы. Так же можно отнести к недостаткам отсутствие контроля передачи данных между информационными системами. Поэтому необходимо формирование интегратора с интерфейсом между участниками процессов обмена данными, который будет обрабатывать считывать и непосредственно готовить данные к передаче. Для выполнения таких требований предлагается использовать структуру на основе интеллектуальных агентов, представляющие собой программные модули, управляемые протоколом обмена данными и синхронизации состояний бизнес объектов. Такая же схема применима для интеграции трёх или более ИС. Интегратор должен иметь возможность преобразовывать одну форму представления данных в другую, не теряя информации. При передаче информации из одной информационной системы в другую, процесс будет происходить за счет передачи данных удобным для передатчика способом, например, это может быть: вызов хранимой процедуры в СУБД; запуск исполнительного файла с параметрами; передача по сети данных; выгрузка интерфейсных таблиц и т.д. [1, с. 41].

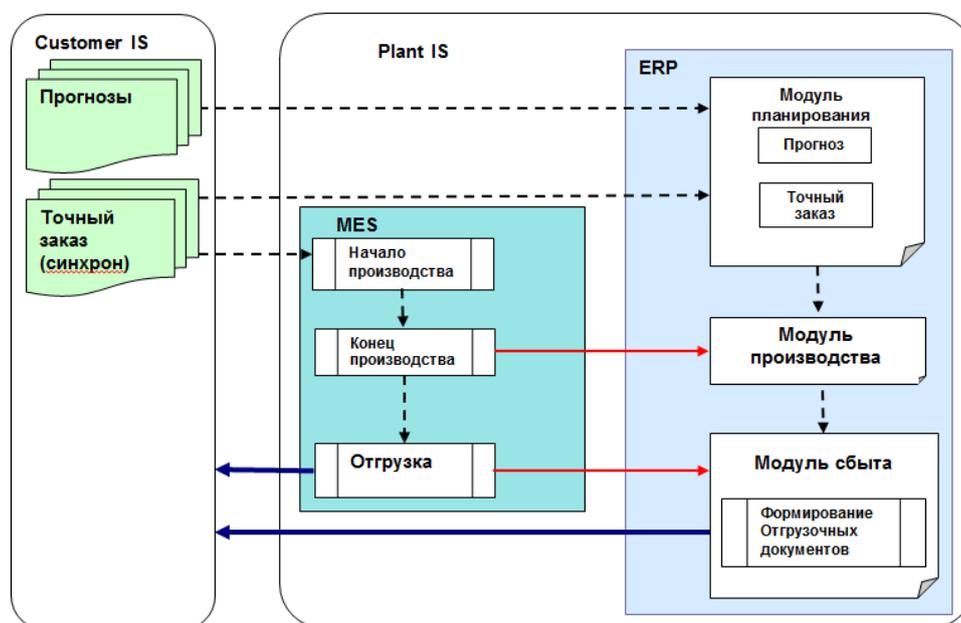


Рис. 3. Движение информационных потоков данных

Анализ результатов первой попытки интеграции PLM и ERP показал возможность автоматического создания и обновления объектов в ERP на основе выгружаемых данных из PLM

Проведена выгрузка и обновление данных PLM в ERP для следующих объектов:

- Номенклатурный справочник (основные записи материалов – ОЗМ);
- Предписания (основные записи изменений – ОЗИ);
- Технологические составы (АН (узлы входа), SN (узлы структуры), вариант iPPE).

Первая итерация выявила 96 несоответствий при передаче данных на соответствие требованиям ERP. В дальнейшем необходимо провести детальный анализ невыполненных требований и проверить и осуществить процедуру планирования в ERP для загруженных из PLM данных. Требуется дальнейшее изучение процессов для обеспечения полного соответствия передаваемых данных из PLM в ERP.

Для реализации интеграционного решения предлагается провести следующие этапы разработки:

1. Определение перечня и предварительного реквизитного состава используемых в настоящий момент объектов и атрибутов ИС, планируемых для интеграции;

2. Описание текущего порядка формирования данных (информации) интегрируемых объектов в ИС;
3. Разработка схематического описания процессов передачи информации прототипа интеграционного решения между ИС;
4. Формирование требования к данным для тестирования интерфейса ИС;
5. Определение требования к периодичности обмена данными между ИС;
6. Разработка логической (объектной) модели данных
7. Описание соответствия атрибутов справочников между ИС
8. Настройка и тестирование прототипа интеграционного решения между Teamcenter и SAP на тестовых данных;
9. Анализ результатов тестирования и подготовка заключения о работоспособности прототипа интерфейса ИС.

#### **Выводы:**

1. Реализация интеграционного модуля разноплатформенных информационных систем предполагает переход от классической стратегии построения единого информационного пространства к более совершенной, что подразумевает избавление от параллельного функционирования информационных систем, которая требует больших вычислительных ресурсов и персонала.
2. Для интеграции данных ИС необходимо создание двунаправленной интеграционной схемы.
3. Определены необходимые этапы интеграционных разработок и предложено использовать структуру на основе интеллектуальных агентов, представляющих собой программные модули, управляемые протоколом обмена данными и синхронизацией состояний бизнес объектов. Такая же схема применима для интеграции трёх и более ИС.

#### **Список литературы**

1. *Л.А. Симонова, И.Р. Миннахметов, Е.Ю. Клочков* Модель синхронизации и интеграции данных в едином информационном пространстве производства на основе модифицированного алгоритма / КИП. ОМД. 2012 №4. С. 41-47
2. *Khislamutdinov R.M., Khislamutdinov M.R.* New technology of production preparation on the basis of models, methods and means of automation of processes of creation and operation of the instrument// Theses of reports of International scientific-practical conference "Education, science and production. New technologies as a tool of strategy of development and modernization 2020. - Kazan, June 19, 2012, Kazan: Publishing house "MSPRESS", 2012, -p.276.
3. *Khislamutdinov R.M., Khislamutdinov M.R.* Automation System Goals for the Creation and Operation of the Tool / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering №69. 2014. С. 1-4
4. *Khislamutdinov R.M., Khislamutdinov M.R.* Tool Creation and Operation System Development for Large Engineering Enterprises / World Applied Sciences Journal Dubai, 2014. IDOSI Publications. P. 588-591
5. *Khislamutdinov R.M., Khislamutdinov M.R.* Tool Creation and Operation System Development / «Наука современности-2015) Москва. 2015. С. 165-170
6. *Simonova L.A. Khislamutdinov M.R.* Scientific Industrial Aspects of Integration Product Lifecycle Management and Enterprise Resource Planning Systems / World Applied Sciences Journal №4 2013. P. 690 – 693.
7. *Simonova L.A. Khislamutdinov M.R.* Intellectual Model Control Data of the Module Integration SAP-ERP and Teamcenter-PLM/ World Applied Sciences Journal №8 2013. P. 1258 – 1262.
8. *Khislamutdinov R.M., Khislamutdinov M.R* Задачи автоматизации системы создания и эксплуатации инструмента / Материалы международной научно-практической конференции, г. Казань, 2013. – С. 198- 203.
9. *Симонова Л.А., Хисамутдинов М.Р.* Автоматизированные интеграционный модуль разноплатформенных систем информационных систем SAP-ERP и TeamCenter-PLM Свидетельство № 201361993 РФ. Заявлено 16.08.2013. Опубликовано 14.10.2013.

05.17.08

**М.И. Шиляев, Е.М. Хромова, С.Н. Широкова**

Томский государственный архитектурно-строительный университет, дорожно-строительный факультет, кафедра охраны труда и окружающей среды, Томск, helenka24@rambler.ru

### **ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАЦИОННО-АБСОРБЦИОННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЫЛЕ- И ГАЗООЧИСТКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПДВ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «АЗОТ» (Г. КЕМЕРОВО)**

*На основе конденсационно-абсорбционной математической модели (КАММ), разработанной авторами, проведены расчеты ряда вариантов процессов пыле- и газоочистки, реализуемых в полых форсуночных скрубберах (ПФС) при высоких температурах очищаемых дымовых газов, применительно к условиям работы реакторов цеха кальцинированной соды предприятия ОАО «Азот» г. Кемерово. Выявлены особенности процессов теплообмена в таких аппаратах и сформулированы рекомендации к их расчету и более эффективному практическому осуществлению.*

Ключевые слова: *химический реактор, эффективности пылеулавливания и абсорбционной газоочистки, форсуночные скрубберы.*

В настоящей статье представлен ряд вариантов расчетов процессов пыле- и газоочистки, реализуемых в ПФС, применительно к условиям работы шахтных печей (реакторов) цеха кальцинированной соды предприятия ОАО «Азот» (г. Кемерово), проведенных на основе КАММ, представленной в [1], но скорректированной на учет температурных зависимостей теплоемкостей водяного пара и сухого воздуха в виде аппроксимаций известных эмпирических данных:

$$c_{п} = 5,5063 \cdot 10^{-4} T + 1,7445 \quad \text{для} \quad 373 \text{ К} \leq T \leq 2273 \text{ К}; \quad (1)$$

$$c_{с.в.} = 1,8024 \cdot 10^{-4} T + 0,9511 \quad \text{для} \quad T \leq 1673 \text{ К}. \quad (2)$$

В связи с тем, что центробежно-плёночные скрубберы (2 на каждый из 4-х реакторов), предназначенные для нейтрализации кислотной среды дымовых газов, поступающих из реакторов, их очистки от пыли и вредных газовых компонентов, и прежде всего от  $\text{SO}_2$ , работают в жестких температурных условиях (температура дымовых газов на входе в скруббер около  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ), желательно предусмотреть предварительное их охлаждение на горизонтальном участке трубопровода, соединяющем стояк и скруббер, до  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Такой подход позволит повысить эффективность скрубберов по очистке дымовых газов прежде всего от механических примесей. Кроме того, при подаче циркуляционной воды через форсунки в ПФС достигается снижение температуры дымовых газов на выходе из скрубберов до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . При этих условиях циркуляционная вода при температуре около  $80\text{-}90 \text{ }^\circ\text{C}$ , проходя через теплообменник, способна передавать тепло воде, используемой в отопительных системах.

Общий расход газов составляет на каждый скруббер  $V_1 = 25$  тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . Давление в скруббере близко к атмосферному. Молекулярная масса дымовых газов  $M_r = 26$   $\text{кг}/\text{кмоль}$ . Плотность дымовых газов при нормальных условиях  $\rho_0 = 1,16$   $\text{кг}/\text{м}^3$ . Температура газов на входе в скруббер по действующей схеме  $t_1 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ , на выходе оценочно по балансу тепла  $t_2 \approx 320 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура газов на входе в скруббер  $t_1 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ , ожидаемая (желательно) на выходе  $t_2 \approx 100 \text{ }^\circ\text{C}$  (по предложению). Расход циркуляционной воды на каждый скруббер  $L = 15$   $\text{м}^3/\text{ч}$ . Температура воды, подаваемой на орошение  $t_{к0} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Скорость капель на выходе из форсунки  $30$   $\text{м}/\text{с}$  (по расчету). Диаметр скруббера  $D = 2,4$   $\text{м}$ , высота скруббера  $H = 10,9$   $\text{м}$ . Размер пылевидных частиц в дымовом газе  $\delta \leq 100$   $\mu\text{м}$ . Примем средний размер частиц  $50$   $\mu\text{м}$ , по которому проведем расчет эффективности очистки газов в скруббере от механических примесей. Среднемассовый диаметр капель циркуляционной воды, выходящих из форсунок  $\delta_{к0} = 700$   $\mu\text{м}$  (по расчету). Плотность частиц  $\rho_m = 1,875$   $\text{т}/\text{м}^3$ .

Концентрация частиц в газовом потоке на входе в скруббер  $c_0 = 0,632 \text{ г/м}^3$ . Параметры нереагирующей части газов примем по воздуху.

Ниже приведены графики изменения термодинамических параметров для существующего (обозначены цифрой 1) и для предлагаемого технического решения (обозначены цифрой 2) организации технологических процессов при температуре дымовых газов на входе в скруббер 800 и 400 °С соответственно. Цифрой 1' и 2' обозначены расчетные параметры, полученные при  $c_{п} = 1,8 \text{ КДж/кг}\cdot\text{К}$  и  $c_{с.в} = 1,0 \text{ КДж/кг}\cdot\text{К}$ . Как видно из рисунков, чем выше температура, тем различие в расчетах при постоянных и переменных коэффициентах теплоемкости выше.

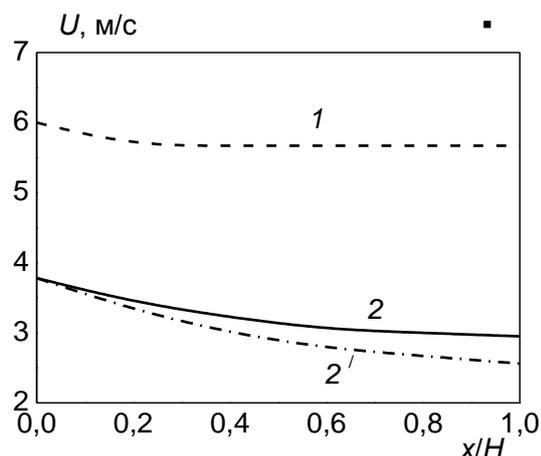


Рис. 1 – Зависимость скорости дымовых газов по высоте скруббера

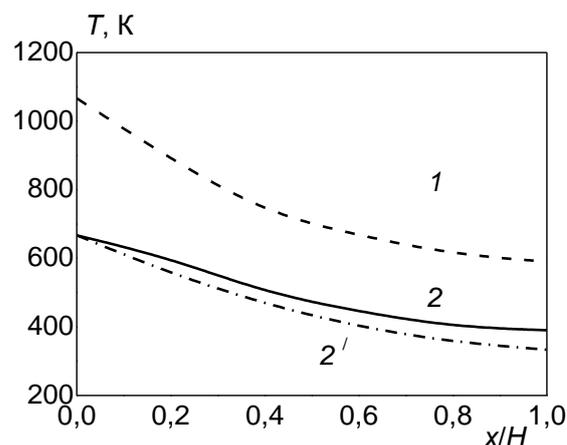


Рис. 2 – Зависимость температуры дымовых газов по высоте скруббера

На рис. 1 представлены зависимости изменения скорости  $U$  дымовых газов с паром от безразмерной высоты скруббера  $x/H$ , где  $x$  – текущая координата от верхней части скруббера (для расчета принята прямоточная схема ПФС), на рис. 2 – зависимости изменения температуры дымовых газов по высоте аппарата, на рис. 3 – изменение концентрации пыли и изменение влагосодержания.

Из графиков рис. 1 и 2 (сплошные кривые) видно, что при начальной средней скорости дымовых газов по сечению скруббера около 3,8 м/с на входе в аппарат их скорость снизилась до 2,9 м/с за счет снижения температура газов от 400 °С почти до 100 °С (рис. 2, кривая 2). Таким образом, дымовые газы из скруббера выходят с более низкой температурой, чем из действующих на производстве аппаратов (около 330 °С, рис. 2, кривая 1), что свидетельствует о более полной утилизации теплоты циркуляционной водой.

Концентрация  $c$  механических примесей в потоке дымовых газов снизилась достаточно сильно, как показано на рис. 3, кривая 2, что позволило получить степень очистки дымовых газов в скруббере от частиц размером 50 мкм 97 %.

Необходимо отметить, что расчеты, проведенные для существующих производственных условий (температура газов на входе в скруббер около 800 °С), дали значительно более низкую степень очистки – 86 %. Этим условиям отвечает кривая 1 для концентрации  $c$  на рис. 3. Эффективность абсорбирования  $\text{SO}_2$  на каплях воды в обоих случаях расчетов оказалась весьма низкой – менее 0,1 %, что объясняется высокими температурами газов, при которых растворение  $\text{SO}_2$  в воде практически отсутствует.

В связи с выше изложенным можно сделать вывод, что предварительное охлаждение дымовых газов перед скруббером позволяет провести процесс в скрубберах не только до достаточно глубокой очистки от механических примесей и солей, но и использовать более полную утилизацию теплоты газов.

В обоих вариантах расчетов (рис. 3 и 4), идет испарение капель и насыщение дымовых газов парами воды (повышается влагосодержание  $d$ ). На частицах пыли при таких температурах конденсат не образуется и их улавливание осуществляется только за счет

механического столкновения с каплями при неизменных их размерах (без конденсата). Все расчеты рис. 1–4 проведены при следующих параметрах, соответствующих производственным условиям, помимо указанных выше: 1 –  $q=1,59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $d_0=0$ ,  $U_0=6,036 \text{ м/с}$ ,  $d_{\text{SO}_2,0}=3,17 \cdot 10^{-4} \text{ кг/кг}$ ; 2 –  $q=2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $d_0=3,79 \cdot 10^{-4} \text{ кг/кг}$ ,  $d_{\text{SO}_2,0}=3,17 \cdot 10^{-4} \text{ кг/кг}$ .

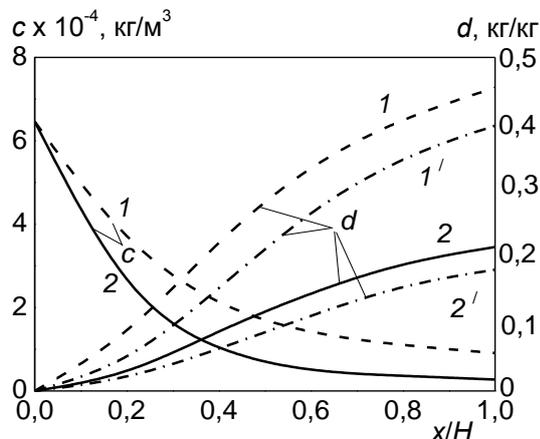


Рис. 3 – Зависимости концентрации механических примесей и влагосодержания  $d$  в дымовых газах по высоте скруббера

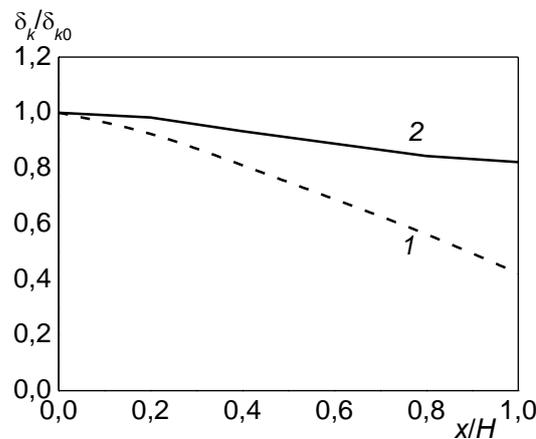


Рис. 4 – Зависимости текущего размера капель по высоте скруббера

Для очистки дымовых газов от  $\text{SO}_2$  следует применить вторую ступень с орошением холодной водой, например, прямоточный ПФС, в котором за счет конденсации паров воды на более тонких фракциях частиц одновременно будет существенно повышена эффективность пылеулавливания. Для примера проведены расчеты для такой второй ступени с той же высотой ПФС при следующих параметрах на входе:  $U_0=0,25 \text{ м/с}$ ,  $V_{k0}=30 \text{ м/с}$ ,  $T_{k0}=293 \text{ К}$ ,  $T_{00}=353 \text{ К}$  ( $80 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $q=0,015 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $\delta_{k0}=700 \text{ мкм}$ ,  $c_0=2,38 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta_0=1 \text{ мкм}$ ,  $d_0=0,3 \text{ кг/кг}$ ,  $d_{\text{SO}_2,0}=3,17 \cdot 10^{-4} \text{ кг/кг}$ . Получена эффективность абсорбционного извлечения  $\text{SO}_2$   $\eta_{\text{SO}_2} \approx 3 \%$ . При распылении жидкости до  $\delta_{k0}=100 \text{ мкм}$  и всех тех же остальных параметрах  $\eta_{\text{SO}_2} \approx 44,632 \%$  и при  $\delta_{k0}=100 \text{ мкм}$  и  $T_{k0}=278 \text{ К}$  ( $5 \text{ }^\circ\text{C}$ )  $\eta_{\text{SO}_2} \approx 58,2 \%$ . Для более эффективного извлечения  $\text{SO}_2$  можно устанавливать многоуровневое орошение. Во всех вариантах расчета эффективность улавливания частиц пыли с размером  $\delta_0=1 \text{ мкм}$  получена равной 100 %.

Для установления оптимальной организации утилизации тепла и газоочистки по улавливанию пыли и извлечению  $\text{SO}_2$  и других газов из дымовых выбросов с требуемой эффективностью для конкретных условий производства достаточно, как показывает проведенный анализ, провести серию расчетов на основе КАММ и выбрать наиболее приемлемый с технико-экономической точки зрения вариант.

### Список литературы

1. Shilyaev, M.I. Modeling of heat and mass transfer and absorption-condensation dust and gas cleaning in jet scrubbers / M.I. Shilyaev, E.M. Khromova // Mass Transfer – Advances in Sustainable Energy and Environment Oriented Numerical Modeling, Edited by Hironori Nakajima. – Vienna, Austria: In Tech, 2013. – PP. 163-194.

**Статья выполнена при финансовой поддержке в рамках соглашения № 14.583.21.0004 ФЦП, RFMEF158314X0004**

05.02.02

**Д.В. Штых, А.В. Жданов к.т.н., В.В. Морозов д.т.н.**

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир

**ГЕОМЕТРИЯ СОПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РВМ**

*В статье приводится описание геометрии сопряжения резьбовых поверхностей элементов РВМ. При описании учтены элементарные технологические погрешности резьбы. Приведенные зависимости проиллюстрированы графиками линий профилей резьбовых поверхностей РВМ, находящихся в сопряжении друг с другом*

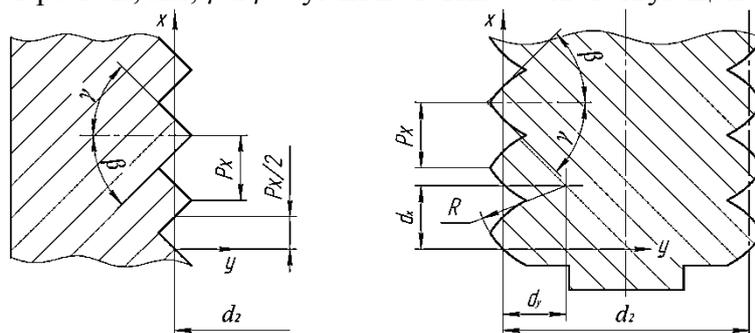
**Ключевые слова:** *роликовинтовой механизм (РВМ), математическая модель, профиль резьбы, сопряжение резьбовых поверхностей, отклонение профиля резьбовой поверхности.*

При проведении анализа существующих математических моделей РВМ [1] были выявлены различные недостатки, не позволяющие проводить адекватные комплексные теоретические исследования механизмов. В [2, 3] рассмотрены различные виды профилей резьбы с линейными образующими (треугольная, трапецеидальная и др.). Приведено математическое описание линии, ограничивающей профиль такого типа. Однако сопряжение треугольного и кругового профилей. Таким образом, представления о геометрии сопряжения резьбовых поверхностей элементов РВМ носят отрывочный и разрозненный характер. При построении моделей реальные точки контакта не определяются, и производится их подмена точками пересечения линий профиля и линии номинального среднего диаметра. Такой подход не позволяет корректно определить положение равновесия элементов механизма. В связи с этим очевидна актуальность описания геометрии резьбового сопряжения в РВМ.

При математическом моделировании винтовых механизмов, как правило, используется плоская модель. Это означает, что пространственная поверхность резьбы заменяется осевым сечением, проходящим через линию номинального контакта. При этом углы поворота радиус-векторов винтовых линий деталей механизма принимают фиксированное текущее значение, пространственные поверхности заменяются совокупностью участков плоских кривых (для кругового профиля роликов) и отрезков прямых (для треугольного профиля резьбы винта и гайки). Для упрощения дальнейших расчетов введем локальные плоские подвижные системы координат (СК), связанные с резьбовыми поверхностями таким образом, что оси ординат расположены по линии номинального среднего диаметра элемента механизма, начало координат находится в точке пересечения линии среднего диаметра и линии, ограничивающей профиль резьбы первого витка (рис.1). В таком случае резьбовая поверхность треугольного профиля в локальной СК описывается отрезками прямых:

$$\begin{cases} x_i^\gamma(y) = -y \cdot \operatorname{tg} \gamma + (i-1)P_x, & y \in \left[ \frac{-P_x}{4 \cdot \operatorname{tg} \gamma}; \frac{P_x}{4 \cdot \operatorname{tg} \gamma} \right] \\ x_i^\beta(y) = y \cdot \operatorname{tg} \beta + 0,5P_x + iP_x, & y \in \left[ \frac{-P_x}{4 \cdot \operatorname{tg} \beta}; \frac{P_x}{4 \cdot \operatorname{tg} \beta} \right] \end{cases}$$

где  $x_i^\gamma(y)$ ,  $x_i^\beta(y)$  – отрезки прямых разных сторон профиля  $i$ -того витка резьбы в локальной плоской СК;  $P_x$  – шаг резьбы, мм;  $\gamma$  и  $\beta$  – углы половин соответствующей стороны профиля.



а) для треугольного профиля    б) для кругового профиля

Рис.1. Расположение локальных систем координат (СК)

Профиль расположен относительно локальной СК так, что ось ординат направлена параллельно оси резьбы, и точка среднего диаметра первого витка совпадает с началом координат.

Круговой профиль резьбы роликов в локальной СК описывается так:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_i^{\gamma}(y) = -\sqrt{R^2 - (y - d_y^{\gamma})^2} + d_x^{\gamma} + (i - 1)P_x, \\ y \in \left[ d_y^{\gamma} - \sqrt{R^2 - \left(d_y^{\gamma} - \frac{P_x}{4}\right)^2}; d_y^{\gamma} - \sqrt{R^2 - \left(d_y^{\gamma} + \frac{P_x}{4}\right)^2} \right] \\ X_i^{\beta}(y) = \sqrt{R^2 - (y - d_y^{\beta})^2} - d_x^{\beta} + 0,5P_x + (i - 1)P_x, \\ y \in \left[ d_y^{\beta} - \sqrt{R^2 - \left(d_y^{\beta} - \frac{P_x}{4}\right)^2}; d_y^{\beta} - \sqrt{R^2 - \left(d_y^{\beta} + \frac{P_x}{4}\right)^2} \right] \end{array} \right.$$

где  $X_i^{\gamma}(y), X_i^{\beta}(y)$  – участки окружностей, ограничивающие профиль;  $R$  – радиус дуги кругового профиля;  $d_x^{\gamma}, d_y^{\gamma}, d_x^{\beta}, d_y^{\beta}$  – смещение центров окружностей соответствующей стороны профиля по координатным осям.

Смещение центров окружностей профиля определяется из условия расположения точки среднего диаметра первого витка резьбы в начале координат:

$$d_y^{\gamma} = R \sin(\gamma'), \quad d_x^{\gamma} = R \cos(\gamma'), \quad d_y^{\beta} = R \sin(\beta'), \quad d_x^{\beta} = R \cos(\beta')$$

где  $\gamma', \beta'$  – номинальные углы наклона треугольного профиля сопряженной детали (в данном случае  $\gamma' = \beta' = \pi/4 \text{ рад}$ ).

Для реализации сопряжения резьбовых поверхностей необходимо совместить обе локальные СК. В таком случае точки контакта первых витков совпадут и будут находиться на линиях номинальных средних диаметров (рис. 2). Линии, ограничивающие профиль резьбы можно охарактеризовать следующими параметрами: для треугольного профиля - угловой коэффициент (тангенс угла наклона) отрезка прямой, смещение в осевом направлении; для кругового профиля - радиус дуги окружности, ограничивающей профиль, координаты центра окружности.

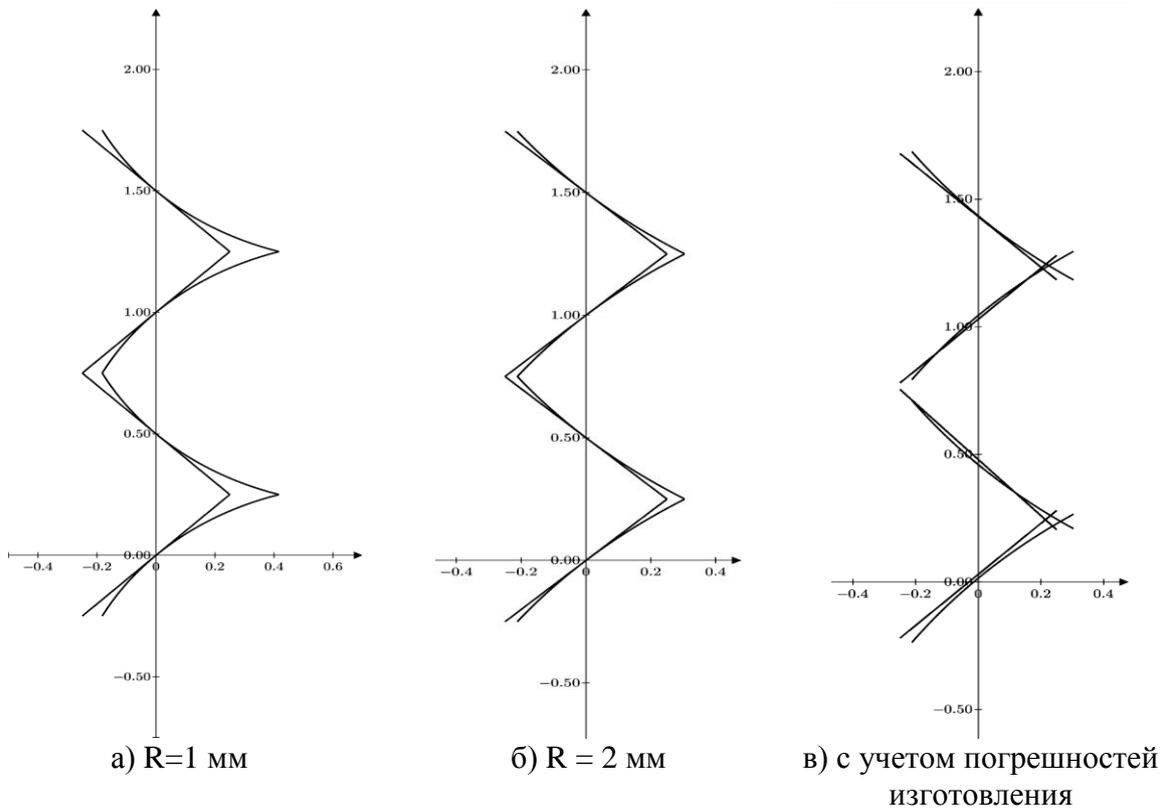


Рис. 2. Участок сопряжения резьбовых поверхностей различного профиля при  $P_x = 1 \text{ мм}$

Реальная резьбовая поверхность характеризуется кроме номинальных параметров винтовой линии и профиля величинами отклонений от погрешностей изготовления (ПИ). Суммарную ПИ разделяют на элементарные составляющие: отклонение шага резьбы; отклонение среднего диаметра; отклонение угла профиля треугольной резьбы; отклонение угла захода; отклонение радиуса скругления кругового профиля. При этом в сопряжениях между элементарными парами возникают либо зазоры, либо натяги. Для дальнейших силовых расчетов необходимо определять величину натяга в каждой паре. При моделировании РВМ с гарантированным зазором кинематическая погрешность рассчитывается как величина наименьшего суммарного зазора в механизме. Для построения математической модели реального механизма, совокупность технологических погрешностей можно разделить на соответствующие группы по характеру влияния на смещение проекции элементарной поверхности резьбы. Погрешность каждой группы складывается с учетом знака с соответствующим параметром. Тогда уравнения линий профиля резьбы примут вид: для треугольного профиля –

$$\begin{aligned}x_i^\beta(y) &= y \cdot \operatorname{tg}(\beta_0 + \delta\beta) + \delta P - \delta r \cdot \operatorname{tg}(\beta_0 + \delta\beta) + \delta z + 0,5P_x + iP_x \\x_i^\gamma(y) &= -y \cdot \operatorname{tg}(\gamma_0 + \delta\gamma) + \delta P - \delta r \cdot \operatorname{tg}(\gamma_0 + \delta\gamma) + \delta z + (i - 1)P_x\end{aligned}$$

для кругового профиля –

$$\begin{aligned}X_i^\beta(y) &= \sqrt{(R_0 + \delta R)^2 - (y - (R_0 + \delta R)\sin\beta_0 + \delta r)^2} - (R_0 + \delta R)\cos\beta_0 + \delta P + \delta z + (i - 1)P_x \\X_i^\gamma(y) &= \sqrt{(R_0 + \delta R)^2 - (y - (R_0 + \delta R)\sin\gamma_0 + \delta r)^2} + (R_0 + \delta R)\cos\gamma_0 + \delta P + \delta z + 0,5P_x + (i - 1)P_x\end{aligned}$$

где  $R_0, \beta_0, \gamma_0$  – номинальные параметры резьбового профиля;  $\delta P, \delta r, \delta R$  – ПИ резьбы по шагу, среднему радиусу, радиусу кругового профиля;  $\delta\beta, \delta\gamma$  – ПИ угла треугольного профиля резьбы;  $\delta z$  – ПИ угла захода резьбы.

В результате линии профилей смещаются относительно номинального положения (рис.2,в). Расстояние между поверхностями в сопряжении вычисляется исходя из параметров линий, ограничивающих резьбовые профили контактирующих поверхностей. Расстояние между поверхностями по нормали к линии треугольного профиля определится как:

$$\delta_n = \frac{kx_c - y_c + c}{\sqrt{k^2 + 1}} - R,$$

где параметры резьбового профиля с учетом ПИ:

для треугольного профиля –

$$k = \operatorname{tg}(\beta_0(\gamma_0) + \delta\beta(\delta\gamma)), \quad c = \delta P - \delta r \cdot k + \delta z$$

для кругового профиля –

$$R = R_0 + \delta R, \quad x_c = R\sin(\beta_0(\gamma_0)) + \delta r, \quad y_c = R\cos(\beta_0(\gamma_0)) - \delta P - \delta z$$

При  $\delta_n < 0$  в сопряжении присутствует натяг, при  $\delta_n \geq 0$  сопряжение с зазором. По приведенным уравнениям определяются зазоры или натяги в точках контакта между резьбовыми элементами РВМ. В каждой паре координаты точки контакта различны и зависят от ПИ. При определении смещений линий профилей резьбовых поверхностей можно использовать данные измерений реальных деталей. Однако такой метод физического моделирования требует проведения значительного количества замеров и обработки полученных результатов. Альтернативой такому методу является метод имитационного моделирования, при котором величины элементарных погрешностей генерируются случайным образом по определенному закону распределения из поля допуска, соответствующего классу точности изготовления детали.

### **Список литературы**

1. Штых Д.В. и др. Анализ математических моделей РВМ // Научно-технический вестник Поволжья, 2015, №5, стр.328-330
2. Балакишин Б.С. и др. Взаимозаменяемость и технологические измерения в машиностроении. М.: Машиностроение, 1972.
3. Блинов Д.С. Особенности контроля средних диаметров наружной резьбы деталей РВП// Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 10. С. 19–43.

05.22.10

С.А. Эртман к.т.н., А.А. Фадюшин, Д.С. Карманов, Ю.А. Эртман к.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет  
г. Тюмень, ertmans@list.ru**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ УЛИЦ С ИНТЕНСИВНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

*В статье рассматриваются возможности улучшения организации дорожного движения на перекрестке при использовании данных анализа имитационных моделей участка улично-дорожной сети.*

Ключевые слова: *дорожное движение, организация дорожного движения, регулируемый перекресток, имитационное моделирование.*

Перекрестки густонаселенного города являются важнейшими элементами улично-дорожной сети, требующими повышенного внимания при решении задач организации дорожного движения. Регулируемые перекрестки, помимо функции сегрегации транспортных, а также транспортных и пешеходных потоков, выполняют важнейшую задачу сдерживания и выравнивания неравномерных транспортных потоков в пространстве и во времени [1, 2].

В тоже время первичный анализ транспортных проблем, имеющих место на конкретном перекрестке, не может свидетельствовать о необходимости скорейшего принятия мер по оптимизации организации дорожного движения именно на нем [3, 4]. Необходима оценка эффективности указанных мер, включающая сравнительный анализ альтернативных вариантов организации движения по критерию соотношения необходимых затрат и полученных результатов на участке улично-дорожной сети, состоящем из смежных зависимых перекрестков. Такой анализ целесообразно и даже необходимо проводить на основании данных имитационного моделирования [5, 6, 7].

Одним из «проблемных» участков города Тюмени является пересечение улиц Мельникайте и Республики. Перекресток регулируемый, с многофазным циклом регулирования, длительность которого составляет 169 сек. Первичный анализ транспортной ситуации выявляет большую суточную неравномерность потоков (450-4950 авт/час), заторы в утренний и вечерний «час пик», повышенный уровень аварийности.

Для оценки эффективности оптимизации организации дорожного движения были рассмотрены следующие варианты.

1) Расширение проезжей части улицы Мельникайте от улицы Геологоразведчиков до улицы Республики и соответствующая оптимизация светофорного регулирования.

Участок улицы Мельникайте может быть расширен с трех до четырех полос движения за счет заимствования ширины «островка безопасности» и сужения ширины полос движения с текущего значения 4 м до 3,5 м.

2) Строительство эстакады или туннеля через ул. Республики на пересечении улиц Мельникайте – Республики.

Проект по строительству эстакады или туннеля предложен компанией «МОСТОСТРОЙ-11» (рис. 1).

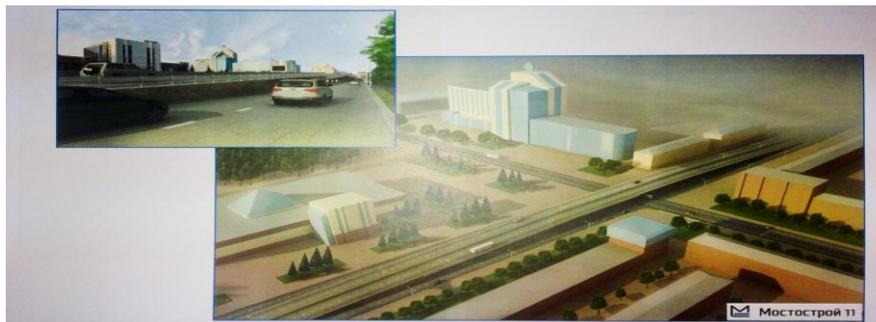


Рис. 1 – Проект строительства эстакады по ул. Мельникайте

Общая протяженность развязки с эстакадой составит 440 м., высота 12 м. Количество полос движения по ул. Мельникайте в каждом направлении составит по две полосы на первом и втором уровнях развязки. Срок реализации проекта – около двух лет

3) Запрещение левого поворота с ул. Республики на ул. Мельникайте и соответствующая оптимизация светофорного регулирования.

Запрещение левого поворота с ул. Республики на ул. Мельникайте позволит перераспределить высвободившиеся 18 секунд от цикла, добавив их в пользу потоков, двигающихся прямо по ул. Мельникайте в обоих направлениях. Транспортный поток по 5 направлению движения перераспределится на ул. Холодильную и ул. Одесскую.

4) Суммарный вариант: запрещение левого поворота с ул. Республики на ул. Мельникайте, расширение ул. Мельникайте от ул. Геологоразведчиков до ул. Республики и соответствующая оптимизация светофорного регулирования.

Имитационное моделирование в целях выбора наилучшего варианта организации дорожного движения было выполнено для участка УДС, включающего несколько перекрестков, смежных и взаимозависимых по критерию распределения транспортных потоков, с исследуемым перекрестком. На рис. 2 представлен фрагмент участка, включающий два смежных перекрестка.

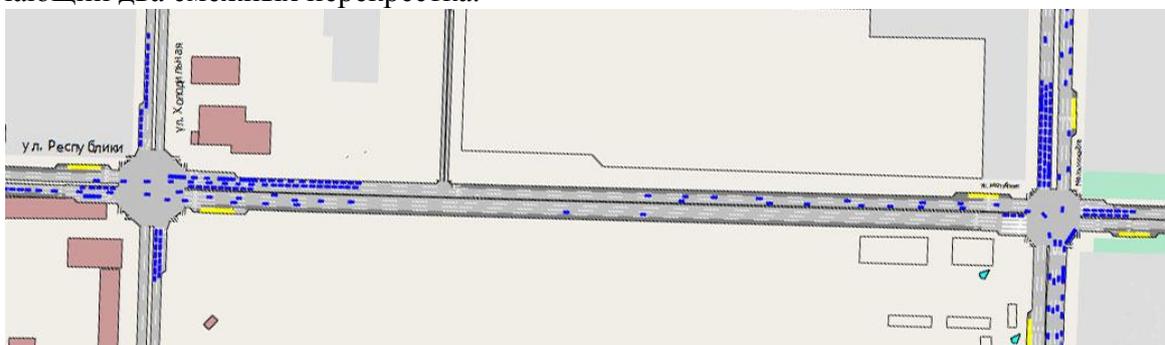


Рис. 2 – Фрагмент модели участка УДС

На рис. 3-4 представлены виды имитационных моделей исследуемого перекрестка в один момент времени, выполненные для всех вышеупомянутых вариантов оптимизации.

Вариант 1

*вид сверху*



*3D-вид*



Вариант 2

*вид сверху*



*3D-вид*



Рис. 3 – Имитационная модель перекрестка улиц Мельникайте-Республики для первого и второго вариантов оптимизации

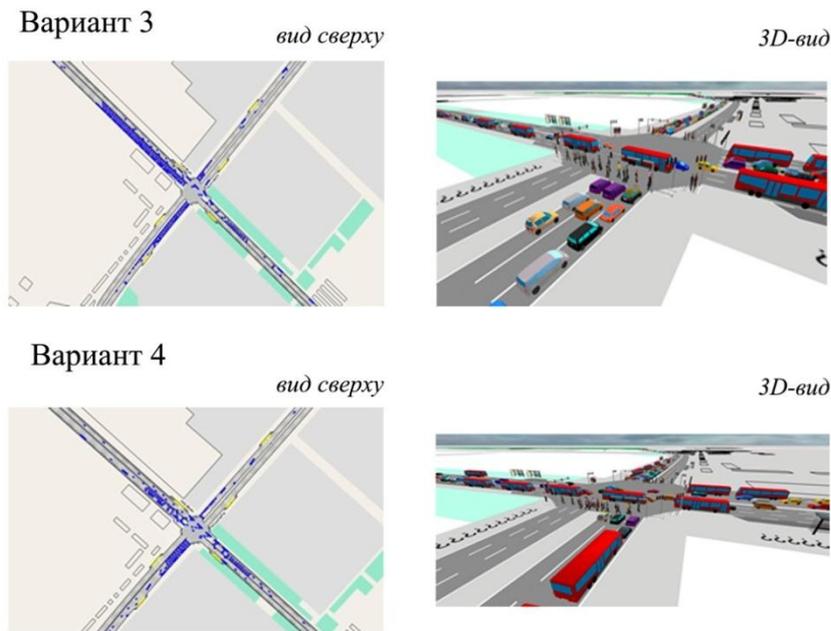


Рис. 4 – Имитационная модель перекрестка улиц Мельникайте-Республики для третьего и четвертого вариантов оптимизации

В табл. 1 представлены транспортные характеристики на участке улично-дорожной сети, включающем смежные и зависимые с пересечением улиц Мельникайте-Республики перекрестки.

Таблица 1 – Характеристики транспортных потоков на участке улично-дорожной сети, включающем перекресток улиц Мельникайте-Республики при различных вариантах организации дорожного движения

Параметры	Варианты организации дорожного движения			
	№1	№2	№3	№4
Время в пути – л.а., сек/км	158	176	189	121
Гармоническая скорость – л.а., км/ч	23	20	19	30
Плотность - л.а., ТС/км	15	14	18	11
Поток - л.а., ТС/час	4658	4443	4695	4794

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики вариантов оптимизации дорожного движения в исследуемом участке в процентном отношении к текущему состоянию.

Таблица 2 – Сравнительный анализ вариантов оптимизации дорожного движения на перекрестке ул. Мельникайте - ул. Республики

Параметры	Варианты организации дорожного движения:			
	Относительное отклонение, %			
	№1	№2	№3	№4
Время в пути – л.а., сек/км	-49	-43	-39	-61
Гармоническая скорость – л.а., км/ч	96	75	64	155
Плотность - л.а., ТС/км	-49	-52	-39	-62
Поток - л.а., ТС/час	11	6	12	14

Таким образом, оценка эффективности альтернативных вариантов оптимизации позволяет сделать выбор в пользу четвертого варианта: при этом время в пути сокращается на 61% для легковых автомобилей, время задержки уменьшается на 77, а среднее количество ТС в заторе на 79%, скорость потока возрастает на 115% и, как следствие, поток увеличивается на 14%.

Строительство двухуровневой развязки (вариант 2), несмотря на безусловное и многократное улучшение транспортной ситуации на перекрестке улиц Мельникайте-Республики, не повлияет существенно на характеристики транспортных потоков участка улично-дорожной сети, состоящего из нескольких смежных и зависимых перекрестков, а потребует значительно больших денежных и временных затрат. Рассмотренная в статье ситуация является, на наш взгляд, характерной, когда поверхностный анализ не дает возможности объективной оценки и обоснованного выбора при принятии решения по организации дорожного движения.

#### **Список литературы**

1. *Левашев, А.Г.* Проектирование регулируемых пересечений Иркутск: ИГТУ, 2007. – 208 с.
2. *Блинкин, М.Я., Сарычев, А.В.* Качество институтов и транспортные риски / Текст публичной лекции портала Полит.ру [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.polit.ru/article/2007/05/22/transport2>.
3. *Писцов, А.В., Эртман, Ю.А., Резник, Л.Г.* Приспособленность регулируемых пересечений к удовлетворению транспортного спроса в переменных условиях городского движения // *Научно-технический вестник Поволжья, №3, 2014.* – Казань: 2014. – С. 202-207.
4. *Морозов, В.В., Ярков, С.А.* Проблема транспортных заторов и существующие методы решения // В сб: Проблемы функционирования систем транспорта Матер.Всерос. науч-практ. конф. студ., асп. и мол.уч. (с между. участием). – Тюмень, 2014. – С. 83-89.
5. *Кошарская А.Н., Чайников Д.А.* Совершенствование организации дорожного движения на участке улично - дорожной сети в городе Тюмени. // Организация и безопасность дорожного движения. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень, 2015. – С. 173-179.
6. *Захаров Д.А., Чистяков А.Н.* Проблемы функционирования транспортного комплекса города Тюмени // В сб: Сервис автомобилей и технологических машин. Матер. всерос. студ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С. 40-44.
7. *Буракова О.Д., Захаров Д.А.* О методике разработки мероприятий для снижения аварийности на автомобильных дорогах города // В сб: Организация и безопасность дорожного движения. Матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 50-54.

05.13.00

**С.А. Ямашкин**

аспирант, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет»,  
факультет электронной техники, кафедра АСОИУ, yamashkinsa@mail.ru.

### **СТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОПОРТАЛА, КАК ИНСТРУМЕНТА ПУБЛИКАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

*В статье описываются структура и способ реализации геопортальной системы, как системы распространения геоданных и компонента ГИС. Детально изложены предлагаемые инженерные решения и преимущества данного подхода. Практической реализацией системы на основе описанной архитектуры стал геопортал Русского географического общества в Республике Мордовия.*

Ключевые слова: *геопортал, ГИС, проектирование систем, трехслойная архитектура.*

Для выполнения задачи построения оптимальной геопортальной системы необходимо использовать опыт, полученный при создании геопортальных систем в странах Европы, США, России, при этом выбирая наиболее удачные инженерные решения и практики. Изучение существующих геопортальных решений, их структуры и особенностей предоставляемого функционала позволило подойти к формированию собственного видения данной в области.

Предлагаемая структура геопортального приложения является иерархической. Она обоснована наличием различных типов данных, представляемых геопорталом: векторные пространственные и растровые картографические данные, фотоматериалы, текстовая и табличная информация, файлы и ссылки на ресурсы.

Для публикации тематической текстовой информации, а также сопутствующих картографических и иллюстративных сведений в предлагаемую структуру геопортала вводится сущность Атласа, как иерархической совокупности сгруппированной по разделам и главам информации. Отображение географических данных является фокусным моментом, на котором сконцентрировано внимание геопортала [1]. Для представления тематических пространственных данных вводится модуль Электронная карта. Особую актуальность он имеет при отображении пространственной информации, полученной в результате применения различных методик моделирования и автоматизированного анализа [2, 3]. Модуль должен быть спроектирован так, чтобы обеспечить комбинированное отображение различных тематических слоев, включающих в свой состав различные объекты с координатной привязкой.

В рамках геопортала реализована функция публикации файловых данных различного типа: документов, карт, космических снимков. Инструментарий администрирования введен с целью обеспечения специалистов возможностью публикации и изменения данных геопортала.

Анализ функциональных требований к геопорталу позволил предложить иерархическую структуру геопортала (Рисунок 1).

Определение функциональных и структурных свойств геопортального приложения позволило подойти к этапу проектирования программно-аппаратной архитектуры геопортала и ее реализации. Исходя из утверждения о том, что геопортал представляет собой информационную систему, основная цель которой – предоставление конечному пользователю интерфейсов доступа к геоданным, целесообразно в работе геопортального приложения выделить три структурных блока, каждый из которых несет свою неотъемлемую функциональность: представления данных, логики приложения и управления данными.

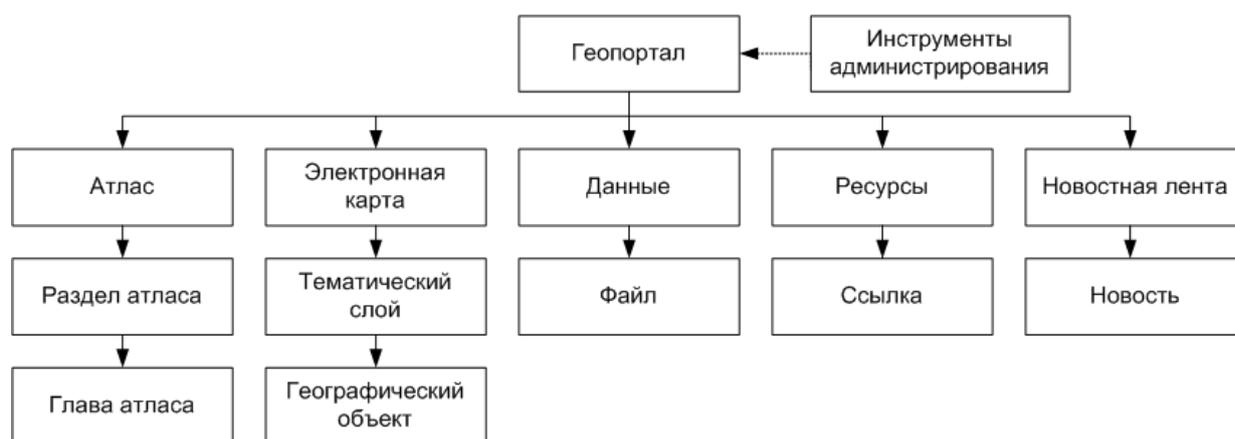


Рис. 1 – Структура геопортала

*Блок представления данных* – терминальный графический интерфейсный компонент, предназначенный для конечного пользователя. Для того чтобы максимально облегчить и унифицировать возможность доступа пользователя к функциям геопортала, блок представления данных целесообразно реализовать в виде тонкого клиента, обеспечив перенос значительной доли вычислительных и обрабатывающих функций в блок логики приложений. Выбор web-браузера в качестве реализации клиентского приложения определяет также необходимость организации представления данных с использованием ряда predetermined технологий: HTML (HyperText Markup Language) для определения структуры документа, CSS (Cascading Style Sheets) для задания стилей, JavaScript для разработки интерактивных интерфейсов. Синхронный доступ к определенным геопортальным данным необходимо получать по URL – единому указателю ресурсов и осуществлять через интерфейс гиперссылок.

С другой стороны, для реализации интерфейсов визуализации различных тематических слоев электронной карты геопортала необходимо осуществлять асинхронный обмен данными между тонким клиентом и сервером. Это достигается через использование подхода AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), позволяющего реализовывать интерактивные web-интерфейсы, осуществляющие фоновый обмен данными между web-клиентом и сервером. Для обмена данными между сервером и клиентом целесообразно использовать JSON (JavaScript Object Notation) – формат, основанный на JavaScript, но являющийся универсальным и языконезависимым. В сравнении с XML, он более легок и менее избыточен. Для передачи геоданных удобно использовать GeoJSON, представляющий собой стандарт, основанный на модификации JSON [The GeoJSON Format Specification].

*Блок логики приложения* предназначен для координации работы системы, обработки команд, принятия логических и оценочных решений, произведения вычислений. Исходя из утверждения о том, что геопортал является комплексной распределенной информационной системой, работающей с базой геоданных и предоставляющей информацию в структурированном виде конечному пользователю, целесообразно предложить организацию блока логики приложения на основе архитектуры Model-view-controller (MVC), определяющую структуру системы как программного комплекса, строящегося на основе компонентов трех типов: моделей, видов и контроллеров. Обмен информацией между блоками логики приложений и представления данных необходимо осуществлять через стек протоколов TCP/IP, через HTTP в роли протокола прикладного уровня передачи данных. Этим обеспечивается возможность доступа к данным геопортала через огромный спектр современных устройств, подключенных к сети Интернета

*Блок управления данными* осуществляет хранение и получение данных с целью их предоставления блоку логики приложения для их обработки. Работа геопортала как комплексной информационной системы обязана базироваться на основе хорошо структурированных, нормализованных данных. Кроме того, особый характер геоданных накладывает отпечаток на выбор инструмента их обработки и хранения: база данных

становится пространственной и система управления базами данных (СУБД) должна их поддерживать в вопросах хранения и обработки. Таким образом, структура геопортальной системы выстраивается в виде трехслойной архитектуры (three-tier architecture), состоящей из ряда взаимосвязанных структурных блоков, разделяющих между собой различные функции: представления данных, логики приложения и управления данными.

Предлагаемая программно-аппаратная архитектура геопортала обладает рядом преимуществ, обусловленных свойствами ее компонентов и особенностями их взаимодействия:

Предлагаемая программно-аппаратная архитектура геопортала обладает рядом преимуществ, обусловленных свойствами ее компонентов и особенностями их взаимодействия:

- оптимальность представления геоданных (обосновывается гибкостью формирования формата представления данных в рамках паттерна MVC, организацией динамических пользовательских интерфейсов, применением AJAX- технологии для асинхронного получения и обновления данных);

- оптимизированное хранение и использование геоданных (обусловлено возможностью объектно-ориентированного применения моделей данных в рамках паттерна MVC, использованием реляционной пространственной СУБД и связанной с ней структурированной базы данных);

- динамичность и быстродействие (обеспечивается формированием оптимизированного программного кода и производительностью современных аппаратных систем);

- расширяемость и модифицируемость (определяется модульной структурой серверного приложения, реализованного по концепции MVC);

- высокая надежность (достигается за счет использования при разработке и развертывании системы надежных аппаратных и программных систем, а также формирования безопасных и защищенных программных компонентов).

Практической реализацией геопортальной системы на основе описанной архитектуры стал геопортал Русского географического общества в Республике Мордовия (<http://geo13.ru>), спроектированный и разработанный по гранту РГО.

#### **Список литературы**

1. Федосин С.А. Технологический процесс решения задачи моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ / С.А. Федосин, С.А. Ямашкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 356–359.
2. Ямашкин А.А. ГИС-моделирование ландшафтного разнообразия / А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин // Геодезия и картография. – 2013. – № 11. – С. 40–46.
3. Ямашкин А.А. Использование нейронных сетей прямого распространения для ландшафтного картографирования на базе космических снимков / А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин // Геодезия и картография. – 2014. – № 11. – С. 52–58.

**АННОТАЦИИ  
ABSTRACTS****Х.Ш. Джураев, К. Комилов, З.С. Норматов  
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО  
ПОТОКА В НЕОГРАНИЧЕННОЙ СРЕДЕ ПРИ НАЛИЧИИ  
ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА**

*Ключевые слова: теплопроводность, распределение температуры, неустойчивость, параметр регуляризации (характерное время релаксации теплового потока), метод искусственной гиперболизации.*

*В работе исследована задача теплопереноса в неограниченной среде при наличии внешнего источника. При заданной начальной температуре, определено её распределение в последующие моменты времени при наличии внешнего источника, методом искусственной гиперболизации.*

**Е.И. Дискаева, О.В. Вечер, А.А. Хащенко  
ГЕНЕРАЦИЯ ПАРА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА РАСПЛАВ –  
ЖИДКОСТЬ**

*Ключевые слова: кипение, несмешивающиеся жидкости, пограничный слой, центр парообразования.*

*Рассматриваются вопросы зарождения и развития центров кипения на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. Подробно изучен случай двухслойной системы металлический расплав – жидкость. Показано, что в основе процесса образования центров кипения на границе раздела жидкости и расплава в первую очередь лежат явления переноса.*

**Д.А. Кудрявцев, В.А. Рыков, Е.Г. Селина, Г.А. Карпов  
МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОГО  
НЕАНАЛИТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ**

*Ключевые слова: уравнение состояния, кроссоверная функция, гипотеза Бенедека, метод псевдокритических точек, диоксид углерода.*

*Рассмотрен метод построения единого уравнения состояния, удовлетворяющего требованиям масштабной теории критических явлений. В структуру уравнения состояния введена новая кроссоверная функция, обеспечивающая плавный переход от области сильно развитых флуктуаций плотности в область разряженного газа. Показано, что предложенное уравнение состояния передает термическую и калорическую поверхности диоксида углерода с малой погрешностью в широком диапазоне параметров состояния, в том числе и в асимптотической окрестности критической точки.*

**С.Н. Панарина, А.В. Сапожникова, Н.Л. Яковлева  
ПРИМЕНЕНИЕ ЭТАЛОННЫХ ВЫБОРОК В  
СТАТИСТИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ**

*Ключевые слова: квантиль, эталонная выборка, оценивание параметров, статистические гипотезы, мощность критерия.*

*В статье рассматривается возможность применения набора квантилей, как априорной информации о распределении, для нахождения оценок параметров и проверки статистических гипотез. Предложенный метод изложен на примере исследования нормального распределения.*

**С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, А.В. Сverdlov  
МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ  
ВЕЩЕСТВ**

*Ключевые слова: критические явления, масштабная теория, фактор ацентричности, критические индексы, уравнения состояния, диформетан, аргон.*

*На основе феноменологической теории критической точки*

**H.Sh. Djuraev, K. Komilov, Z.S. Normatov  
STUDY HEAT FLOW IN AN UNBOUNDED MEDIUM  
WITH EXTERNAL SOURCES**

*Keywords: thermal conductivity, temperature distribution, instability, the regularization parameter (the characteristic relaxation time of heat flow), the method of artificial exaggeration.*

*We study the problem of heat transfer in an infinite medium in the presence of an external source, that is, for a given initial temperature distribution, determine the distribution of temperature in the subsequent time in the presence of external sources by artificial exaggeration.*

**E.I. Diskaeva, O.V. Vecher, A.A. Haschenko  
STEAM GENERATION AT THE INTERFACE OF THE  
MELT – LIQUID**

*Keywords: boiling, immiscible liquid boundary layer, the center of vaporization.*

*The questions of the origin and development centers boiling at the interface of two immiscible liquids are describes. Studied in detail the case of a two-layer metal melt - fluid. It is shown that the basis of the boiling points of the formation at the interface between the liquid and the melt primarily lie transport phenomena.*

**D.A. Kudryavtsev, V.A. Rykov, E.G. Selina, G.A. Karpov  
A METHOD OF CONSTRUCTING A SINGLE NON-  
ANALYTICAL EQUATION OF STATE**

*Keywords: the equation of state, crossover function, Benedek hypothesis, method of pseudocritical points, carbon dioxide.*  
*The method of constructing a single equation of state, meeting the requirements of scale theory of critical phenomena. The structure of the equations of state introduced a new crossover function, which provides a smooth transition from the region of strongly developed fluctuations of density in the area of the discharged gas. It is shown that the proposed equation of state transfers thermal and thermodynamic surface of the carbon dioxide with a small error over a wide range of state parameters, including in the asymptotic vicinity of the critical point.*

**S.N. Panarina, A.V. Sapozhnikova, N.L. Yakovleva  
APPLICATION OF REFERENCE SAMPLES IN  
STATISTICAL RESEARCH**

*Keywords: quantile, the reference sample, parameter estimation, statistical hypotheses, power criterion.*

*The article considers the possibility of applying a set of quantiles, as a priori information about the distribution, to find the parameter estimates and verification of statistical hypotheses. The proposed method is described on the example of the study of the normal distribution.*

**S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, A.V. Sverdlov  
METHOD OF MATHEMATICAL MODELING OF  
THERMAL SURFACE OF INDIVIDUAL SUBSTANCES**

*Keywords: critical phenomena, scale theory, the factor of acentricity, critical indices, equations of state, difluoromethane, argon.*

*On the basis of the phenomenological theory of the critical point proved the structure of the unified equation of state*

обоснована структура единого уравнения состояния, удовлетворяющего масштабной теории критических явлений. В рамках предложенного подхода разработаны единое уравнение состояния аргона в диапазоне температур от 80 K до 1000 K и единое уравнение состояния хладона R32 в диапазоне температур от 136 K до 420 K. Показано, что использование фактора ацентричности позволяет в принципе на основе этих уравнений прогнозировать равновесные свойства индивидуальных веществ в широкой области параметров состояния, включая окрестность критической точки.

В.А. Рыков, С.В. Рыков, Е.Е. Устюжанин  
КОРРЕЛЯЦИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДИАМЕТРА И  
ХИМИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ЛИНИИ  
НАСЫЩЕНИЯ

*Ключевые слова:* криволинейный диаметр, линия насыщения, линия упругости, критические индексы, энтропия, химический потенциал.

Дано термодинамическое обоснование модели  $(1-\alpha)$  линии насыщения. При этом учитывался характер поведения линии упругости и паровой и жидкостной ветвей линии насыщения в соответствии с требованиями масштабной теории (MT) критических явлений. Рассчитан вклад в криволинейный диаметр линии насыщения индивидуальных веществ, который дают энтропия и химический потенциал в области сильно развитых флуктуаций плотности.

А.А. Хаджи  
О НЕРАВЕНСТВЕ ТИПА ФРИДРИХСА

*Ключевые слова:* неравенство Фридрихса,  $N$ -функции, пространство Соболева-Орлича, сферический сегмент.

Доказан аналог интегрального неравенства типа Фридрихса на сферическом сегменте для функций из пространства Соболева-Орлича.

М.К. Хасанов, М.В. Столповский  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ЧАСТИЧНО НАСЫЩЕННОЙ  
ЛЬДОМ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ КОНЕЧНОЙ  
ПРОТЯЖЕННОСТИ

*Ключевые слова:* газовые гидраты, подвижные границы фазовых переходов, метод ловли фронта в узел пространственной сетки.

Исследуется образование гидрата изо льда при инжекции газа в пористую среду. Методом ловли фронта в узел сетки получено численное решение задачи. Анализируется влияние льдонасыщенности, а также параметров на границе среды на особенности протекания процесса.

Е.Н. Шубабко  
ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ С  
ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМ РОСТОМ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
НЕВАНЛИННЫ

*Ключевые слова:* целая функция, характеристика Неванлинны, весовые классы целых функции, корневые множества, факторизация.

В работе представлены результаты исследования класса целых функций, допускающего экспоненциальный рост характеристики Неванлинны. Уточнены достаточные условия на корневые множества этого класса и получено факторизационное представление.

О.В. Белова, А.В. Лисов, А.А. Леонтьевский  
СИНТЕЗ КСИЛОЛИГОСАХАРИДОВ С ПОМОЩЬЮ  
БИОКАТАЛИЗАТОРА – КСИЛАНАЗЫ БАКТЕРИИ  
CELLULOMONAS FLAVIGENA

*Ключевые слова:* биокатализатор, ксиланаза, ксилолигосахариды, биокаталитический синтез.

Получен препарат биокатализатора - рекомбинантной

satisfying scale theory of critical phenomena. Under the proposed approach, a single equation of state of argon in the temperature range from 80 K To 1000 K and a single equation of state of R32 in the temperature range from 136 K To 420 K. It is shown that the use of acentricity allows, in principle, on the basis of these equations postulates the understanding of the equilibrium properties of individual substances in a wide range of state parameters, including the neighborhood of the critical point.

V.A. Rykov, S.V. Rykov, E.E. Ustyuzhanin  
THE CORRELATION OF THE CURVILINEAR DIAMETER  
AND CHEMICAL POTENTIALS AT SATURATION LINE

*Keywords:* curvilinear diameter, saturation line, the line of elasticity, critical indices, entropy, chemical potential.

Given the thermodynamic basis for the model  $(1-\alpha)$  of the saturation line. Taking into account the nature of the behavior of the line of elasticity and the vapor and liquid branch of the saturation line in accordance with the requirements of scale theory of critical phenomena. Calculated contribution to the curvilinear diameter of the saturation line of individual substances, which give the entropy and the chemical potential in the area of strongly developed density fluctuations.

A.A. Khadzhi  
ON INEQUALITIES OF THE FRIEDRICHS TYPE

*Keywords:* inequality of the Friedrichs,  $N$ - functions, the Sobolev-Orlich spaces, spherical segment.

Proved the integral analogue of the inequality of the Friedrichs type for spherical segment for functions from the Sobolev-Orlich spaces.

М.К. Хасанов, М.В. Столповский  
NUMERICAL SIMULATION OF HYDRATE FORMATION  
IN PARTIALLY SATURATED POROUS MEDIUM ICE  
FINITE EXTENT

*Keywords:* gas hydrates, moving boundaries of phase transitions, the method of catching fronts in units of spatial grid.

We study hydrate formation of ice during the injection of gas into a porous medium. Method of fishing in front of the grid node the numerical solution of the problem. The influence of the saturation of the ice, as well as options on the border environment on the characteristics of the process.

E.N. Shubabko  
ABOUT ONE CLASS OF ENTIRE FUNCTIONS WITH THE  
EXPONENTIAL GROWTH OF THE NEVANLINNA  
CHARACTERISTIC

*Keywords:* entire function, Nevanlinna characteristic, weight class of entire functions, zero sets, factorization.

In the article the results of the study class of entire functions, allowing the exponential growth of the Nevanlinna characteristic are considered. The author has refined the sufficient conditions on the zero set of this class and received the factorization representation.

O.V. Belova, A.V. Lisov, A.A. Leontevskiy  
XYLITOL SYNTHESIS OF OLIGOSACCHARIDES USING  
BIOCATALYST - XYLANASE BACTERIA  
CELLULOMONAS FLAVIGENA

*Keywords:* biocatalyst, xylanase, xylooligosaccharides, biocatalytic synthesis.

A preparation of the biocatalyst - a recombinant xylanase from

ксилазы из бактерии *Cellulomonas flavigena*. В работе показаны результаты гидролиза ксилана под воздействием ксиланазы. Показано, что основными продуктами гидролиза ксилана под воздействием ксиланазы являются ксилобиоза и ксилотетраоза. Результаты указывают на возможность использования ксиланазы бактерии *Cellulomonas flavigena* для синтеза ксилоолигосахаридов.

О.В. Гребенникова, Е.И. Шиманская, В.П. Молчанов  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
МАГНИТООТДЕЛЯЕМОГО КАТАЛИЗАТОРА НА  
ОСНОВЕ ПЕРОКСИДАЗЫ ДЛЯ ОКИСЛЕНИЯ 2,3,6-  
ТРИМЕТИЛФЕНОЛА

*Ключевые слова:* магнитные наночастицы, пероксидаза, иммобилизация, окисление.

В данной работе описывается способ синтеза биокатализатора для окисления 2,3,6-триметилфенола пероксидом водорода. Биокатализатор представляет собой пероксидазу, иммобилизованную на магнитные наночастицы, которые были синтезированы методом соосаждения и полиольным методом. Для полученного биокатализатора представлены физико-химические характеристики: просвечивающая электронная микроскопия, изучение магнитных характеристик с помощью вибрационного магнитометра и низкотемпературная адсорбция азотом.

А.Е. Дудник, А.С. Чепурненко, С.В. Литвинов  
НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ С ПВХ ИЗОЛЯЦИЕЙ

*Ключевые слова:* теплопроводность, метод конечных элементов, электрический кабель, изоляция, ПВХ-пластикаты.

Получено решение нестационарной задачи теплопроводности для одножильного медного кабеля с изоляцией из ПВХ-пластиката. Решение выполнено численно при помощи метода конечных элементов с учетом внутренних источников тепловыделения, а также конвективного теплообмена на границе между изоляцией и окружающей средой. Представлены графики роста температуры кабеля при различной силе тока, а также распределение температуры по толщине изоляции.

Н.В. Лакина, И.П. Шкилева, В.Ю. Долуда, В.В. Шумилов,  
О.С. Бурматова, К.Е. Сальникова, М.А. Рубин, Е.И.  
Шиманская

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ  
БИОКАТАЛИЗАТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИНТЕЗЕ  
БИОДИЗЕЛЯ

*Ключевые слова:* биокатализатор, липаза, ИК-Фурье спектроскопия, реакция переэтерификации, сверхкритические условия.

В статье представлены результаты исследования биокатализаторов на основе липазы, иммобилизованной на модифицированную поверхность магнитных наночастиц. При обработке поверхности магнитных наночастиц модифицирующим и сшивающим агентами происходит образование прочных ковалентных связей между соответствующими функциональными группами, что подтверждается данными ИК-спектроскопии образцов. Проведение реакции переэтерификации в сверхкритических условиях в присутствии таких биокатализаторов отличалось наибольшей эффективностью по сравнению с реакцией переэтерификации, проводимой при атмосферном давлении.

А.И. Пичугина, В.И. Луцик  
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ  
МИЛЛЕРИТА В УСЛОВИЯХ РАВНОДОСТУПНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ

bacteria *Cellulomonas flavigena* was obtained. The paper shows the results of hydrolysis of xylan by xylanase. It is shown that the main products of hydrolysis under the influence of xylan xylanase is xylobiose and xyloetraose. The results indicate the possibility of using the bacterial xylanase from *Cellulomonas flavigena* for synthesis of xylooligosaccharides.

O.V. Grebennikova, E.I. Shimanskaya, V.P. Molchanov  
PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF  
THE MAGNETIC SEPARATED CATALYST BASED ON  
THE PEROXIDASE FOR THE OXIDATION OF 2,3,6-  
TRIMETHYLPHENOL

*Keywords:* magnetic nanoparticles, peroxidase, immobilization, oxidation

This paper describes a method of synthesis of a biocatalyst for oxidation of 2,3,6-trimethylphenol with hydrogen peroxide. Biocatalyst is a peroxidase immobilized on the magnetic nanoparticles. It has been synthesized by a coprecipitation method and a polyol method. Such physicochemical characteristics as transmission electron microscopy, the magnetic characteristics with a vibrating magnetometer and low-temperature nitrogen adsorption for the resulting biocatalyst is represented.

A.E. Dudnik, A.S. Chepurmenko, S.V. Litvinov  
NON-STATIONARY PROBLEM OF HEAT  
CONDUCTIVITY FOR ELECTRIC CABLE WITH PVC  
INSULATION

*Keywords:* heat conduction, finite element method, electric cable, insulation, PVC compounds

We obtained the solution of the nonstationary heat conduction problem for single core copper cable with insulation of PVC compound. The solution is made numerically by using the finite element method taking into account the internal heat sources and convective heat transfer at the boundary between the insulation and the environment. The graphs of temperature rise in cable under different voltage and temperature distribution on thickness of insulation are given.

N.V. Lakina, I.P. Shkileva, V.Yu. Doluda, V.V. Shumilov,  
O.S. Burmatova, K.E. Salnikova, M.A. Rubin, E.I.  
Shimanskaya

THE INVESTIGATION OF FERMENTATIVELY  
TRANSESTERIFICATION REACTION USED IN THE  
SYNTHESIS OF BIODIESEL

*Keywords:* biocatalyst, lipase, IR-Fourier spectroscopy, reaction of a transesterification, supercritical conditions.

The results of research of biocatalysts on the basis of the lipase immobilized on the modified surface of magnetic nanoparticles is given in the article. The analysis of the obtained experimental data on IR-spectroscopy of samples of biocatalysts showed that when processing a surface of magnetic nanoparticles by the modifying and sewing agent, there is a formation of strong covalent bonds between the relevant functional groups. Carrying out the reaction of a transesterification in supercritical conditions in the presence of such biocatalysts differed in the greatest efficiency in comparison with reaction of the transesterification which is carried out with an atmospheric pressure.

A.I. Pichugina, V.I. Lytsik  
INVESTIGATION OF DISSOLUTION KINETICS OF  
MILLERITE AT THE CONDITIONS OF AN EQUALLY  
ACCESSIBLE SURFACE

**Ключевые слова:** миллерит, скорость растворения, эффективная энергия активации, константа скорости, полиномиальная модель.

В работе представлены результаты изучения кинетики гидролитического и окислительного растворения миллерита в растворах серной, азотной кислот и пероксида водорода. Методом вращающегося диска определены значения удельной скорости ( $W$ , моль/дм<sup>2</sup>с) перехода никеля в раствор. Получены адекватные математические модели процесса, позволяющие рассчитать скорость растворения миллерита при одновременном изменении концентрации реагентов ( $C_n$ , моль/дм<sup>3</sup>), температуры ( $T$ , К), частоты вращения диска ( $\omega$ , с<sup>-1</sup>) и продолжительности ( $\tau$ , с). Установлены режимы взаимодействия, выявлены лимитирующие стадии и рассмотрены механизмы. Рассчитаны значения эффективной энергии активации ( $E_a$ ) и константы скорости растворения миллерита ( $K_{298}$ ).

Е.А. Прутенская, И.В. Ушаповский, Э.М. Сульман, А.С. Васильев  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ КАК БИОСТИМУЛЯТОРОВ НА СЕМЕНАХ ЛЬНА

**Ключевые слова:** гуминовые вещества торфа, лён, стрессовые условия.

В работе показано, что гуминовые вещества торфа, независимо от их происхождения, в оптимальных дозах стимулируют прорастание семян льна, увеличивают сырую биомассу проростков. Гуминовые вещества повышают неспецифическую устойчивость семян в стрессовых условиях. Показано разнообразие отклика сортов льна в широком диапазоне концентраций – от стимуляции до ингибирования ростовых процессов.

В.В. Шумилов, Л. Нупа, Д.Ю. Мурзин, Э.М. Сульман  
КАТАЛИТИЧЕСКИЕ НОСИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**Ключевые слова:** пористые материалы, каталитический носитель, гидрирование, восстановительное аминирование. Целью настоящего исследования является изучение возможности проведения реакций гидрирования и восстановительного аминирования на основе пористой керамической каталитической системы. Приведен обзор пористых материалов, применяемых в химической промышленности. Рассмотрены основные методы производства пористой керамики, используемой в гетерогенном катализе. Осуществлен подбор и оптимизация подходящей технологии создания пористого каталитического носителя, пригодного для проведения искомым реакций.

С.Б. Андреев  
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Ключевые слова:** управление, бизнес-процесс, контроллинг, многономенклатурное производство.

В данной статье представлен системный подход к управлению на основе анализа использованных ресурсов предприятия с проекцией на конечные продукты в разрезе статей затрат.

В.В. Аникеев, В.А. Бузин  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

**Ключевые слова:** фильтрующий элемент, воздухоочиститель, степень очистки воздуха, сопротивление, ресурс двигателя.

**Keywords:** millerite, dissolution rate, apparent activation energy, specific reaction rate, polynomial model.

The paper presents the results of studying the kinetics of hydrolytic and oxidative dissolution of millerite in the solutions of sulfuric acid, nitric acid and hydrogen peroxide. The values of the specific rate of nickel transfer into the solution ( $W$ , mol/dm<sup>2</sup>s) were determined using rotating disc method. The adequate mathematical models of the process were obtained. These models allow calculating the dissolution rate of millerite while reagent concentration ( $C_n$ , mol/dm<sup>3</sup>), temperature ( $T$ , K), the rotation disk frequency ( $\omega$ , s<sup>-1</sup>) were varying. The interaction modes were revealed by the identification of the limiting stage and the mechanisms. The values of apparent activation energy ( $E_a$ ) and rate constants of dissolution of millerite ( $K_{298}$ ) were calculated.

Е.А. Prutenskaya, I.V. Uschapovsky, E.M. Sulman, A.S. Vasiljev  
EFFICIENCY OF APPLICATION OF HUMIC SUBSTANCES AS BIOSTIMULATORS ON FLAX SEEDS  
**Keywords:** humic substances of peat, biostimulants, flax, stressful conditions.

It is shown that humic substances regardless of their origin in the pro-optimal doses stimulate the germination of seeds of flax, increase plant biomass. Humic substances to increase nonspecific resistance of seeds in a stressful environment and increase druzhnost seedlings compared to the control. The variety of response test organism.

V.V. Shumilov, L. Hupa, D.Yu. Murzin, E.M. Sulman  
PALLADIUM-CONTAINING CATALYSTS BASED ON FUNCTIONALIZED HYPERCROSSLINKEDPOLYSTYRENE FOR SUZUKI CROSS-COUPLING REACTION

**Keywords:** porous materials, catalytic carriers, hydrogenation, reductive amination.

The purpose of this study is to investigate the possibility of hydrogenation and reductive amination reactions on the basis of porous ceramic catalytic system. A review of the porous materials used in the chemical industry is given. The main methods of producing porous ceramics used in heterogeneous catalysis is reviewed. Selection and optimization of suitable technology of porous catalyst carrier eligible for the required reactions is carried out.

S.B. Andreev  
SYSTEM APPROACH TO MANAGEMENT MULTINOMENCLATURE PRODUCTION BASED ON THE ANALYSIS OF RESOURCES USED IN THE ENTERPRISE  
**Keywords:** management, business-process, controlling, multiproduct production.

This article presents a system approach to management based on the analysis of resources used in the enterprise with the projection of the end products in the context of cost items.

V.V. Anikeev, V.A. Buzin  
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EXISTING TYPES OF AIR CLEANERS AUTOMOTIVE VEHICLES

**Keywords:** filter element, air filter, purification air, resistance, durability of the engine.

This article describes how air purification in automobile engines taking into account the effect of air purifiers on the

*В статье рассматриваются способы очистки воздуха используемые на автотракторных двигателях с учетом типов воздухоочистителей. Проанализированы значения величин степени очистки и степени сопротивления воздуха для различных типов воздухоочистителей автотракторных двигателей. Предложен расчет степени очистки воздуха от пыли и степени сопротивления воздухоочистителя.*

**А.Н. Аношкин, Д.И. Федоровцев, П.В. Писарев, В.М. Осокин  
«АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТА В ВИДЕ РАССЛОЕНИЯ  
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ФЛАНЦА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ»**

*Ключевые слова: авиационные двигатели, узлы соединений, композиционные материалы, численное моделирование, дефект в виде расслоения, напряженно-деформированное состояние, фланец, слоистая модель.*

*В работе проведен анализ влияния дефекта в виде расслоения, на напряженно-деформированное состояние (НДС) фланца. Рассматриваемый дефект был помещен между первым и вторым слоем внешнего угла фланца. Отработана методика расчета НДС фланца с дефектом в виде расслоения. По результатам вычислительных экспериментов проведен анализ полей напряжений, в наиболее нагруженных участках фланца.*

**Р.Г. Асадуллаев, И.С. Шаповалова, А.В. Кисиленко  
РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ  
ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ В  
ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРЕ**

*Ключевые слова: функциональная модель, оценка риска, техногенная сфера, база знаний, рискогенные факторы, рискогенная отрасль.*

*В представленной статье авторы освещают проблему управления и оценки социальных рисков, возникающих в техногенной сфере. Выявлены особенности процесса оценки социальных рисков с точки зрения его автоматизации. Определены и систематизированы факторы, детерминирующие возникновение риска. Построена функциональная модель оценки социальных рисков, учитывающая экспертные знания и специфику техногенной сферы.*

**Л.В. Беляев, А.Б. Иванченко, А.В. Жданов  
ПРИМЕНЕНИЕ CAD/CAM/CAE/RP/PLM-ТЕХНОЛОГИЙ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ  
СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА**

*Ключевые слова: искусственное сердце, ИППИ-технологии, CAD/CAM/CAE/RP-системы.*

*В данной статье рассматривается подход к проектированию пульсирующих систем искусственного сердца на основе применения CAD/CAM/CAE/RP/PLM-технологий, который реализован путем замены части физических экспериментальных исследований на численные, осуществляемые при помощи компьютерного моделирования и информационной поддержки каждого этапа проектирования.*

**Н.Н. Беспалов, Л.П. Дудина  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В  
СИЛОВЫХ ТИРИСТОРАХ БЕСЩЕТОЧНЫХ  
ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ИСПОЛЗУЮЩИХСЯ  
ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ МОЩНЫХ СИНХРОННЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Ключевые слова: силовой тиристор, эрозия, кремний, схема управления, бесщеточное возбуждающее устройство, синхронный двигатель.*

*Проведены экспериментальные исследования переходных процессов в силовых тиристорах бесщеточных возбуждающих устройств для мощных синхронных*

*resource engine. Analyzed variables degree of purification and the degree of air resistance for various types of air cleaners for automobile engines. The proposed calculation of the degree of air purification from dust, and the degree of resistance of the air cleaner.*

**A.N. Anoshkin, D.I. Fedorovtcev, P.V. Pisarev, V.M. Osokin  
ANALYSIS OF INFLUENCE DEFECTS IN THE FORM OF  
DELAMINATION ON STRESS-STRAIN STATE FLANGES  
MADE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

*The purpose of the present work is analysis of influence defects in the form of delamination on stress-strain state (SSS) of the flange. Viewed defect was placed between the first and second layer of the outer corner of the flange. The technique of calculating the SSS flange with a defect in the form of a delamination. According to the results of computational experiments analyzed the stress fields in the most loaded sections of the flange.*

**R.G. Asadullaev, I.S. Shapovalova, A.V. Kisilenko  
DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL MODEL OF THE  
PROCESS OF ASSESSMENT OF SOCIAL RISK IN  
TECHNOGENIC SPHERE**

*Keywords: functional model, risk assessment, technogenic sphere, knowledge base, risk-generating factors, risk-generating industry.*

*In the present article, the authors highlight the problem of managing and evaluating social risks encountered in the field of man-made. The features of social risk assessment in terms of automating the process of evaluation. Defined and systematized factors determining the occurrence of the risk. It builds a functional model for evaluating social risks, which takes into account the expertise and specificity of technogenic sphere.*

**L.V. Belyaev, A.B. Ivanchenko, A.V. Zhdanov  
APPLICATION OF CAD/CAM/CAE/RP/PLM-  
TECHNOLOGIES FOR IMPLANTABLE ARTIFICIAL  
HEART SYSTEM DESIGN**

*Keywords: artificial heart, CALS-technologies, CAD/CAM/CAE/RP-systems*

*This article describes an approach to the design of pulsative artificial heart through the use of CAD/CAM/CAE/R/PLM-technologies, which is implemented by changing the physical part of experimental research on numerical carried out using computer modeling and information support of each stage of the design.*

**N.N. Bespalov, L.P. Dudina  
RESEARCH OF TRANSIENTS IN POWER THYRISTORS  
BRUSHLESS EXCITING DEVICES THAT ARE USED TO  
EXCITATION OF POWERFUL SYNCHRONOUS MOTORS**

*Keywords: power thyristors, erosion, silicon, the control circuit, brushless exciter device, synchronous motor.*

*Experimental studies of transients in power thyristors brushless exciting devices for high power synchronous motors to determine the cause of failures of thyristors. Developed a new technical solution management systems that reduce the likelihood of failures.*

двигателей для определения причины отказов тиристоров. Разработано новое техническое решение системы управления, обеспечивающее снижение вероятности отказов.

Н.Н. Беспалов, С.С. Капитонов, М.В. Ильин, А.В. Евишев  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОТЕРЬ В СИЛОВЫХ ДИОДАХ В СОСТОЯНИИ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЫ

*Ключевые слова:* преобразователь, силовой полупроводниковый диод, полупроводниковая структура, диффузионная ёмкость, энергия потерь.

В статье на основе моделирования исследованы временные зависимости прямого тока через силовых диоды типа Д161-200, падения напряжения на их полупроводниковых структурах и электрической энергии потерь в них в состоянии высокой проводимости.

N.N. Bepalov, S.S. Kapitonov, M.V. Ilyin, A.V. Evishev  
DETERMINATION OF ELECTRICAL ENERGY LOSSES IN POWER DIODE IN A HIGH CONDUCTIVITY AT DIFFERENT INITIAL VALUE OF THE TEMPERATURE OF THE SEMICONDUCTOR STRUCTURE

*Keywords:* inverter, power semiconductor diode, a semiconductor structure, the active and reactive current, diffusion capacity, energy losses.

The article examines the time dependence of the direct current through the power diode type D161-200, the voltage drop across the semiconductor structures and their electrical power losses in them in a state of high conductivity.

С.С. Бородин, С.М. Дмитриев, А.А. Добров И.В. Каратушина, А.Н. Пронин, А.Е. Хробостов  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ЗА ПЛАСТИНЧАТОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ РЕШЕТКОЙ ТОПЛИВНОЙ КАССЕТЫ ТВСА-12PLUS

*Ключевые слова:* ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, гидродинамика теплоносителя, перемешивающая решетка.

Представлены результаты и анализ экспериментальных данных по исследованию локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя за перемешивающей решеткой типа «порядная прогонка» для ТВСА-12PLUS.

S.S. Borodin, S.M. Dmitriev, A.A. Dobrov, I.V. Karatushina, A.N. Pronin, A.E. Khrobostov  
EXPERIMENTAL RESEARCHES OF COOLANT FLOW BEHIND THE MIXING GRID OF TVSA12-PLUS FUEL ASSEMBLY

*Keywords:* nuclear reactor, fuel assembly, hydrodynamics of coolant, mixing grid.

The main aim of research was study hydrodynamic and mass exchange heat-carrier flow features in fuel assemblies using the belts of mixing grids «run row upon row».

Е.Ф. Бояркина, А.С. Терехов  
СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА СРЕДНЕГОДОВОЙ ПРОБЕГ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*Ключевые слова:* среднегодовой пробег автомобиля, пробег легковой автомобиля.

Анализируются результаты научных исследований, посвященных рассмотрению закономерностей влияния факторов на среднегодовой пробег автомобилей. Приводятся математические модели, полученные учеными.

E.F. Boyarkina, A.S. Terehov  
THE COMPARISON OF THE DIFFERENT APPROACHES TO THE FACTORS' INFLUENCE ON THE ANNUAL CAR RUN STUDY

*Keywords:* the annual run of the automobile, the car run. This paper presents the results of the science research, devoted to the factors' influence on the annual run mechanism study. The author describes the mathematical models, developed by the different scientists.

Е.Ф. Бояркина, А.С. Терехов  
ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СТЕПЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРКА АВТОМОБИЛЕЙ

*Ключевые слова:* коэффициент использования парка, коэффициент присутствия автомобиля на УДС.

В статье анализируются показатели, характеризующие степень использования парка автомобилей. Подробно описывается эксперимент для сравнения коэффициентов использования парка и присутствия автомобиля на УДС.

E.F. Boyarkina, A.S. Terehov  
THE RATIO OF THE CAR PARK USE MEASURE  
*Keywords:* the car use ratio, the car on the traffic network presence ratio

This paper presents the analysis of the indexes, that characterize the measure of the car park use. The author describes in details the experiment, hold in order to compare the car use ratio and the car on the traffic network presence ratio.

А.П. Буйносов, И.В. Умылин  
НОВЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ГРЕБНЕСМАЗЫВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, подвижной состав, колесная пара, бандаж, гребень, смазывание, система, управление, блок.

В статье описывается разработанный новый блок автоматического управления системой гребнесмазывания железнодорожного подвижного состава, реверсирования и автоматического регулирования периодичности времени смазывания гребней колесных пар.

A.P. Buinosov, I.V. Umylin  
NEW CONTROL PACKAGE OF SYSTEM OF GREBNESMAZYVANIYA OF THE ROLLING STOCK  
*Keywords:* railway transport, rolling stock, wheelpair, bandage, ridge, greasing, system, steering, block of ridges of wheelpairs.

In article the developed new block of automatic control of system of a grebnesmazvaniye of the rolling stock, a reversal and automatic regulation of frequency of time of greasing of ridges of wheelpairs is described.

А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова  
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ГОДНОСТИ СЛОЖНЫХ

A.P. Buinosov, N.G. Fetisova  
ANALYSIS OF THE CONDITION OF STRUCTURAL COMPONENTS OF THE VALIDITY OF DIFFICULT

ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, динамика, сложность, система, годность, структура, составляющие, состояние, анализ.

*В статье приведен теоретический анализ состояния структурных составляющих годности сложных динамических систем или оборудования и их изменения в процессе эксплуатации на железнодорожном транспорте.*

A.P. Buiunosov, I.O. Shepeleva

СПОСОБ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ БАНДАЖЕЙ  
КОЛЕСНЫХ ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, колесная пара, бандаж, упрочнение, плазменное, способ.

*В статье приведены результаты нового способа струйного плазменного упрочнения гребней бандажей колесных пар железнодорожного транспорта в азоте, приведены структура и свойства термоупрочненного колеса, результаты эксплуатационных исследований.*

A.P. Buiunosov, I.O. Shepeleva

MODE OF PLASMA HARDENING OF BANDAGES OF  
WHEELPAIRS OF RAILWAY TRANSPORT

*Keywords:* railway transport, wheelpair, bandage, hardening, plasma, mode.

*In article results of a new mode jet plasma hardenings of ridges of bandages of wheelpairs of railway transport are given in nitrogen, the structure and properties of the thermostrengthened wheel, results of operational probes are given.*

V.S. Vakulyuk, V.K. Shadrin, V.V. Lunin, P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЁННОГО СЛОЯ НА  
ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ  
ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ  
ДЕФОРМИРОВАНИИ

*Ключевые слова:* толщина упрочнённого слоя, предел выносливости, критерий среднеинтегральных остаточных напряжений.

*В работе представлены результаты исследования влияния различных видов поверхностного упрочнения на толщину упрочнённого слоя и предел выносливости образцов с концентраторами напряжений. Для оценки результатов использовались два критерия – осевых остаточных напряжений на поверхности опасного сечения образца  $\sigma_z^{нов}$  и среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$ .*

V.S. Vakulyuk, V.K. Shadrin, V.V. Lunin, P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov

INFLUENCE OF HARDENED LAYER THICKNESS ON  
THE FATIGUE POINT UNDER THE ANTICIPATORY  
SURFACE PLASTIC DEFORMATION

*Keywords:* hardened layer thickness, fatigue point, the average integral residual stresses criterion

*The paper presents the results of studying the influence different types of surface hardening have on hardened layer thickness and fatigue point of specimens with stress raiser. To evaluate the research results two criteria were used – average integral residual stresses and axial residual stresses on critical section surface specimen.*

N.R. Valiev, R.A. Valiev

ОСОБЕННОСТИ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ КАРБИДНОГО КЛАССА  
ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

*Ключевые слова:* мартенситное превращение, остаточный аустенит, фазовый состав, инструментальная сталь, лазерная обработка.

*Методами ядерной гамма-резонансной спектроскопии и рентгеноструктурного анализа исследовано фазовое состояние инструментальной стали с высоким содержанием карбидообразующих элементов до и после лазерной обработки. Лазерное облучение уменьшает излишнее количество остаточного аустенита в тонком поверхностном слое стали, обусловленное традиционной термической обработкой. Интенсивность мартенситного превращения зависит от параметров лазерного луча.*

N.R. Valiev, R.A. Valiev

FEATURES OF MARTENSITIC TRANSFORMATION IN  
THE CARBIDE TOOL STEEL AT THE LASER  
TREATMENT

*Keywords:* martensitic transformation, retained austenite, phase composition, tool steel, laser treatment.

*There was investigated the phase composition of the tool steel with high content of carbide forming elements before and after the laser treatment. The technique of Mossbauer Effect study and X-ray phase analysis used. Laser irradiation reduces excessive amount of retained austenite in a thin surface layer of the steel, which has been formed by traditional heat treatment. The intensity of the martensite depends on the parameters of the laser beam.*

А.В. Григорьев, Н.А. Гаркуша, А.А. Юсупова  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД СТАТИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА КОДА НА ОСНОВЕ ПОИСКА ШАБЛОНОВ  
АЛГОРИТМОВ

*Ключевые слова:* статический анализ кода, OWL, семантическая паутина, дескрипционная логика.

*В статье предлагается метод проверки программного кода на наличие ошибок в реализуемых алгоритмах. Автором предлагается использовать методы семантической паутины, в частности язык OWL и табличный алгоритм для определения согласованности баз знаний.*

A.V. Grigoryev, N.A. Garkusha, A.A. Yusupova  
INTELLIGENT TECHNIQUE OF STATIC CODE  
ANALYSIS BASED ON SEARCH OF ALGORITHMS  
PATTERNS

*Keywords:* Static code analysis, OWL, semantic web, description logics.

*The article represents source code checking method for defining bugs in implemented algorithms. Authors offer to use semantic web methods, in particular OWL formal language and tableau algorithm for knowledge base consistency checking. General directions of research using results of the proposed work are presented in the conclusion.*

И.В. Гуляев, М.А. Бобров, И.С. Юшков, А.В. Волков, А.А.

Попов

**БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

*Ключевые слова: определение положения ротора, бездатчиковое управление, потокосцепление, ток, синхронный двигатель с постоянными магнитами.*

*В статье рассматриваются системы бездатчикового управления синхронным двигателем с постоянными магнитами. Дается описание способа определения положения ротора при бездатчиковых принципах управления.*

I.V. Gulyaev, M.A. Bobrov, I.S. Yushkov, A.V. Volkov, A.A.

Popov

**SENSORLESS CONTROL OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR**

*Keywords: rotor position estimation, sensorless control, flux linkage, current, permanent magnet synchronous motor.*

*The article deals sensorless control of synchronous motor with permanent magnets. Describe a method of estimation the rotor position sensorless control principles.*

И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов, Е.И. Ионова, М.А.

Бобров

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ УПРАВЛЕНИИ МОМЕНТОМ**

*Ключевые слова: Вентильный двигатель постоянного тока, прямое управление моментом, уравнения двигателя, синхронный двигатель, потокосцепление, ротор.*

*Разработка теории прямого управления моментом позволила достичь больших успехов в управлении бесконтактным двигателем постоянного тока и синхронным двигателем с постоянными магнитами. С целью реализации непосредственного управления моментом для бесконтактного двигателя постоянного тока проведены многочисленные исследования. Данный метод включает в себя вычисление магнитного потока двигателя и крутящего момента на основе измеренного значения напряжения и тока двигателя. Прямое управление моментом является одной из форм релейного управления.*

I.V. Gulyaev, A.V. Volkov, E.I. Ionova, A.A. Popov, M.A.

Bobrov

**COMPARATIVE REVIEW OF PMSM AND BLDCM BASED ON DIRECT TORQUE CONTROL METHOD**

*Keywords: BLDC, direct torque control, equation the motor, synchronous motor, flux linkage, rotor.*

*The direct torque control theory has achieved great success in the control of BLDC motor and PMS Motor. In order to implement the direct torque control for contactless DC motor numerous studies. In order to implement the direct torque control for contactless DC motor numerous studies. This method includes calculating the magnetic flux and torque of the engine based on the measured values of voltage and current of the motor. Direct torque control is a form of relay control.*

Н.В. Демина, Д.Н. Куклев, Н.В. Куклева

**О ПРОБЛЕМАХ В ОБЛАСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ**

*Ключевые слова: контейнеры, контейнерные перевозки, железная дорога, грузовладельцы, нормативные документы. В статье анализируется нормативная литература, регламентирующая перевозки крупнотоннажных контейнеров по железным дорогам России. Выявлены противоречия, которые затрудняют организацию контейнерных перевозок, в том числе, вопросы взаимодействия перевозчика и грузовладельцев.*

N.V. Demina, D.N. Kuklev, N.V. Kukleva

**ABOUT PROBLEMS IN THE FIELD OF RAILWAY TRANSPORTATION OF LARGE CONTAINERS**

*Keywords: containers, container transportation, railway, customers, regulatory documents.*

*The article analyzes the legal literature governing the transportation of large containers by Russian railways. Contradictions that complicate the organization of container transportations, including, in the interaction of the carrier and the cargo interests are revealed.*

А.В. Жданов, В.В. Морозов

**УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА**

*Ключевые слова: компрессионно-дистракционный аппарат (КДА), автоматизированный чрескостный остеосинтез (АЧО), технические требования к аппарату.*

*В статье дан краткий анализ аппаратов для автоматизированного остеосинтеза и управляемой регенерации костной ткани. Проанализированы подходы к построению аппаратов, даны технические требования к перспективным конструкциям, обоснована необходимость использования монострержневых аппаратов*

A.V. Jdanov, V.V. Morozov

**DEVICE FOR THE CONTROLLED TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS**

*Keywords: compression-distraction apparatus (KDA), controlled transosseous osteosynthesis (ATO), technical requirements.*

*The article presents a brief analysis of osteosynthesis devices for automated and controlled bone regeneration. Approaches to the construction of vehicles, given the technical requirements for prospective designs, the necessity of use of devices monosterzhnyevyh*

Г.П. Жигулин, А.Е. Лысенко

**ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО УРОВНЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА КОНСТРУКТОРСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

*Ключевые слова: управление информационной безопасностью, процессный подход, логико-математическая модель.*

G.P. Zhigulin, A.E. Lysenko

**LOGICAL-MATHEMATICAL MODEL OF OPERATIONAL LEVEL OF INFORMATION SECURITY MANAGEMENT BASED ON PROCESS APPROACH IN ENGINEERING ORGANIZATION OF THE MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX**

*Keywords: Information security management, process approach, logical-mathematical model.*

*Structural scheme of the logical-mathematical model of operational level information security management is*

Разработана структурная схема логико-математической модели оперативного уровня управления информационной безопасностью, определены состояния объекта управления. В работе приводится математическое описание зависимостей значений состояний объекта управления. Акцентировано внимание на некоторых особенностях состояний объекта управления и процессов, которые влияют на значения этих состояний.

Т.Н. Иванова, А.А. Мясникова, Е.С. Семенова, А.В. Чепкасов

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

**Ключевые слова:** фрезерование, фрезерный станок, частота вращения, шпиндель, скорость резания, обрабатываемая поверхность, шероховатость.

На сегодняшний день в металлообработке широко распространены фрезерные станки. Они предназначены для обработки наружных, внутренних, плоских и фасонных поверхностей, пазов, канавок. Обработка ведется многозубыми фрезами. У всех фрезерных станков главным движением является вращение фрезы. Заготовку устанавливают на прямоугольный стол. С каждым годом эти станки модернизируют, роботизируют, что значительно увеличивает производительность. Анализируя историю развития фрезерных станков с XVII по XX века в России были выявлены конструктивные особенности станков и возможности их совершенствования. Фрезерные станки классифицируют по компоновке (количеству и расположению шпинделей) или по назначению. В работе определено число степеней регулирования частоты вращения шпинделя, выявлена зависимость между скоростью резания и шероховатостью при фиксированной глубине фрезерования. Проведено моделирование получаемой фрезеруемой поверхности. Особенностью данного моделирования является получение фрагмента фрезеруемой поверхности от параметра высоты микронеровности и скорости фрезерования.

#### И.Ф. Киссельман, С.Э. Шаклеина, С.А. Палехова УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ТРУБНЫХ ПУЧКОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат, трубный пучок, гидравлические испытания.

В статье представлены результаты, полученные при проектировании и расчетах оригинальной конструкции устройства для проведения освидетельствования и гидравлических испытаний трубного пучка вертикальных теплообменных аппаратов.

#### К.Л. Ковалев, А.В. Карпышев, А.Л. Душкин, М.С. Морозов РАЗРАБОТКА МАКЕТОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ПЕРВИЧНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ И ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

**Ключевые слова:** пожаротушение, распыливание, огнетушитель, форсунка, Арктика.

Огнетушители и ранцевые установки являются самым распространенным первичным средством тушения пожаров. Это обусловлено тем, что огнетушители и ранцевые установки обладают полной автономностью и высокой огнетушащей способностью при ручном тушении в условиях пониженных температур.

Т.М. Кокина

#### УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛОВ ПИТАНИЯ И КАЧЕСТВА ПРЯЖИ, ПОЛУЧЕННОЙ БЕЗВЕРТЕННЫМ ПРЯДЕНИЕМ НА ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЯДИЛЬНЫХ МАШИНАХ

developed; the states of the managed object are defined. The paper provides a mathematical description of the dependencies of the values of the States of the managed object. The attention is focused on some features of the managed object states and the processes that affect the values of these States.

T.N. Ivanova, A.A. Myasnikov, E.S. Semenova, A.V. Chepkasov

#### MODELING OF MACHINED SURFACE WHEN MILLING

**Keywords:** milling, milling machine, rotation speed, spindle, cutting speed, workpiece surface roughness.

Today in Metalworking are widespread milling machines. They are intended for treatment of external, internal, flat and shaped surfaces, grooves, grooves. The processing is multi-point milling cutters. All milling machines the main motion is the rotation of the cutter. The workpiece is mounted on a rectangular table. Every year these machines will be modernized, roboticist, which significantly increases the performance. Analyzing the history of the development of milling machines from the XVII to the XX century in Russia there were revealed the design features of the machines and possibilities of their improvement. Milling machines are classified according to the layout (number and arrangement of spindles) or by appointment. The study also identified the number of degrees of regulation of frequency of rotation of the spindle, the dependence between cutting speed and surface roughness at a fixed depth milling. The simulation of the resulting milled surface. A feature of this simulation is to obtain the fragment of the milled surface from the height of microroughnesses and milling speeds.

#### I.F. Kisselman, S.E. Shakleina, S.A. Palechova DEVICE FOR CARRYING OUT HYDRAULIC TESTS OF TUBE BUNDLES IN HEAT EXCHANGERS

**Keywords:** Heat exchangers, tube bundle, hydraulic test.

The article presents the results which were obtained in the design and from the calculation of the original construction of the device for carrying out inspection and hydraulic tests of a tube bundle in vertical heat exchangers.

#### K.L. Kovalev, A.V. Karpishev, A.L. Dushkin, M.S. Morozov DEVELOPMENT OF MODELS OF HIGH-PERFORMANCE PRIMARY FIREFIGHTING AT LOW TEMPERATURES AND ARCTIC AREAS

**Keywords:** sprinkler, spraying, fire extinguishers, nozzles, Arctic.

Fire extinguishers and backpack plants are the most common primary means of extinguishing fires. This is due to the fact that the installation of fire extinguishers and backpack have full autonomy and high fire extinguishing capability with manual putting under low.

T.M. Kokina

#### ASCERTAINMENT OF THE RELATION BETWEEN THE NON-UNIFORMITY OF THE SHAFTS ROTATION AND THE QUALITY OF THE OPEN-END YARN MADE BY THE ROTOR SPINNING MACHINES

**Keywords:** open-end spinning, non-uniformity of the shafts

**Ключевые слова:** безверетенное прядение, неравномерность вращения валов, качественные показатели пряжи.  
 В статье установлена линейная возрастающая зависимость неравномерности вращения валов питания и качественных показателей пряжи. Установлена возможность варьирования неравномерности вращения и ее замер с помощью светодиодного датчика при одновременной наработке безверетеной пряжи. Установлено, что неравномерное вращение валов питания пряжи, полученной на пневмомеханических машинах БД-200 и ППМ-120, снижает качество пряжи.

Е.М. Короткова, А.В. Пранович, S.M. Willför, Э.М. Сульман  
**ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИГНИНА ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ РАЗБАВЛЕННЫМ РАСТВОРОМ ЩЕЛОЧИ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРЕ И ДАВЛЕНИИ**  
**Ключевые слова:** лигнин, экстракция, древесина ели.

В работе представлены результаты изучения процесса экстракции лигнина из древесины ели разбавленным раствором гидроксида натрия при температурах 160°C и 170°C и давлении 10 МПа. Экстракция проводилась в течение 4 часов двенадцатью циклами по 20 минут каждый. Количество используемого экстрагента варьировалось за счет исключения стадии промывки с целью изучения ее влияния на выход лигнина и уменьшения затрат. Было показано, что уменьшение общего расхода экстрагента на 60% понижает количество выделенного лигнина всего на 5% в случае экстракции при температуре 170°C и на 3% при экстракции при температуре 160°C.

Д.И. Кузнецов, А.В. Дедушкин  
**МЕТОД СОГЛАСОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СВЧ ЦЕПЕЙ С ВЫСОКООМНЫМИ НАНОЭЛЕМЕНТАМИ**

**Ключевые слова:** согласование, КСВ, нанотрубка, подложка, микрополосковая линия.

Разработан метод согласования тонкопленочных СВЧ цепей с высокоомными нанозементами. Существует возможность производить согласование наноземента на основе нанотрубок ( $Z=12,8 \text{ кОм}$ ) с 50-омным стандартным СВЧ трактом в широком диапазоне частот.

К.А. Кузьмин, И.В. Нелин  
**ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗМАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ**

**Ключевые слова:** распознавание, нейронные сети, генетический алгоритм, топология сети.

Использование нейросетевых технологий является перспективным направлением в решении задачи распознавания объектов на радиолокационном изображении поверхности. Самым важным свойством нейронных сетей является их способность обучаться на основе данных окружающей среды и в результате обучения со временем повышать свою производительность в соответствии с определенными правилами. Обучение нейронной сети проходит посредством интерактивного процесса корректировки синоптических весов и порогов. В статье указывается на особое место информационного обеспечения искусственной нейронной сети, а также рассматриваются различные методы подготовки и отбора статистических данных. Также предложен ряд мер, направленных на повышение эффективности и точности искусственного интеллекта.

К.А. Кузьмин, И.В. Нелин, В.А. Скуратов  
**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Ключевые слова:** информационное обеспечение, нейронные сети, генетический алгоритм.

rotation, quality of the yarn.

The linear increasing relation between the non-uniformity of the power shafts rotation and the quality of the yarn was described in the article. The possibility of the variation of the rotation non-uniformity was found and the measurement of rotation non-uniformity at the working open-end yarn spinning machine was made by means of the LED-sensor. It was determined that the non-uniform rotation of the power shafts for the yarn made by the Rotor Spinning Machines БД-200 and ППМ-120 lowers the quality of the yarn.

E.M. Korotkova, A.V. Pranovich, S.M. Willför, E.M. Sulman  
**LIGNIN ISOLATION FROM SPRUCE WOOD WITH LOW CONCENTRATION ALKALI AT HIGH TEMPERATURE AND PRESSURE**

**Keywords:** Lignin, extraction, hemicelluloses, spruce wood  
 The aim of the study was to isolate lignin from spruce wood with an Accelerated Solvent Extractor (ASE) using low concentration of aqueous NaOH and optimize extraction parameters regarding the solvent use. The extraction temperatures were 160°C and 170°C, and pressure was 10 MPa. Extraction was performed for 4 hours total time in 12 cycles per 20 minutes sequence. It was shown that reducing of extraction solvent use by 60% results in decreasing of total yield of lignin only by 5% in case of 170°C and 3% in case 160°C.

D.I. Kuznetsov, A.V. Dedushkin.  
**THE NONLINEAR METHOD OF NANOELEMENT ACCORDANCE AND THE TECHNOLOGICAL CONSTRUCTIONS FOR ACCORDANCE CIRCUITS**

**Keywords:** accordance, VSWR, nano tube, substrate, microwave line.

The method of matching thin-film microwave circuits with high-resistance nanoelements. It is possible to accord the nanoelements nanotube ( $Z=12.8 \text{ k}\Omega$ ) with the 50 $\Omega$  standard micro strip line in the large diapason of frequencies.

K.A. Kuzmin, I.V. Nelin  
**REQUIREMENTS FOR THE USE OF THE MECHANISMS OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGY IN PATTERN RECOGNITION**

**Keywords:** pattern recognition, neural networks, genetic algorithms, network topology.

Using neural network technology is a promising direction in solving the problem of recognition of radar targets. The most important property of neural networks is their ability to learn on the basis of the environment as a result of training over time to improve their performance in accordance with certain rules. Neural network training takes place through an interactive process of adjustment synaptic weights and thresholds. The article points to the special position of information support of artificial neural network, and discusses the various methods of preparation and selection of statistical data. It is also proposed a number of measures aimed at improving the efficiency and accuracy of artificial intelligence.

K.A. Kuzmin, I.V. Nelin, V.A. Skuratov  
**INFORMATION ENSURING EFFECTIVE USE NEURAL NETWORK TECHNOLOGY**

**Keywords:** information security, neural networks, genetic algorithm.

*Под информационным обеспечением искусственной нейронной сети (ИНС) понимается хранимая информация или модели, используемые человеком или машиной для интерпретации, предсказания и реакции на внешние события [1]. Автор в данной научной работе отвечает на следующие вопросы: какую информацию необходимо хранить и как эту информацию представить физически для ее последующего использования в нейронных сетях. Также автор разделяет набор данных на положительные и отрицательные примеры для эффективного обучения нейронной сети. Чтобы понизить вероятность неверной трактовки сигнала, автор в часть анализируемых примеров добавляет сигналы, полученные при отсутствии искомого объекта. Предполагается, что реализация рассмотренной системы мероприятий позволит существенно повысить эффективность работы искусственной нейронной сети.*

К.А. Кузьмин, В.А. Скуратов  
ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

*Ключевые слова: оптимизация, нейронные сети, генетический алгоритм, архитектура сети.*

*Проектирование оптимальной топологии нейронной сети заключается в разработке такой архитектуры, которая обеспечивает наилучшее относительно выбранного критерия решения поставленной задачи. Такой подход предполагает перебор пространства архитектур, составленного из всех возможных вариантов, выбор точки этого пространства, наилучшей относительно заданного критерия оптимальности. В данной научной работе автор использует генетический алгоритм для определения эффективной топологии стандартной многослойной искусственной нейронной сети.*

В.В. Ланин, В.В. Морозенко, А.О. Сухов  
АРХИТЕКТУРА РЕДАКТОРА ЛЕКСИКО-СИНТАКСИЧЕСКИХ ШАБЛОНОВ НА БАЗЕ DSL-ТЕХНОЛОГИЙ

*Ключевые слова: лексико-синтаксический шаблон, визуальный редактор, предметно-ориентированные языки. В статье описывается подход к реализации визуального редактора лексико-синтаксических шаблонов. Описываются требования, предъявляемые к редактору, его архитектура и процесс обработки языковых конструкций. Предлагаемое решение характеризуется значительными возможностями расширения и ориентацией на широкий круг пользователей.*

А.В. Лаптев, А.В. Макаренко, М.А. Быковский  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА

*Ключевые слова: технология лесозаготовок, многооперационные машины, зона работы манипулятора. В работе, представлена методика определения оптимальной зоны работы манипулятора лесозаготовительной машины, на примере самой распространённой компоновки харвестеров с расположением манипулятора впереди кабины.*

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова  
ПРАВОВЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Ключевые слова: информационная безопасность, аудит, управление информационной безопасностью.*

*В статье описывается проблематика проведения аудита информационной безопасности и рассматриваются правовые и методологические основы аудита информационной безопасности.*

*Under the information support of artificial neural network (ANN) is understood the stored information or the models used by man or machine to interpret, predict and respond to external events [1]. The author of this research work answers the following questions: what information should be stored and how the information is physically present for subsequent use in neural networks. The author also shares a set of data on the positive and negative examples for effective training of the neural network. To reduce the chance of misinterpretation of the signal, the author of the analyzed example adds the signals obtained in the absence of the desired object. It is assumed that the implementation of the considered system measures will substantially improve the efficiency of an artificial neural network.*

К.А. Kuzmin, V.A. Skuratov  
TOPOLOGY OPTIMIZATION OF NEURAL NETWORK GENETIC ALGORITHM

*Keywords: optimization, neural networks, genetic algorithms, network architecture.*

*Designing the optimal topology of the neural network is the development of an architecture that provides the best with respect to the chosen criterion to solve this problem. This approach assumes too much space architectures, composed of all possible options, the choice of the point of this space, the best with respect to a given optimality criterion. In this research work the author uses a genetic algorithm to determine the effective topology standard multilayer artificial neural network.*

V.V. Lanin, V.V. Morozenko, A.O. Suhov  
ARCHITECTURE OF LEXICAL AND SYNTACTIC PATTERN EDITOR BASED ON DSL-TECHNOLOGY

*Keywords: lexical and syntactic pattern, visual editor, domain specific language.*

*The article describes an approach to the implementation of the lexical and syntactic pattern visual editor. The requirements to the editor, editor's architecture and processing of language constructions are described. The proposed solution allows significant extension capabilities and can be used by wide groups of users.*

A.V. Laptev, A.V. Makarenko, M.A. Bykovskiy  
DETERMINING OF WORK EFFICIENCY ZONES FOR MULTIPROCESSOR HARVESTING MACHINE WITH GRAPPLE

*Keywords: efficiency zones, multiprocessor harvesting machine.*

*The article is devoted to the determination of optimal harvesting the machine work area taking into account the production constraints affecting the performance. Indicators of the geometric parameters of the zone indicate the availability of an efficient work zone.*

A.A. Medvedev, E.N. Sozinova  
LEGAL AND METHODOLOGICAL BASES OF INFORMATION SECURITY AUDIT

*Keywords: information security, audit, information security management.*

*The article describes the problems of auditing of information security and discusses the legal and methodological basis.*

А.В. Мигачев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

*Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения газа, модель объекта управления, переходные характеристики. В работе проведено экспериментальное исследование статических и динамических характеристик аппарата воздушного охлаждения газа компрессорных станций магистральных газопроводов. На основе аппроксимации переходных характеристик объекта управления получено математическое описание в форме передаточных функций. Определены параметры модели, дана оценка погрешности аппроксимации.*

М.Н. Морозова, В.А. Соловьев

## ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

*Ключевые слова: информационно-измерительная колориметрическая система, искусственная нейронная сеть, синаптические коэффициенты, обучение. В статье рассматривается информационно-измерительная колориметрическая система, построенная на принципах искусственных нейронных сетей, измеряющая координаты цвета в системе XYZ. Приведена структура искусственной нейронной сети, а также структурная и оптическая схемы разрабатываемой системы.*

Х.Г. Мусин, Р.А. Газизов, Н.Ф. Гибадуллин  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ

*Ключевые слова: окружающая среда, экология лесов, краевой эффект; опушка, типы ландшафтов, ландшафтные рубки; строение насаждений. В статье представлены экологические перспективы сохранения окружающей среды при оформлении краевого эффекта в рекреационных лесах. Приведены результаты ландшафтных рубок при оформлении краевого эффекта.*

О.Е. Нисина, М.А. Куликов  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА МАГНИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ

*Ключевые слова: магнийсодержащее сырье, сульфаты, силикаты, раствор нитрата магния. В статье рассмотрено использование различных видов магнийсодержащего сырья для приготовления раствора нитрата магния, применяемого в качестве кондиционирующей добавки для аммиачной селитры. Приведен химический состав образцов брусита, магнезита, периклазового порошка и растворов нитрата магния, полученных на их основе. Показано, что более предпочтительным видом сырья является магнезит.*

Е.А. Семенищев, И.В. Толстова, М.М. Письмескова  
ОБЪЕДИНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЕДИНУЮ КОМПОЗИЦИЮ С УЧЁТОМ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ НА СЦЕНЕ

*Ключевые слова: Объединение изображений, шивание, математическая модель объединения. В работе представлена математическая модель объединения изображений с учётом значимости объектов расположенных на них. Приведён алгоритм объединения пары изображений, различающихся масштабом и степенью освещённости, с учётом значимости объектов расположенных на единой сцене. На наборе тестовых изображений показана эффективность работы предложенного подхода.*

A.V. Migachev

## RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF GAS AIR COOLING DEVICE AS A CONTROL OBJECT

*Keywords: gas air cooling device, transient control object model, transient responses.*

*The article presents the experimental research of static and dynamic characteristics of gas air cooling devices of compressor stations of gas mains. Based on approximation of transient response control object a mathematical description in the form of the transfer function is received. The parameters of the model are defined, error of the approximation is estimated.*

M.N. Morozova, V.A. Soloviev  
INFORMATION-MEASURING COLORIMETRIC SYSTEM

*Keywords: information-measuring colorimetric system, artificial neural network, synaptic coefficients, the training. The authors suggests the information-measuring colorimetric system based on the artificial neural networks principles, which measured color coordinates in the XYZ system. The artificial neural network structure and structural and optical scheme of the system developed.*

H. Musin, R. Gazizov, N. Gibadullin  
ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION IN REGISTRATION EDGE EFFECTS FOR RECREATIONAL FORESTS

*Keywords: environment, forest ecology, edge effect; edge, landscape types and landscape felling; the structure of plants. The article presents the environmental prospects of preserving the environment in the design of the edge effect in recreational forests. The results of landscape design at the cutting edge effect.*

O.E. Nisina, M.A. Kulikov  
STUDY OF INFLUENCE OF MAGNESIUM-CONTAINING RAW MATERIALS ON QUALITY MAGNESIUM NITRATE SOLUTION

*Keywords: magnesium-containing raw material, sulfates, silicates, magnesium nitrate solution. The article reviewed the use of various types of magnesium-containing raw material for preparing a solution of magnesium nitrate, used as conditioning additives for the ammonium nitrate. Shows the chemical composition of the samples brucite, magnesite, periclase powder and magnesium nitrate solution obtained from them. It is shown that a more preferred mode is the raw magnesite.*

E.A. Semenishchev, I.V. Tolstova, M.M. Pismenscova  
THE IMAGES STITCHING INTO A SINGLE COMPOSITION WITH ANALYZING THE OBJECTS IN THE SCENE

*Keywords: Combine image, image stitching, a mathematical model of the association. The paper is present a mathematical model images stitching. This mathematical model takes into account the importance of a objects on the images. Is developed an algorithm for combining pairs of images into one. The algorithm takes into account the difference in scale, extent, significance and of lighting objects placed on the general scene. On the set of test images shown efficiency.*

Е.Н. Созинова, А.А. Медведев

**АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТА  
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ***Ключевые слова: информационная безопасность, аудит,  
управление информационной безопасностью.*

*В статье рассматривается важность и необходимость проведения аудита информационной безопасности, анализируются основные направления проведения аудита информационной безопасности.*

А.А. Сурниченко, К.А. Сурниченко, Д.О. Кочетов, Д.С. Серов, П.В. Лебедев, Д.А. Майоров, М.С. Деревенцев  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЗИП ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ  
НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ В  
ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ***Ключевые слова: ЗИП (запасные части, инструменты,  
принадлежности), автоматическая линия (АЛ),  
технологическая система, эксплуатация, математическая  
модель.*

*В статье приводится описание подхода для определения потребностей ЗИП для автоматических линий непрерывного цикла. Предложена модель надежности автоматической линии, в которой исследуются возможные состояния системы, наиболее вероятные причины отказов для конкретного производства.*

А.А. Сурниченко, К.А. Сурниченко, Е.С. Никитин, В.Ю. Смирнов, М.С. Деревенцев

**ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ***Ключевые слова: остаточный ресурс, прессовое  
оборудование, интенсивность изнашивания.*

*В статье приводится описание методики расчета остаточного ресурса прессового оборудования на примере расчета шнекового вакуумного горизонтального пресса СМК-376. Приведенные зависимости сводятся к инженерной методике расчета. Приведен пример расчета конкретного оборудования, предельный износ для которого наступит через 14 лет эксплуатации при трехсменном режиме работы*

Э.В. Тимиров, О.Г. Новоселов, С.Г. Буйтова  
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АТТЕСТАЦИИ  
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ  
СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА***Ключевые слова: аттестация инженерно-технических  
работников, ВУЗ независимый аттестационный эксперт,  
стратегия минимализма субъективного влияния.*

*Статья посвящена вопросу модернизации нынешней системы аттестации для инженерно-технических работников (ИТР) в строительной отрасли. Особое внимание обращается на проблемы системы саморегулируемых организаций и изыскание путей решения. Предложена новая система с разделением ИТР на четыре квалификации.*

М.Р. Хисамутдинов

**АСПЕКТЫ ИНТЕГРАЦИИ ERP С ИНФОРМАЦИОННЫМИ  
СИСТЕМАМИ PLM И MES ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ  
ИТ ПРОДУКТОВ***Ключевые слова: информационные системы, интеграция,  
эффективность.*

*Разработка отечественных интеграционных решений – одна из важнейших задач импортозамещения в сфере ИТ. Разрабатываемый модуль на основе интеллектуальных агентов и использования базы знаний с учетом накопленного опыта и правил, обеспечит динамичное внедрение интеграции на предприятии. В результате, благодаря исключению человеческого фактора, исключению ручного труда и повышению эффективности принимаемых решений, произойдет минимизация ошибок.*

E.N. Sozinova, A.A. Medvedev

**ANALYSIS OF TRENDS IN THE AUDIT OF  
INFORMATION SECURITY ORGANIZATIONS***Keywords: information security, audit, information security  
management.*

*The article discusses the importance and necessity of the audit of information security, analyzes the main directions of the audit of information security.*

A.A. Surnichenko, K.A. Surnichenko, D.O. Kochetov, D.S. Serov, P.V. Lebedev, D.A. Mayorov, M.S. Derevencev  
**DEFINITION OF SPARE PARTS TO MAINTAIN  
RELIABILITY AUTOMATIC LINES IN OPERATION***Keywords: ZIP (spare parts, tools, accessories), automatic line  
(AL), the technological system, operation, mathematical model.  
The article describes the approach to determine the needs of the spare parts for automatic lines of the continuous cycle. A model of reliability of the automated line, which investigated the possible states of the system, the most likely causes of failures for a particular production.*

A.A. Surnichenko, K.A. Surnichenko, E.S. Nikitin, V.Y. Smirnov, M.S. Derevencev

**RESIDUAL LIFE OF FORGING EQUIPMENT***Keywords: residual life, forging equipment, the wear rate.  
The article describes the method of calculation of residual life of pressure equipment on the example of the calculation of the horizontal screw vacuum press СМК-376. These are reduced according to the engineering method of calculation. An example of the calculation of specific equipment for which the wear limit comes after 14 years of operation in the three-shift operation.*E.V. Timirov, O.G. Novoselov, S.G. Bujanova  
**IMPROVING CERTIFICATION SYSTEM ENGINEERS  
AND TECHNICAL WORKERS BUILDING COMPLEX**  
*Keywords: certification of engineers and technical workers,  
College or independent attestation expert, minimalist strategy  
of subjective influence.*

*The article focuses on the modernization of the current system of certification for technical workers in the construction industry. Special attention is paid to the problems of self-regulatory organizations and finding solutions. A new sharing system engineers for four qualifications.*

M.R. Hisamutdinov

**THE INTEGRATION ASPECTS OF THE ERP  
INFORMATION SYSTEMS, PLM AND MES IN THE  
IMPORT SUBSTITUTION OF IT PRODUCTS***Keywords: information systems, integration, efficiency.  
The developed module will provide a dynamic implementation of the integration of the enterprise through the use of intelligent agents and knowledge based on experience and rules. The result will be to minimize errors by eliminating the human factor, the exclusion of manual labor and increase efficiency of decision making.*

М.И. Шилияев, Е.М. Хромова, С.Н. Широкова  
 ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАЦИОННО-АБСОРБЦИОННОЙ  
 МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЫЛЕ- И ГАЗООЧИСТКИ  
 ДЛЯ РАСЧЕТА ПДВ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «АЗОТ» (Г.  
 КЕМЕРОВО)

*Ключевые слова:* химический реактор, эффективности  
 пылеулавливания и абсорбционной газоочистки,  
 форсуночные скрубберы.

На основе конденсационно-абсорбционной математической модели (КАММ), разработанной авторами, проведены расчеты ряда вариантов процессов пыле- и газоочистки, реализуемых в полых форсуночных скрубберах (ПФС) при высоких температурах очищаемых дымовых газов, применительно к условиям работы реакторов цеха кальцинированной соды предприятия ОАО «Азот» г. Кемерово. Выявлены особенности процессов теплообмена в таких аппаратах и сформулированы рекомендации к их расчету и более эффективному практическому осуществлению.

Д.В. Штых, А.В. Жданов, В.В. Морозов  
 ГЕОМЕТРИЯ СОПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РВМ  
*Ключевые слова:* роликовинтовой механизм (РВМ),  
 математическая модель, профиль резьбы, сопряжение  
 резьбовых поверхностей, отклонение профиля резьбовой  
 поверхности.

В статье приводится описание геометрии сопряжения резьбовых поверхностей элементов РВМ. При описании учтены элементарные технологические погрешности резьбы. Приведенные зависимости проиллюстрированы графиками линий профилей резьбовых поверхностей РВМ, находящихся в сопряжении друг с другом.

С.А. Эртман, А.А. Фадюшин, Д.С. Карманов, Ю.А. Эртман  
 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ  
 ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА  
 ПЕРЕСЕЧЕНИИ УЛИЦ С ИНТЕНСИВНЫМ ДВИЖЕНИЕМ  
*Ключевые слова:* дорожное движение, организация  
 дорожного движения, регулируемый перекресток,  
 имитационное моделирование.

В статье рассматриваются возможности улучшения организации дорожного движения на перекрестке при использовании данных анализа имитационных моделей участка улично-дорожной сети.

С.А. Ямашкин  
 СТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОПОРТАЛА, КАК  
 ИНСТРУМЕНТА ПУБЛИКАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
 ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

*Ключевые слова:* геопортал, ГИС, проектирование систем,  
 трехслойная архитектура.

В статье описываются структура и способ реализации геопортальной системы, как системы распространения геоданных и компонента ГИС. Детально изложены предлагаемые инженерные решения и преимущества данного подхода. Практической реализацией системы на основе описанной архитектуры стал геопортал Русского географического общества в Республике Мордовия.

M.I. Shilyaev, E.M. Khromova, S.N. Shirokova  
 APPLICATION CONDENSING ABSORPTION  
 MATHEMATICAL MODEL DUST AND GAS CLEANING  
 FOR CALCULATION OF COMPANY "AZOT"  
 (KEMEROVO)

*Keywords:* chemical reactor, dust collection efficiency and  
 absorption gas cleaning nozzle type scrubbers.

On the basis of the condensation-absorption of a mathematical model (KAMM), developed by the authors calculated the number of variants of processes of dust and gas purification implemented in hollow nozzle scrubbers (PFS) at high temperatures cleaned flue gases with regard to the conditions of operation of the reactors shop soda companies "Azot", Kemerovo. The features of heat and mass transfer processes in these devices, and makes recommendations for their calculation and more effective practical implementation.

D.V. Shtih, A.V. Jdanov, V.V. Morozov  
 GEOMETRY CONJUGATE ELEMENTS OF ROLLER  
 SCREW MECHANISMS

*Keywords:* roller screw mechanism (RSM), mathematical  
 model, thread profile, pair of threaded surfaces roughness of  
 the thread surface.

The article describes the geometry of the mating threaded element surfaces RSM. In describing the process takes into account the basic error of the thread. These dependences are illustrated graphs lines profiles RSM threaded surfaces that are in conjugation with one another.

S.A. Ertman, A.A. Fadiushin, D.S. Karmanov, J.A. Ertman  
 THE ESTIMATE OF ORGANIZATION OF ROAD AT THE  
 INTERSECTION WITH HEAVY TRAFFIC

*Keywords:* road traffic, road traffic organization, adjustable  
 intersections, simulation.

In the article the possibilities of improving the organization of traffic at the intersection with data analysis of road section simulation models are reviewed.

S.A. Yamashkin  
 THE STRUCTURE OF REGIONAL GEOPORTAL AS A  
 SYSTEM OF GEODATA PUBLICATION

*Keywords:* geoportals, GIS, system development, three-tier  
 architecture.

The paper describes the structure and realization of geoportals system, as a system of geodata distribution and GIS component. Engineering decisions and advantages are described in details. Geoportals of Russian Geography Society is a practice realization of described conception.

## **Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью**

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

## **Договор публичной оферты по обработке персональных данных**

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ

№6 2015

Направления:

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

**[www.ntvp.ru](http://www.ntvp.ru)**

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 30.11.2015      Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

14,6 усл.печ.л. 16,8 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1913.

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»