

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ**

**Сборник научных статей**

**№3 2012**

**Направления:**

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

**Казань**

**2012**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №3 2012г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – 188 с.

**ISSN 2079-5920**

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

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

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

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

*Главный редактор Р.Х. Шагимуллин*

Редакционная коллегия

*И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; В.К. Половняк – д.х.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; Р.Х. Шагимуллин – к.т.н., проф.*

В сборнике научных трудов отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

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

**УДК 60**  
**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920**

**© Научно-технический вестник Поволжья, 2012 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Е.Л. Дрезницкая, Б.Н. Иванов д.т.н., В.С. Минкин д.х.н.,</i> СТРУКТУРА ИННОВАЦИОННОГО НЕФТЯНОГО КЛАСТЕРА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН (Состояние и перспективы) ЧАСТЬ I.	7
<i>А.С. Буянова, С.С. Ксембаев д.мед.н., А.А. Ламберова, М.Э. Ламберова к.х.н., В.К. Половняк д.х.н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ СТРУКТУРИРОВАННОГО ЦЕЛОФОРМА	13

### СЕКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Д.А. Жуков</i> БЕСКОНЕЧНО МАЛЫЕ MG-ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ ПРИ СТАЦИОНАРНОСТИ СРЕДНЕЙ КРИВИЗНЫ ВДОЛЬ КРАЯ	18
<i>В.В. Дружинин д. ф.-м. н., Л.А. Лобов, А.Г. Сироткина к. ф.-м. н.</i> ПРИБЛИЖЕННАЯ ФОРМУЛА ПРОСТОГО ЧИСЛА	26

### СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>С.А. Богданова, Ю.Г. Галяметдинов, М.А. Сысоева, В.Р. Хабибрахманова, Ю.А. Шигабиева</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ С ЭКСТРАКТАМИ ЧАГИ	29
<i>Ю.А. Москвичев, А.В. Тарасов, А.М. Юровский</i> СИНТЕЗ СУЛЬФАМИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИМИДАЗО[1,2-А]ПИРИДИНА, ИМИДАЗО[1,2-А]ПИРИМИДИНА И ИНДОЛИЗИНА НА ОСНОВЕ 3-(БРОМАЦЕТИЛ)БЕНЗОЛСУЛЬФАМИДОВ	35

### СЕКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>В.В. Андреев д.т.н., Е.В. Тесленко</i> ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МАССИВА ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ	40
<i>И.А. Арбузов, Р.В. Бульбович, Б.Е. Кириевский, В.Я. Модорский, П.В. Писарев, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ НАСОСЕ	44
<i>А.В. Базанов, В.И. Бауэр к.т.н., Е.С. Козин</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ	50
<i>В.Ф. Беккер</i> ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРУ ПОТОКОВ В АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЕ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ	54
<i>Н.А. Белобородова</i> ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ	58
<i>Н.А. Белобородова</i> МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ РФ	62
<i>Н.А. Белобородова</i> АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РОСТА ПРОИЗВОДСТВА В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ	65

<i>Н.А. Белобородова</i> СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ	69
<i>А.П. Буйносов к.т.н., А.М. Кислицын</i> ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ	73
<i>А.П. Буйносов к.т.н., Д.Ю. Козаков</i> АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ИЗНОСА ГРЕБНЕЙ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ	79
<i>А.П. Буйносов к.т.н., Я.А. Мишин</i> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ РЕДУКТОРОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ	85
<i>К.И. Буимелева д.т.н., А.Н. Васильчук</i> ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ГЕОИФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	90
<i>Т.А. Вокуева</i> АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ МАТРИЦЫ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ	94
<i>П.А. Волков</i> РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ЖИДКОСТНЫХ ЛИНЗОВЫХ АНТЕНН	100
<i>А.Г. Горюнов к.т.н., К.А. Козин к.т.н., В.А. Курочкин</i> МАКЕТ ИСТОЧНИКА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВА КРЕМНИЕВЫХ СТЕРЖНЕЙ SIEMENS-РЕАКТОРА	105
<i>А.М. Долганов к.т.н., В.А. Жуланов, Т.Н. Иванова к.т.н., Ф.В. Юрков</i> ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ	110
<i>М.А. Донченко, Ю.Н. Журавлёв д.т.н., А.Н. Иванов, С.Н. Семёнов,</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ВОЗБУЖДАЕМЫЕ КРУТИЛЬНЫЕ колебания В ОДНОМОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ РЛДВПТ С РЫЧАЖНО-КУЛАЧКОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДВИЖЕНИЯ	114
<i>С.А. Жукова, Ю.Ю. Логинова, А.А. Слепов</i> К ВОПРОСУ О МОТИВАЦИИ РАБОТНИКОВ К БЕЗОПАСНОМУ ТРУДУ	119
<i>Н.С. Захаров, А.М. Конин, В.А. Тюлькин</i> ВЛИЯНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ВОДИТЕЛЕЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ	124
<i>А.М. Игнатова</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА СВАРОЧНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	129
<i>А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов</i> ОЦЕНКА МОРФОЛОГИИ, ДИСПЕРСНОСТИ, СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПОСРЕДСТВАМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	133
<i>Ле Хоай</i> РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕК НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ	138
<i>С.В. Поршнев, Фуад Рабайя</i> ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ И СОБСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ ВЫБОРОЧНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ В МЕТОДЕ SSA	146
<i>А.В. Селезнев, И.А. Сидорова, Б.В. Чувькин д.т.н.</i> АНАЛИЗ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ШУМОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ОДНОБИТНЫМ КВАНТОВАНИЕМ	151
<i>И.А. Сидорова, О.В. Тужилкин, Б.В. Чувькин д.т.н.</i> МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДАТЧИКОВЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ	155
<i>И.В. Смирнов</i> АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА	159
<i>М.М. Шихов</i> МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ПОДСТАНОВКАХ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА НА ЗНАНИЯХ	164
<i>С.Г. Ярушин д.т.н.</i> СПОСОБ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РДТТ С ДЕФЕКТНЫМИ ЗАРЯДАМИ	168

## АННОТАЦИИ

172

## THE RELEASE MAINTENANCE

- E.L. Drevnitskaya, B.N. Ivanov., V.S. Minkin* STRUCTURE OF THE INNOVATIVE OIL CLUSTER OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN 7
- A.S. Buyanova, S.S. Ksembaev, A.A. Lamberova, M.E. Lamberova, V.K. Polovnyak* STUDY OF ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF STRUCTURED TSELOFORM 13

## PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

- D.A. Zhukov* INFINITESIMAL MG-DEFORMATIONS OF A SURFACE OF POSITIVE GAUSSIAN CURVATURE WITH STATIONARITY OF AVERAGE CURVATURE ALONG THE BOUNDARY 18
- V.V. Druzhinin, L.A. Lobov, A.G. Sirotkin* APPROXIMATE FORMULA OF SIMPLE NUMBER 26

## CHEMICAL SCIENSEC

- S.A. Bogdanova, Yu. G. Galyametdinov, M.A. Sysoeva V.R. Habibrahmanova, Ju.A. Shigabieva* DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF COSMETIC COMPOSITIOS WITH CHAGA EXTRACTS 29
- A.M. Yurovskiy, Yu.A. Moskvichev, A.V. Tarasov* SYNTHESIS OF THE SULFONAMIDE DERIVATIVES OF THE IMIDAZO[1,2-A]PYRIDINE, IMIDAZO[1,2-A]PYRIMIDINE AND INDOLIZINE FROM THE 3-(BROMOACETYL)BENZENESULFONAMIDES. 35

## ENGINEERING SCIENCE

- V.V. Andreev, E.V. Teslenko* INFORMATION MODEL OF THE CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SIGNS OF DETAILS FOR THE SYSTEM OF ENGINEERING SUPPORT OF DESIGNING PROCESS 40
- I.A. Arbuzov, R.V. Bulbovich, B.E. Kiriyevesky, V.Ya. Modorsky, P.V. Pisarev, A.A. Tashkinov, D.V. Shchenyatsky* NUMERICAL MODELLING of OSCILLATORY PROCESSES IN THE CENTRIFUGAL PUMP 44
- A.V. Bazanov, V.I. Bauer, E.S. Kozin* DETERMINATION OF REQUIREMENT OF MOBILE REPAIR WORKSHOPS FOR PERFORMANCE AUTOMOTIVE VEHICLES IN THE REPAIR OF OIL PIPELINES 50
- V.F. Bekker* EFFECT OF ROTARY MOTION ELEMENTSON THE STRUCTURE OF STREAMS IN ABSORPTION COLUMN WITH SLIDING NOZZLEIN 54
- N.A. Beloborodova* APPLICATION OF MULTILAYERED NEURAL NETWORKS FOR FORECASTING OF DEVELOPMENT OF PRODUCTION COMPLEXES 58
- N.A. Beloborodova* METHODOICAL BASES OF OPTIMIZATION OF PRODUCTION IN THE INDUSTRIAL REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION 62
- N.A. Beloborodova* THE ANALYSIS OF FACTORS OF INCREASE IN PRODUCTION IN THE INDUSTRIAL REGION 65
- N.A. Beloborodova* AUTOMATION EQUIPMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF FORECASTING OF DEVELOPMENT OF PRODUCTION COMPLEXES IN THE INDUSTRIAL REGION 69
- A.P. Buynosov, A.M. Kislitsyn* MEASURING SYSTEM FOR CONTROL PARAMETERS OF BANDAGES OF WHEEL PAIRS OF LOCOMOTIVES 73
- A.P. Buynosov, D.Yu. Kozakov* ANALYSIS OF PROCESSES OF OPERATIONAL WEAR CRESTS OF BANDAGES OF WHEEL PAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 79

<i>A.P. Buynosov, Ya.A. Mishin</i> INCREASE OF RELIABILITY OF TRACTION REDUCERS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES	85
<i>K.I. Bushmelev, A.N. Vasilchuk</i> THE USE OF ONTOLOGICAL APPROACH IN GEOINFORMATION SYSTEMS OF THE OIL AND GAS INDUSTRY	90
<i>T.F. Vokueva</i> ANALISIS OF ALGORITHMS CALCULATION OF INTERACTION MATRIX FOR COGNITIVE MAPS	94
<i>P.A. Volkov</i> ESTIMATION AND EXPERIMENTAL VALIDATION OF DIRECTIONAL	100
<i>A.G. Gorunov, K.A. Kozin, V.A. Kurochkin</i> SOURCE MODEL FOR AC RESISTIVE HEATING OF SILICON RODS IN SIEMENS-REACTOR	105
<i>A.M. Dolganov, B.A. Gylanov, T.N. Ivanova, F.B. Urkov</i> THEORETICAL MODEL OF GRINDING RESIDUAL STRESS FORECASTING	110
<i>M.A. Donchenko, Yu.N. Zhuravlyov, A.N. Ivanov, S.N. Semyonov</i> PARAMETRICALLY-EXCITED TORSIONAL VIBRATIONS IN ONE-MODULE CONSTRUCTION OF RBEEHS WITH LEVER-AND-CAM MOTION CONVERTER	114
<i>S.A. Zhukova, Yu.Yu. Loginova, A.A. Slepov</i> TO A QUESTION ON MOTIVATION OF WORKERS TO SAFE WORK	119
<i>N.S. Zaharov, A.M. Konin, V.A. Tyulkin</i> DRIVER'S QUALIFICATION IMPACT ON VEHICLE'S EXPLOITATION INTENSITY	124
<i>A.M. Ignatova</i> MODERN METHODS FRACTIONAL COMPOSITION WELDING POWDER MATERIALS	129
<i>A.M. Ignatov, M.N. Ignatov</i> ASSESSMENT OF MORPHOLOGY, DISPERSION, STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE FIRM COMPONENT OF WELDING AEROSOLS TO MEANS OF MODERN METHODS OF RESEARCHES	133
<i>Le Hoai</i> THE DEVELOPMENT DIGITAL LIBRARIES BASED ON SEMANTIC TECHNOLOGIES	138
<i>S.V. Porshnev, Fouad Rabaia</i> FEATURE OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS OF THE SAMPLE CORRELATION MATRIX IN SSA-METHOD	146
<i>B.V. Chuvykin, A.V. Seleznev, I.A. Sidorova</i> ANALYSIS OF FLUKTUATION NOISES OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS WITH ONE-BIT QUANTIZATION	151
<i>I.A. Sidorova, O.V. Tuzhilkin, B.V. Chuvykin</i> THE METHOD OF INCREASING ENERGY-EFFICIENT FOR SENSOR WIRELESS SYSTEM	155
<i>I.V. Smirnov</i> THE ANALYSIS OF STABILITY OF SYSTEM WITH CONSISTENTLY INCLUDED REGULATORS OF PRESSURE OF GAS	159
<i>M.M. Shihov</i> THE METHOD OF CALCULATIONS ON SUBSTITUTIONS FOR PARALLEL INFERENCE ON KNOWLEDGE	164
<i>S.G. Yarushin</i> METHOD OF THE SAFE RECYCLING OF LARGE-SIZE SOLID PROPELLANT ROCKET MOTOR WITH DEFECTIVE CHARGES	168
<b>ABSTRACTS</b>	172

**Е. Л. Древницкая, Б. Н. Иванов д.т.н., В. С. Минкин д.х.н.**

Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Россия, г. Казань  
ivanovbn@rambler.ru

**СТРУКТУРА ИННОВАЦИОННОГО НЕФТЯНОГО КЛАСТЕРА РЕСПУБЛИКИ  
ТАТАРСТАН  
(Состояние и перспективы)  
ЧАСТЬ I.**

Нефтяная отрасль Татарстана является хребтом социально-экономического и промышленного развития. Ее уровень предопределяет и образовательно-научный потенциал Республики, поскольку развитие инновационного нефтяного кластера, включающего всю инфраструктуру от добычи нефти до нефтехимического синтеза, обуславливает потребность ускоренного и глубокого развития специфических теоретических и практических аспектов химии, физики, математики, материаловедения и аппаратостроения, экономики, экологии, юриспруденции и, даже, понятийного аппарата.

*Ключевые слова:* нефтяной кластер, системный подход, общий базис.

В 2010 г. РФ добыла наибольшее количество нефти в мире: ~ 505 млн.т. (или ~ 10,14 млн. баррелей среднесуточно). В 2011 г. правительством Российской Федерации ставилась задача доведения объема добычи нефти до 508-509 млн.т. В Татарстане Р. Н. Миннихановым определена цель стабилизации добычи нефти на уровне 30 млн.т. на период до 2030 г. [1].

За период 2005-2010 гг. в РТ открыты 52 новых месторождений нефти (восточные районы РТ). Из них 40 – в девонско-каменноугольных отложениях; 1 – в пермских и 11 месторождений сверхвязких нефтей в пермском комплексе.

Общий прирост запасов нефти за период 2005-2010 гг. в Татарстане составил ~ 200,7 млн.т. При этом ~ 20 млн.т. составляют месторождения сверхвязких нефтей пермских отложений. За этот же период объем добытой нефти в РТ составил ~ 190,02 млн.т. В т.ч., ОАО «Татнефть» ~ 152,83 млн.т. (~ 80,4 %) и малые компании (суммарно) – ~ 37,19 млн.т. (~ 19,6%) [1].

Таким образом, нефтяная отрасль Татарстана, по-прежнему, остается структурообразующей отраслью Республики, хребтом ее социально-экономического и промышленного развития. Более того, ее уровень, фактически, в решающей степени предопределяет и образовательно-научный потенциал РТ. Поэтому *инновационный нефтяной кластер*, по сути включающий всю инфраструктуру от добычи нефти до нефтехимического синтеза [2-4], обуславливает потребность ускоренного и глубокого развития специфических теоретических и практических аспектов химии, физики, математики, материаловедения и аппаратостроения, экономики, экологии, юриспруденции и, даже, понятийного аппарата<sup>1</sup>.

Одной из важных задач нефтяного научно-инновационного внедренческого кластера является стимулирование и повышение эффективности малого и среднего бизнеса. Формально данная категория бизнеса представляет немалую силу: в 2010 году количество субъектов малого бизнеса превысило 5 млн. 600 тыс. (в научных организациях ~ 0,8 % от

---

<sup>1</sup> Последнее обстоятельство обусловлено необходимостью использования единого рационального и правильного *инженерного* языка.

их количества). Однако, основная проблема малого бизнеса заключается в вынужденной самоизолированности, вследствие чего его эффективность невысока. Малый бизнес успешней работает в кластерах. На кластеры одним из первых обратил внимание американский экономист М. Портер. По его мнению "кластер – это группа географически соседствующих взаимосвязанных компаний и связанных с ними организаций, действующих в определенной сфере и характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга" [5].

Самый яркий пример эффективности кластеризации экономики – кластер информационных технологий в Силиконовой долине (США). Его влияние на развитие современного мира трудно переоценить. Есть и немало других удачных проектов. Автомобильный – в Германии, в районе земли Северный Рейн – Вестфалия, парфюмерный кластер – в Грасе (Франция), телекоммуникаций – в столице Финляндии Хельсинки. Среди других кластеров можно отметить лесной в Финляндии, химический – в Сингапуре, биотехнологический – в Швеции, продуктовый – в американском штате Аризона, телекоммуникационный – в Италии, аэрокосмический – в Испании.

По нашему мнению (в дополнение к определению М. Потера), кластер должен характеризоваться не только (и не столько) общностью деятельности, но и, в первую очередь, *общностью идеологии*. Прежде всего, единым системным подходом.

Необходимость применения системного подхода в вопросах постановки перспективных и текущих задач и выработки методологии их решения начинают *осознавать* руководители регионов и «капитаны» промышленности Российской Федерации.

В частности, на XIII-м Инновационном форуме в Томске (прошедшем 20-21 мая 2010 г.) был подписан меморандум о создании межрегиональной Ассоциации инновационных регионов России. В работе форума и выработке Меморандума приняли активное участие Президент РТ Р. Н. Минниханов, а также главы Красноярского края, Томской, Новосибирской областей и Республики Мордовия. Причем по словам помощника Президента РФ Аркадия Дворковича, на создаваемую инновационную сеть будет опираться и проект «Сколково».

В нашей республике еще в начале нового века было сформировано специальное самостоятельное направление «Топливо-энергетические и сырьевые ресурсы, энергосберегающие технологии их освоения». Начался этап разработки и создания научно-инновационного нефтяного кластера РТ. Президент РТ подписал соответствующий Указ № УГ-293 от 17.06.2008г. «Об утверждении Стратегии развития научной и инновационной деятельности в Республике Татарстан до 2015 года».

Правительством РФ было принято Постановление № 219 от 09.04.2010г., регулирующее вопросы государственной поддержки развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования. В Республике Татарстан отрабатываются основные положения об осуществлении партнерства между Кабинетом Министров РТ и государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Академия народного хозяйства при Правительстве Российской Федерации».

В 2008 г., во исполнение Указа Президента Республики Татарстан об усилении возможностей Президиума АН РТ, был образован Совет АН РТ по научно-технической и инновационной политике, в составе которого выделена специальная секция «Поиск, восполнение запасов и добыча нефти», для разработки нестандартных способов воспроизводства углеводородного сырья.

Создание научно-внедренческого кластера РТ обеспечивается [3]:

- разработкой сводной программы освоения месторождений тяжелых нефтей и природных битумов Республики Татарстан на период до 2020 года;
- составлением «Программы по созданию научных основ инновационного проектирования при освоении малоэффективных месторождений Республики Татарстан,

обеспечивающих прирост запасов нефти за счет кратного увеличения коэффициента извлечения нефти» и «Программы применения нанотехнологий для изучения геологической характеристики и разработки нефтяных месторождений с целью повышения ресурсной базы углеводородного сырья Республики Татарстан за счет увеличения коэффициента извлечения нефти».

Эти работы, прошедшие рассмотрение на Научно-техническом совете по недропользованию при Совете Безопасности Республики Татарстан, утверждены в составе ведомственной целевой программы приказом Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан от 03.02.2009 г. № 97 и одобрены постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 11.02.2009 г. № 181-р.

Активность руководства и научно-технической общественности Татарстана неслучайна. За 30-летний период доля трудноизвлекаемых запасов в целом по России увеличилась почти в 3 раза (по Западной Сибири – в 4 раза, в Волго-Уральском регионе – в 3,5 раза). Основной объем текущих запасов нефти сегодня составляют трудноизвлекаемые (до 70 %). Дефицит запасов нефти превышает 2 млрд.т., природного газа – 3,3 трл.м<sup>3</sup>. Расчеты показывают, что при годовой добыче 450-470 млн.т. объем воспроизводства запасов должен быть 650-700 млн.т., а это значит ежегодно должны разведываться участки недр с объемом извлекаемых ресурсов не менее 1,3-1,4 млрд.т. (при высокой ~ 50% подтвержденности запасов), балансовых – 4-5 млрд.т.<sup>1</sup>. Суммарные ресурсы и запасы природных битумов в РФ – 1,4÷7,8 млрд.т., или до 36% от ресурсов РФ при среднем залегании на глубине от 80 до 200 м. На настоящий момент времени выделены битумоносные комплексы РФ и в основном исследовано их строение, структура и фациально-генетический фактор развития территории, геохимические и гидрогеологические особенности битумоносных пород, закономерности формирования и распределения битумов. Фундаментом их рентабельного освоения является углубленная промышленная переработка этих видов углеводородного сырья с получением бензинов, топлив, низкозастывающих высокоиндексных масел, высококачественных битумов и битумных материалов на их основе.

В республике Татарстан в структуре остаточных извлекаемых запасов активные составляют 32,1 %, трудноизвлекаемые – 67,9 % при средней обводненности продукции добывающих скважин 90-95 %. По качеству нефти разрабатываемых месторождений высоковязкие и высокосернистые нефти составляют 67 %. Для ОАО «Татнефть» 40,5 % текущих извлекаемых запасов имеют коэффициент извлечения нефти (КИН) более 40 %, 28 % текущих извлекаемых запасов имеют проектное значение КИН ниже 25 %. При этом, по оценкам ОАО «Татнефть», работы по увеличению КИН на 1 % месторождениях компании могут дать прирост запасов более 150 млн.т.

За последние 40 лет КИН снизился с 50 % до 34 %, сокращаясь за десятилетия на 3-4 %, что равноценно снижению возможных извлекаемых запасов на 14 млрд.т., и примерно соответствует добыче нефти за всю историю нефтяной промышленности России и величине текущих извлекаемых запасов нефти. Сегодня при оценке ресурсов КИН принимается обычно равным 27-30 %, что является одним из наиболее низких показателей в мировой практике.

В США, где месторождения также находятся в поздней стадии разработке, за последние 30 лет добыча нефти за счет применения методов увеличения нефтеизвлечения (МУН) утроилась и составляет 25-30 % от всей суммарной добычи. В России на долю МУН приходится лишь около 9 % от общей годовой нефтедобычи. В 2007 году в результате 79 скважино-обработок, направленных на повышение нефтеотдачи НК «Лукойл» получила дополнительную добычу нефти в объеме 443 тыс.т. за счет тепловых методов; 795 тыс.т. – за счет химических и 1351 тыс.т. – физико-химических методов. В АНК «Башнефть» за период с 2001 по 2006 за счет химических методов добыто 2006

---

<sup>1</sup> Мировые запасы природных битумов оцениваются в 250-300 млрд.т.

тыс.т., за счет волновых методов 732 тыс.т. нефти, при общем объеме дополнительной добычи 4006 тыс.т. нефти. В ОАО «Татнефть» за счет третичных МУН в 2007 году добыто 5132 тыс.т. нефти. За 2003-2007 гг. по ОАО «Татнефть» выполнено 13028 скважино-обработок по увеличению КИН и дополнительно добыто 24,5 млн.т. нефти. По прогнозам в ближайшие 20 лет почти в 3 раза возрастет число скважино-обработок с применением физико-химических методов, что существенно увеличит нефтеотдачу.

Для Урало-Поволжья характерно наличие большой группы крупнейших нефтяных месторождений, включая Ромашкинское, Арланское, Туймазинское, Мухановское, Шкаповское, которые, начиная с 40-50-х гг., интенсивно вырабатываются. В Татарстане в разработку вовлечено 87 % разведанных запасов при средней выработанности открытых месторождений ~ 67 %, в том числе по крупнейшим: Ромашкинскому, Ново-Елховскому и Бавлинскому – на 73-85 %. За 50 лет в Республике Башкортостан степень выработки запасов достигла 91,2 %, КИН равен 45,2 %.

Сложившаяся ситуация вызвала всплеск интереса к экстремальным методам увеличения нефтеизвлечения. В частности, в последние десятилетия вновь достаточно широко стали использовать системное внедрение кислотных обработок углеводородных скважин может дать тысячи процентов рентабельности [6]. Однако следует помнить, что одной из главных причин, заставивших нефтяную отрасль СССР отказаться от аналогичных технологий, являлась плохая прогнозируемость имевших место отрицательных последствий.

В ближайшие 5-10 лет в глобальном секторе внутрискважинных работ наибольшим спросом будут пользоваться технологии, дающие доступ к небольшим участкам нефтегазоносных пластов, оставшихся нетронутыми в результате неэффективной добычи. Одним из направлений является применение *колтюбинговых*<sup>1</sup> технологий бурения.

Основой колтюбинговых установок является длинномерная (до 3 км) гибкая напорно-компрессорная труба (ГНКТ). Характерная особенность таких установок – связь с забоем в режиме реального времени.

В настоящее время только считанные единицы несколько компаний в мире (в частности американская компания *Baker Hughes Inted*, российская компания СЗАО «Новинки» [8]) занимаются разработкой и производством систем направленного бурения малого диаметра для колтюбинга и присутствуют на российском рынке.

Использование колтюбинговой технологии может привести к повышению дебита скважины на 1÷5 т/сут при снижении обводненности [8]. Однако ГНКТ пока имеет относительно небольшой жизненный ресурс. Основными причинами износа являются: *циклический изгиб в сочетании с внутренним давлением в трубе; коррозия металла; трение о стенки скважины при спуско-подъемных операциях; асфальто-смоло-парафиновые отложения.*

Каждая из анонсированных, типовых на настоящий момент времени, технологий характеризуется своими достоинствами и недостатками. Одни технологии дают быстрый эффект, но вызывают большее противодействие природы, другие не ведут к синоминутному эффекту, но менее вредные. Их детальный анализ выходит за рамки данной части статьи. Здесь же отметим, что разработкам теоретических и практических аспектов и той и другой группы технологий, несмотря на достаточно длительный период их развития, *не хватает системности и общего базиса*, хотя ясно, что фундаментом всех технологий является их *вещественно-волновая* природа. Вклад вещественной и волновой составляющих определяется масштабом основного уровня действия соответствующей технологии.

В соответствии с известной мыслью Марселона Бертло: «*La chimie crée son les object*» («Химия сама создает свои объекты»), — авторы считают, что в научно-

---

<sup>1</sup> В этой связи вспоминается старая истина, что, зачастую, новое – старательно забываемое старое. Известно, что подобные технологии начали применяться в США в 1895 году [7].

технической деятельности целесообразно руководствоваться следующим положением: *природа не только создает свои объекты, но и определяет рациональные методы воздействия на них*. Причем чем сложнее объект исследования, тем справедливее это положение. Особенно важным оно представляется для процессов нефтяной отрасли, в которой сложилась парадоксальная ситуация. Во-первых, одновременно сосуществуют взаимопротиворечащие задачи: максимум добываемой нефти при минимальном отрицательном воздействии на нее и окружающую среду; во-вторых, при наличии множества средств и технологических приемов добычи и подготовки нефти — отсутствие универсального подхода к их выбору. И хотя исследования в данном направлении ведутся давно, *им не хватает системности и общего базиса*.

Системный подход предполагает одновременное рассмотрение и всего объекта исследования в целом, и его составных частей в отдельности с использованием *принципа дифференциации и интеграции явлений* [9].

Наиболее перспективным на ближайшие два десятилетия представляется сочетание *химических и волновых* воздействий на пласт с определением их рациональных параметров с помощью *сопряженного* физико-математического моделирования.

Одна из *основных тенденций* создания эффективных средств стимуляции добычи и подготовки нефти достаточно ясна: с учетом химической и электронной структуры исходных реагентов (т.е. *наноуровня*) получать из них *нестехиометрические полимерообразные надмолекулярные образования*.

Общность исходных и техногенноизмененных нефтей проявляется, прежде всего, в их качественном составе, а отличия — в количественном, т.е. в структурно-групповом перераспределении ингредиентов. Данное обстоятельство вновь подчеркивает, что воздействие различных технологий обработки нефтесодержащих систем в пласте происходит и проявляется одновременно и на нано- и макроуровнях. Это вторая сторона *общего базиса* разных методов стимуляции нефтеизвлечения.

*Рациональная методология* выбора и синтеза эффективных ПАВ должна базироваться на *синергической* совокупности основных признаков их функционального назначения, поскольку эти признаки взаимосвязаны, и действие одного обязательно вызовет более или менее эффективное действие другого (*эффект «буксира»*). По своему же *онтологическому характеру* все ПАВ являются *микрогенетарорами волн*.

При разработке (или выборе) ПАВ необходимо, чтобы их *ассоциативность* и *нестехиометричность* были близки к таковым в нефтях и их эмульсиях. Представляется целесообразным и учет все еще не объясненного эффекта Томса: *увеличение* вязкости в потоке невязких жидкостей и ее *уменьшение* в вязких жидкостях при малых добавках высокомолекулярных соединений (а большинство эффективных НПАВ являются блоксополимерами), хотя и ясно, что изменение реологических свойств жидкости обусловлено определенной перестройкой составляющих ее ассоциатов.

Резюмируя Часть I статьи «Структура инновационного нефтяного кластера Республики Татарстан», следует отметить недостаточную степень разработки и применения системного подхода — именно *системного*, а не комплексного — без реализации которого невозможно создание рациональной инфраструктуры нефтяного кластера.

### *Список литературы:*

1. Ларочкина И. А. Нефтедобыча как основа для модернизационного развития Татарстана // «Энергетика Татарстана». – Казань, 2011. – № 3. – С. 5-10.
2. Фардиев Ф. Н. Нефтяной кластер энергетики Татарстана / «Энергетика Татарстана». – Казань. – 2011. – № 1. – С. 5-8.
3. Муслимов Р. Х. Особенности разведки и разработки нефтяных месторождений в условиях рыночной экономики // АН РТ. – Казань: ФЭН, 2009 г. – 728 с.
4. Муслимов Р. Х., Изотов В. Г., Ситдикова Л. М. Динамика наноминеральных фаз нефтяного пласта на поздней стадии разработки // Мат-лы межд. научно-практ. конф., Казань: ФЭН, 2008 г. – 295 с.
5. Волков Ю. А. Об увеличении нефтеизвлечения за счет учета фациальных особенностей геологического строения резервуара // Док. науч.-техн. конф.: Изд-во «Нефтяное хозяйство». 2008. – С. 73-75.
6. Петрушин М. Системное внедрение кислотных обработок углеводородных скважин // Время Колтюбинга. – М., 2010. – № 1. – С. 48-52.
7. Бурдин К. То, что еще вчера казалось ноу-хау, сегодня становится обыденной практикой // Время Колтюбинга. – М., 2010. – № 1. – С. 28-31.
8. Сердюков О. Т. Использование колтюбинговых установок в ОАО «АНК «Башнефть» // Время Колтюбинга. – М., 2010. – № 1. – С. 10-21.
9. Иванов Б. Н. Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти / Б. Н. Иванов, А. И. Гурьянов, А. М. Гумеров. – АН РТ, Казань: ФЭН, 2009. – 400 с.

А. С. Буянова<sup>1</sup>, А. А. Ламберова<sup>1</sup>, М. Э. Ламберова к.х.н.<sup>1</sup>, С. С. Ксембаев<sup>2</sup> д.мед.н.,  
В. К. Половняк<sup>3</sup> д.х.н.,

<sup>1</sup>Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова,  
Россия, г. Бийск

<sup>2</sup>Казанский государственный медицинский университет  
Россия, г. Казань

<sup>3</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Россия, г. Казань

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ СТРУКТУРИРОВАННОГО ЦЕЛОФОРМА

Изучена антимикробная и антигрибковая активность нового биосорбента целоформа в отношении патогенных микроорганизмов *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli* и др. и показана перспективность его использования в медицинской практике.

*Ключевые слова:* биосорбент, целоформ, антимикробная активность

В последнее время наблюдается растущий интерес к антимикробным полимерным материалам, особенно в медицинской и пищевой промышленности. Вследствие развития резистентности к традиционно применяемым дезинфектантам у многих патогенных микроорганизмов, актуальным является поиск и применение новых средств, обладающих антимикробными свойствами.

**Целью** данной работы было исследовать антимикробную активность сухого порошкообразного структурированного биосорбента - целоформа традиционными в микробиологии методами и объяснить механизм его антимикробного действия.

К патогенным микроорганизмам относятся *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, из них условно патогенными считаются *Pseudomonas aeruginosa*. Данный набор микроорганизмов определен Госфаркопеей при оценке антимикробных свойств веществ [1]. Однако стандартная методика предполагает жидкое состояние исследуемых дезинфектантов, поэтому в данной работе необходимо было подобрать также технику проведения анализа.

*Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa* - «синегнойная палочка») – это грамотрицательная подвижная бактерия палочковидной формы, является облигатным (строгим) аэробом с размерами (0,5-0,8)×(1,5-3,0) мкм. Оптимальная температура для развития 37 °С, но может расти и при 42 °С. Чрезвычайно устойчива к большинству антибиотиков за счет барьера, создаваемого липополисахаридами внешней мембраны, а также частого присутствия в толще биопленки, тоже выполняющей защитную роль.

*Escherichia coli* (*E. coli*) - это грамотрицательные палочковидные бактерии, принадлежащие к семейству *Enterobacteriaceae*. Выполняет полезную роль, подавляя рост вредных бактерий и синтезируя некоторые витамины. Бактерии группы кишечной палочки не устойчивы к высокой температуре, при 60 °С гибель их наступает через 15 минут, при 100°С - мгновенно. Обычные дезинфицирующие вещества (фенол, формалин, сулема, едкий натр, креолин, хлорная известь и др.) в общепринятых разведениях быстро убивают кишечную палочку.

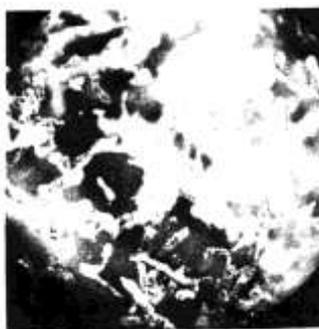
*Candida albicans* (*C. albicans*) - это одноклеточные дрожжеподобные микроорганизмы. Молодые клетки имеют округлую или яйцевидную форму – «споры»,

зрелые - удлинённую. В зависимости от более или менее благоприятных условий существования *Candida* или находится в состоянии «спор» или образует почкующийся псевдомицелий. Является возбудителем кандидозов.

*Staphylococcus aureus* (*S. aureus* - стафилококк золотистый) – наиболее патогенный вид стафилококков, возбудитель гнойно-воспалительных поражений у человека. Относится к семейству *Micrococcaceae*, порядок *Lactobacillales*, класс *Bacilli*, тип *Firmicutes*, царство Бактерии.

*Bacillus cereus* (*B. cereus*) — грамположительная, спорообразующая почвенная бактерия. Хемоорганогетеротроф, факультативный анаэроб, способен к нитратредукции. Растёт на простых питательных средах, на плотных питательных средах образует плоские, мелкобугристые, слегка вогнутые, матовые колонии. Край волнистый. Клетки крупные (1,0)×(3,0-4,0) мкм, эндоспоры расположены центрально, не превышают размер клетки. Жгутики расположены перетрихально. Вызывает токсикоинфекции у человека.

Целоформ - это целлюлозосодержащий сорбент со структурой, измененной в результате механохимического активирования (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Целоформ, полученный из отходов производства хлопковой ваты (ООО «Целоформ», г. Казань) (24000<sup>x</sup>, диаметр волокна 2,0-4,0 мкм, длина волокна 20,0-50,0 мкм)**

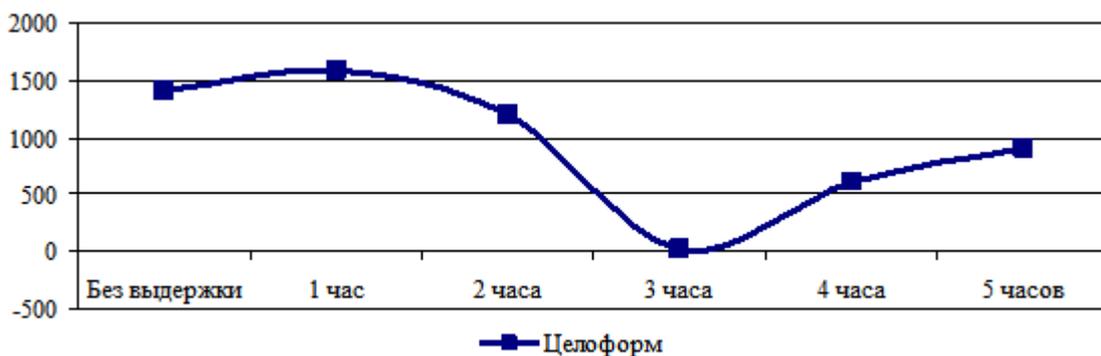
По данным рентгенофазового анализа [2] в результате компрессионного сдвига в целоформе меняется соотношение аморфной и кристаллитной фаз, что усиливает сорбционные свойства целоформа в отношении воды и жидких субстратов. Кроме того, появляются свободные радикалы, что увеличивает его химическую активность и антибактериальную активность.

Ранее нами была проведена сравнительная оценка антимикробных свойств целоформа, микрокристаллической целлюлозы, а также неорганических сорбентов как кристаллических (Fresh F-24), так и аморфных глинопободных (гиббсит) [3] без объяснения механизма их действия. Было показано преимущество целоформа в отношении угнетения жизнедеятельности ряда бактерий.

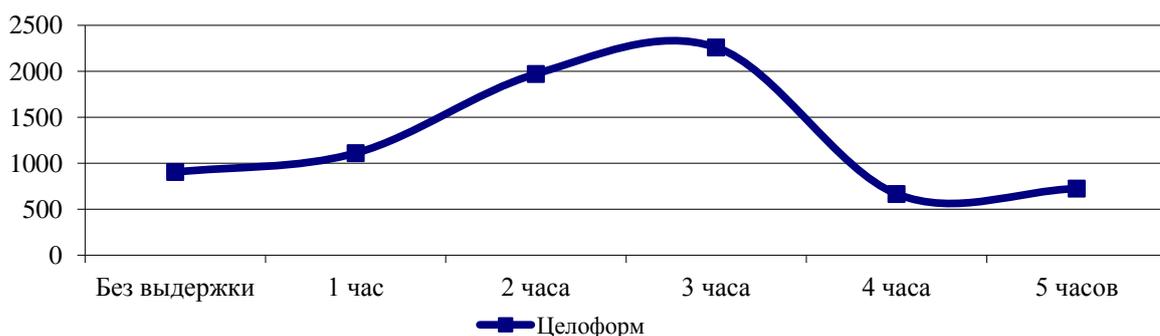
В публикациях по использованию целоформа в медицине [4, 5, 6] было показано, что при нанесении в рану целоформ образует «активную хирургическую повязку», через которую не проникают микроорганизмы. Для уже существующих бактерий создаются неблагоприятные условия из-за гидрофильных свойств целоформа. При этом сохраняется газообмен и питание поврежденных тканей, создаются благоприятные условия для нейтрофилов и макрофагов, уничтожающих микробов. Целоформ обладает длительным адсорбирующим действием, не вызывает побочных реакций в виде раздражений и непереносимости, имеет хорошие дезодорирующие свойства.

В данной работе для определения антимикробной активности целоформа суточную культуру выдерживали со стерилизованным структурированным целоформом в течение 1 - 5 часов, готовили разведения до  $10^{-10}$  с последующим высевом на селективную

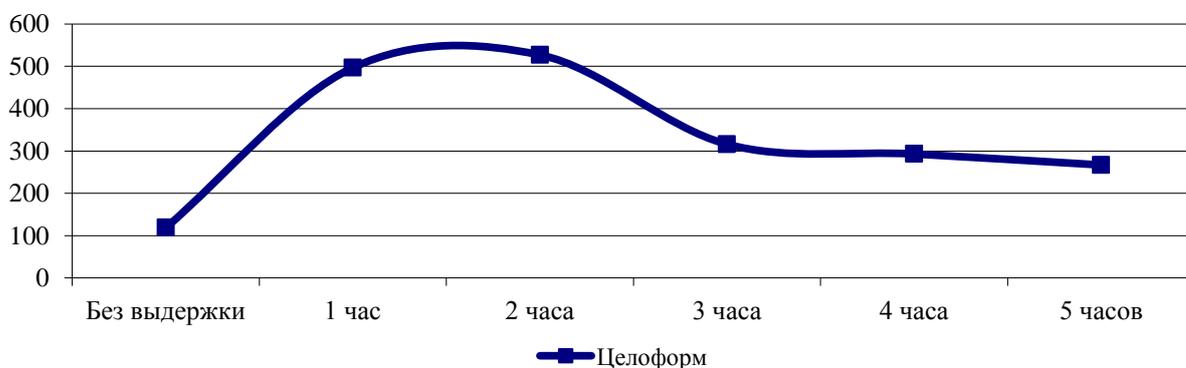
агаризованную среду в чашки Петри. Культивировали в термостате при температуре 37° С в течение 24 часов – для *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, и при температуре 26° С 96-120 часов - для *Candida albicans*. По результатам подсчета, обработанным статистически, выбрали чашки Петри, в которых выросло от 15 до 300 колоний и построили графики (рис. 2-6).



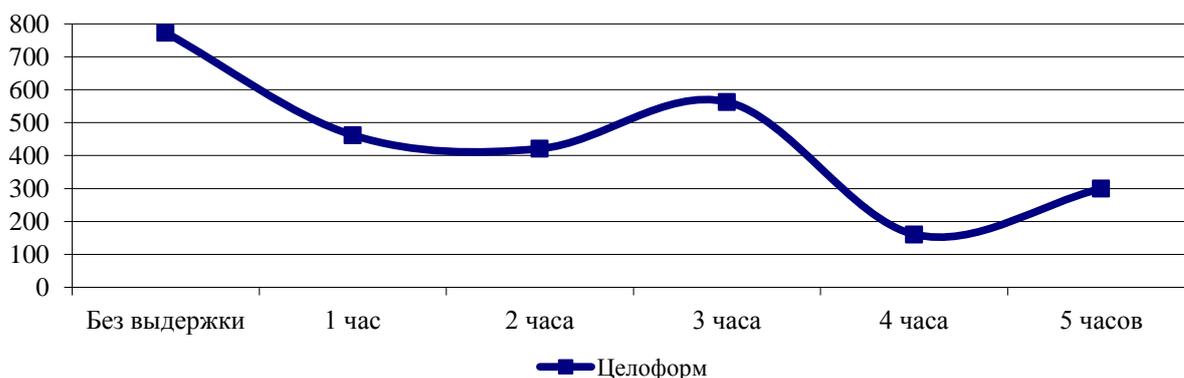
**Рисунок 2 – Зависимость количества клеток (КОЕ/мл) *Pseudomonas aeruginosa* от длительности выдержки с целоформом (кратность разведения  $10^{-5}$ )**



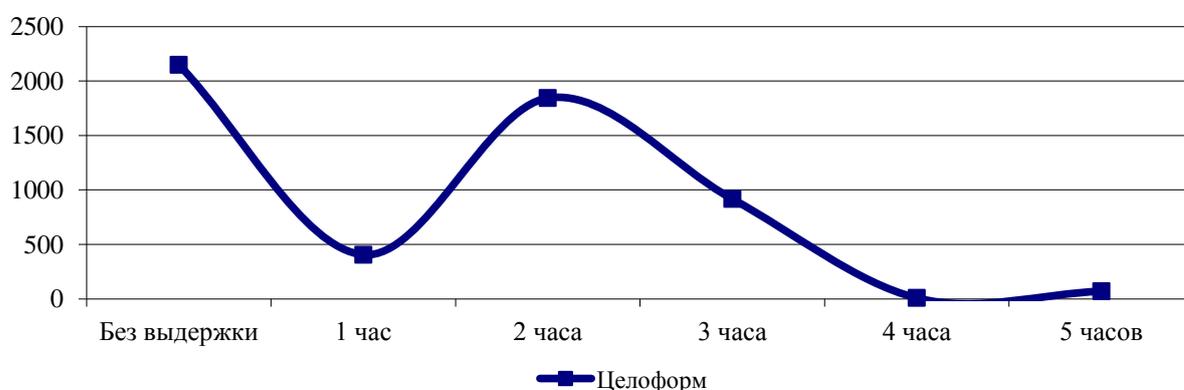
**Рисунок 3 – Зависимость количества клеток (КОЕ/мл) *Escherichia coli* от длительности выдержки с целоформом (кратность разведения  $10^{-5}$ )**



**Рисунок 4 – Зависимость количества клеток (КОЕ/мл) *Candida albicans* от длительности выдержки с целоформом (кратность разведения  $10^{-5}$ )**



**Рисунок 5 – Зависимость количества клеток (КОЕ/мл) *Bacillus cereus* от длительности выдержки с целоформом (кратность разведения  $10^{-4}$ )**



**Рисунок 6 – Зависимость количества клеток (КОЕ/мл) *Staphylococcus aureus* от длительности выдержки с целоформом (кратность разведения  $10^{-5}$ )**

Таким образом, лучшие результаты антимикробной активности в отношении *Pseudomonas aeruginosa* (рис. 2) наблюдаются при выдержке под целоформом в течение 3 часов, подсчет осуществляли при разведении  $10^{-5}$ .

В отношении *Escherichia coli* (рис. 3) лучший результат антимикробной активности целоформа был при выдержке в течение 4 часов, подсчет – при кратности разведения  $10^{-5}$ .

Исследования с *Candida albicans* (рис. 4) показали обратные результаты. При выдержке под структурированным целоформом выросло большее количество колоний, чем без него. Это может свидетельствовать об адаптации дрожжей к целоформу.

В отношении *Bacillus cereus* (рис. 5) максимальная антимикробная активность показана после выдержки под целоформом в течение 4 часов. Подсчет осуществляли при кратности разведения  $10^{-4}$ . Выдержка суспензии клеток *Staphylococcus aureus* (рис. 6) под целоформом в течение 4 часов при подсчете на чашках Петри с кратностью разведения  $10^{-5}$ .

Таким образом, биосорбент на основе хлопковой целлюлозы – целоформ обладает высокой антимикробной и антигрибковой активностью, что делает его перспективным материалом для использования в медицинской и стоматологической практике

### Список литературы:

1. Государственная фармакопея XII издания, вып.1,2. М.: Медицина, 2007. Добавлена 25.06.2009.
2. Вавилов Ю.Г. Ксембаев С.С., Половняк В.К. Экологичный биосорбент на основе хлопковой целлюлозы // Научно-технический Вестник Поволжья. 2011. - № 3. - С. 7-15.
3. Буянова А.С., Ламберова М.Э. Исследование антимикробных свойств структурированных наноносителей // Сборник м-лов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности» – Бийск: Изд-во БТИ АлтГТУ, 2011.- Ч. I. - С.215-218.
4. Аванасян Л.А. О взаимоотношении иммунного и адаптивного ответа / Л.А. Аванасян, Т.К. Давтян // Успехи современной биологии 2001. - Т. 121. -№3.- С. 275-286.
5. Адарченко А.А. Сравнительное исследование антибиотиков и антисептиков в отношении *S. aureus* / А.А. Адарченко, А.П. Красильников, О.П. Собошук // Антибиотики и химиотерапия. 1991. - № 2. - С. 21-24.
6. Афиногенов Г.Е. Антимикробные полимеры / Г.Е. Афиногенов, Е.Ф. Панарин. - СПб.: крат, 1993.-264 с.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.04

Д. А. Жуков

Таганрогский государственный педагогический институт имени А.П. Чехова  
физико-математический факультет, кафедра алгебры и геометрии  
Россия, г. Таганрог  
fossil.new@yandex.ru

## БЕСКОНЕЧНО МАЛЫЕ MG-ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ ПРИ СТАЦИОНАРНОСТИ СРЕДНЕЙ КРИВИЗНЫ ВДОЛЬ КРАЯ

В работе исследуется вопрос о существовании бесконечно малых MG-деформаций поверхностей положительной гауссовой кривизны с краем в трехмерном евклидовом пространстве при условии стационарности средней кривизны вдоль края поверхности и заданном смещении некоторой точки поверхности.

*Ключевые слова:* поверхность, бесконечно малые MG-деформации, средняя кривизна, главные направления.

Целью работы является исследование вопроса о существовании бесконечно малых MG-деформаций односвязной поверхности с краем и положительной вплоть до края гауссовой кривизной в трехмерном евклидовом пространстве  $E^3$  при условии стационарности средней кривизны вдоль края поверхности и заданном смещении некоторой точки поверхности. Ранее данный вопрос в литературе не рассматривался.

Рассмотрим в пространстве  $E^3$  поверхность  $S$  с краем  $\partial S$ . Поверхность  $S$  зададим радиус-вектором  $\vec{r} = \vec{r}(u, v) \in D_{3,p}$ ,  $p > 2$ ,  $(u, v) \in \Omega$ ,  $\Omega$  – плоская односвязная область с границей  $\partial\Omega$ . Будем считать, что край  $\partial S$  поверхности  $S$  принадлежит классу  $C_\rho^1$ ,  $0 < \rho \leq 1$  и не содержит омбилических точек, и гауссова кривизна поверхности  $S$  положительна, вплоть до края.

Подвергнем поверхность  $S$  бесконечно малой MG-деформации. Бесконечно малой MG-деформацией называется бесконечно малая деформация при которой поточечно сохраняется грассманов образ, а приращение гауссовой кривизны равно заданной на поверхности  $S$  функции  $\sigma \in D_{1,p}$ ,  $p > 2$ . Бесконечно малая MG-деформация называется тривиальной, если она является бесконечно малым параллельным переносом поверхности  $S$  в пространстве.

Отметим на поверхности  $S$  точку  $M_0$  и потребуем, чтобы точка  $M_0$  при деформации смещалась на заданный вектор  $\vec{C}$ , это условие будем называть точечной связью.

Отметим на  $\partial S$  точку  $Q$ , на  $\partial\Omega$  ей соответствует точка  $\tilde{Q}$ . Проведем из точки  $Q$  кривую  $p$  на поверхности  $S$  в главном направлении. Образ линии  $p$  в области  $\Omega$  обозначим  $\tilde{p}$ . Угол, отсчитываемый против хода часовой стрелки от касательной к контуру  $\partial\Omega$  в точке  $\tilde{Q}$  до касательной к  $\tilde{p}$  в этой же точке, обозначим через  $\nu$ .

Вычетом [5, с. 12] поверхности  $S$  относительно поля главных направлений называется число  $V_{GH}(S) = \frac{1}{\pi} \Delta_{\partial\Omega} \nu$ , где  $\Delta_{\partial\Omega} \nu$  – приращение угла  $\nu$ , при обходе контура  $\partial\Omega$  в направлении оставляющем область  $\Omega$  слева.

Справедлива следующая

**Теорема.** Пусть средняя кривизна вдоль края  $\partial S$  поверхности  $S$  стационарна при бесконечно малой MG-деформации с точечной связью. Тогда:

1) если  $V_{GH}(S) > -2$ , то

- при  $\sigma \equiv 0$  существует и единственна тривиальная бесконечно малая MG-деформация поверхности  $S$ ;

- при  $\sigma \neq 0$  нетривиальная бесконечно малая MG-деформация поверхности  $S$  существует и единственна тогда и только тогда, когда функция  $\sigma$  удовлетворяет  $(2V_{GH}(S) + 3)$  условиям разрешимости;

2) если  $V_{GH}(S) \leq -2$ , то

- при  $\sigma \equiv 0$  существует  $(-2V_{GH}(S) - 3)$  нетривиальных бесконечно малых MG-деформаций поверхности  $S$ ;

- при  $\sigma \neq 0$  нетривиальные бесконечно малые MG-деформации поверхности  $S$  существуют и зависят от  $(-2V_{GH}(S) - 3)$  произвольных вещественных постоянных.

### 1. Понятие бесконечно малой MG-деформации

Рассмотрим деформацию  $S_t$ ,  $t \in (-t_0, t_0)$ ,  $t_0 > 0$ , поверхности  $S$ , задавая ее уравнением  $\vec{r}_t = \vec{R}(u, v, t)$ , где  $(u, v) \in \Omega$ ,  $\vec{R}(u, v, t)$  – функция класса  $D_{3,p}$ ,  $p > 2$ , по параметрам  $u, v$  и класса  $C^2$  по параметру  $t$ ,  $\vec{R}(u, v, 0) \equiv \vec{r}(u, v)$ .

Пусть  $a(u, v)$  – некоторая функция на исходной поверхности  $S$ . После деформации функция  $a$  перейдет в функцию  $A(u, v, t)$  на деформированной поверхности  $S_t$ , причем

$A(u, v, 0) \equiv a(u, v)$ . Функцию  $\delta a = \left. \frac{\partial A}{\partial t} \right|_{t=0}$  будем называть *вариацией* функции  $a$ .

Векторное поле  $\left. \frac{\partial \vec{R}}{\partial t} \right|_{t=0} = \delta \vec{r}$  обозначим через  $\vec{y}$  и будем называть *векторным полем*

*деформации*. Будем в дальнейшем считать, что  $\vec{y} = \vec{y}(u, v) \in D_{3,p}$ ,  $p > 2$ .

Две деформации называются *эквивалентными*, если их векторные поля деформаций равны. Каждый класс эквивалентных деформаций будем называть *бесконечно малой деформацией* поверхности  $S$ . Сохранение поточечно грассманаова образа поверхности аналитически записывается в виде:

$$\delta \vec{n} = 0, \quad (1)$$

где  $\delta \vec{n}$  – вариация единичного вектора нормали поверхности  $S$ .

Зададим на поверхности  $S$  функцию  $\sigma \in D_{1,p}$ ,  $p > 2$ . Равенство приращения гауссовой кривизны функции  $\sigma$  записывается в виде:

$$\delta K = \sigma, \quad (2)$$

где  $\delta K$  – вариация гауссовой кривизны поверхности  $S$ . Отсюда получаем

**Определение.** *Бесконечно малой MG-деформацией* называется бесконечно малая деформация поверхности  $S$ , при которой выполняются условия (1) и (2).

Соответствие векторного поля MG-деформации  $\vec{y}$  бесконечно малому параллельному переносу аналитически записывается в виде  $\vec{y} = \overline{\text{const}}$ .

Дополнительное точечное условие аналитически записывается в виде

$$\vec{y}(M_0) = \vec{C}. \quad (3)$$

## 2. Система уравнений для бесконечно малой MG-деформации

Выведем систему уравнений описывающую бесконечно малые MG-деформации поверхности  $S$  в  $E^3$ .

Известно [6, с. 464], что аналитически бесконечно малые деформации, для которых выполнено условие (1) характеризуются следующими соотношениями:

$$\partial_j \vec{y} = \alpha_j^k \partial_k \vec{r}, \quad j = 1, 2, \quad (4)$$

где  $\alpha_j^k$  – некоторые скалярные функции от  $(u, v)$ ,  $\partial_1 = \frac{\partial}{\partial u}$ ,  $\partial_2 = \frac{\partial}{\partial v}$ .

В силу односвязности поверхности  $S$ , по частным производным  $\partial_j \vec{y}$  можно восстановить векторное поле  $\vec{y}$ , которое, с учетом точечной связи, будет однозначным. Из равенств (4) следует, что для того чтобы найти частные производные  $\partial_j \vec{y}$  достаточно отыскать функции  $\alpha_j^k$ . Составим систему уравнений относительно неизвестных  $\alpha_j^k$ . Продифференцируем первое уравнение системы (4) по  $v$ , а второе по  $u$ , получим следующую систему:

$$\begin{cases} \partial_{12} \vec{y} = \partial_2 \alpha_1^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_1^1 \partial_{12} \vec{r} + \partial_2 \alpha_1^2 \partial_2 \vec{r} + \alpha_1^2 \partial_{22} \vec{r}, \\ \partial_{21} \vec{y} = \partial_1 \alpha_2^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_2^1 \partial_{11} \vec{r} + \partial_1 \alpha_2^2 \partial_2 \vec{r} + \alpha_2^2 \partial_{21} \vec{r}. \end{cases} \quad (5)$$

Используем дериационные формулы Гаусса  $\partial_{jk} \vec{r} = \Gamma_{jk}^l \partial_l \vec{r} + b_{jk} \vec{n}$ ;  $j, k = 1, 2$ , имеем:

$$\begin{cases} \partial_{12} \vec{y} = \partial_2 \alpha_1^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_1^1 (\Gamma_{12}^1 \partial_1 \vec{r} + \Gamma_{12}^2 \partial_2 \vec{r} + b_{12} \vec{n}) + \partial_2 \alpha_1^2 \partial_2 \vec{r} + \alpha_1^2 (\Gamma_{22}^1 \partial_1 \vec{r} + \Gamma_{22}^2 \partial_2 \vec{r} + b_{22} \vec{n}), \\ \partial_{21} \vec{y} = \partial_1 \alpha_2^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_2^1 (\Gamma_{11}^1 \partial_1 \vec{r} + \Gamma_{11}^2 \partial_2 \vec{r} + b_{11} \vec{n}) + \partial_1 \alpha_2^2 \partial_2 \vec{r} + \alpha_2^2 (\Gamma_{21}^1 \partial_1 \vec{r} + \Gamma_{21}^2 \partial_2 \vec{r} + b_{21} \vec{n}), \end{cases}$$

где  $b_{jk}$  – коэффициенты второй квадратичной формы поверхности  $S$ ,  $\Gamma_{jk}^l$  – символы Кристоффеля второго рода. Так как  $\partial_{12} \vec{y} = \partial_{21} \vec{y}$ , то, приравняв коэффициенты полученных уравнений при  $\partial_1 \vec{r}$ ,  $\partial_2 \vec{r}$ ,  $\vec{n}$ , получим систему:

$$\begin{cases} \partial_2 \alpha_1^1 + \alpha_1^1 \Gamma_{12}^1 + \alpha_1^2 \Gamma_{22}^1 = \partial_1 \alpha_2^1 + \alpha_2^1 \Gamma_{11}^1 + \alpha_2^2 \Gamma_{21}^1, \\ \partial_2 \alpha_1^2 + \alpha_1^1 \Gamma_{12}^2 + \alpha_1^2 \Gamma_{22}^2 = \partial_1 \alpha_2^2 + \alpha_2^1 \Gamma_{11}^2 + \alpha_2^2 \Gamma_{21}^2, \\ \alpha_1^1 b_{12} + \alpha_1^2 b_{22} = \alpha_2^1 b_{11} + \alpha_2^2 b_{21}. \end{cases} \quad (6)$$

Так как гауссова кривизна поверхности  $S$ :  $K \geq k_0 > 0$ ,  $k_0 = \text{const}$ , то вводя на  $S$  сопряженно изометрическую систему координат, имеем  $b_{11} = b_{22} \neq 0$ ,  $b_{12} = 0$ . Тогда из третьего уравнения системы (6) находим  $\alpha_1^2 = \alpha_2^1$ . Система уравнений (6) преобразуется в систему:

$$\begin{cases} \partial_2 \alpha_1^1 - \partial_1 \alpha_2^1 = (\alpha_2^2 - \alpha_1^1) \Gamma_{21}^1 + \alpha_1^2 (\Gamma_{11}^1 - \Gamma_{22}^1), \\ \partial_2 \alpha_1^2 - \partial_1 \alpha_2^2 = (\alpha_2^2 - \alpha_1^1) \Gamma_{12}^2 + \alpha_1^2 (\Gamma_{11}^2 - \Gamma_{22}^2). \end{cases} \quad (7)$$

Следуя В.Т. Фоменко [4, с. 87], введем обозначения:

$$U = \frac{1}{2}(\alpha_2^2 - \alpha_1^1), V = \alpha_1^2, \Pi = \frac{1}{2}(\alpha_2^2 + \alpha_1^1). \quad (8)$$

Тогда  $\alpha_1^1 = \Pi - U$ ,  $\alpha_2^2 = \Pi + U$ . Уравнения (7) принимают вид:

$$\begin{cases} \partial_1 U - \partial_2 V + 2\Gamma_{12}^2 U + (\Gamma_{11}^2 - \Gamma_{22}^2) V = -\partial_1 \Pi, \\ \partial_2 U + \partial_1 V + 2\Gamma_{21}^1 U + (\Gamma_{11}^1 - \Gamma_{22}^1) V = \partial_2 \Pi. \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, бесконечно малые деформации, удовлетворяющие условию (1) описываются системой уравнений (9).

Преобразуем условие (2) так, чтобы в него входили неизвестные функции  $\alpha_j^k$ . Пусть  $g = g_{11}g_{22} - g_{12}^2$ ,  $b = b_{11}b_{22} - b_{12}^2$  – дискриминанты первой и второй квадратичных форм исходной поверхности, соответственно, тогда  $K = \frac{b}{g}$ . Условие (2) принимает вид:

$$\delta b - K \cdot \delta g = g \sigma. \quad (10)$$

Проварьируем  $g$  и  $b$ , имеем:

$$\begin{aligned} \delta g &= \delta g_{11} \cdot g_{22} + g_{11} \cdot \delta g_{22} - 2g_{12} \cdot \delta g_{12}, \\ \delta b &= \delta b_{11} \cdot b_{22} + b_{11} \cdot \delta b_{22} - 2b_{12} \cdot \delta b_{12}. \end{aligned} \quad (11)$$

Вычислим вариации  $\delta g_{jk}$  и  $\delta b_{jk}$ ,  $j, k = 1, 2$ , выражая их через  $\alpha_1^1$ ,  $\alpha_1^2$ ,  $\alpha_2^2$  и коэффициенты первой и второй квадратичных форм исходной поверхности  $S$ . Учитывая условие (1) и тот факт, что  $\delta \vec{r} = \vec{y}$ , имеем:

$$\begin{aligned} \delta g_{11} &= \delta(\partial_1 \vec{r}, \partial_1 \vec{r}) = (\delta(\partial_1 \vec{r}), \partial_1 \vec{r}) + (\partial_1 \vec{r}, \delta(\partial_1 \vec{r})) = \\ &= 2(\partial_1 \vec{y}, \partial_1 \vec{r}) = 2(\alpha_1^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_1^2 \partial_2 \vec{r}, \partial_1 \vec{r}) = 2\alpha_1^1 g_{11} + 2\alpha_1^2 g_{21}, \\ \delta g_{12} &= \delta(\partial_1 \vec{r}, \partial_2 \vec{r}) = (\delta(\partial_1 \vec{r}), \partial_2 \vec{r}) + (\partial_1 \vec{r}, \delta(\partial_2 \vec{r})) = (\partial_1 \vec{y}, \partial_2 \vec{r}) + (\partial_1 \vec{r}, \partial_2 \vec{y}) = \\ &= (\alpha_1^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_1^2 \partial_2 \vec{r}, \partial_2 \vec{r}) + (\partial_1 \vec{r}, \alpha_2^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_2^2 \partial_2 \vec{r}) = \alpha_1^1 g_{12} + \alpha_1^2 g_{22} + \alpha_2^1 g_{11} + \alpha_2^2 g_{21}, \\ \delta g_{22} &= \delta(\partial_2 \vec{r}, \partial_2 \vec{r}) = (\delta(\partial_2 \vec{r}), \partial_2 \vec{r}) + (\partial_2 \vec{r}, \delta(\partial_2 \vec{r})) = 2(\partial_2 \vec{y}, \partial_2 \vec{r}) = \\ &= 2(\alpha_1^2 \partial_1 \vec{r} + \alpha_2^2 \partial_2 \vec{r}, \partial_2 \vec{r}) = 2\alpha_1^2 g_{12} + 2\alpha_2^2 g_{22}. \end{aligned}$$

Таким образом,  $\delta g_{jk}$  выражаются следующими формулами:

$$\begin{aligned} \delta g_{11} &= 2\alpha_1^1 g_{11} + 2\alpha_1^2 g_{21}, \\ \delta g_{12} &= \alpha_1^1 g_{12} + \alpha_1^2 g_{22} + \alpha_2^1 g_{11} + \alpha_2^2 g_{21}, \\ \delta g_{22} &= 2\alpha_1^2 g_{12} + 2\alpha_2^2 g_{22}. \end{aligned} \quad (12)$$

Продифференцируем первое из уравнений (4) по  $u$ , а второе по  $v$ :

$$\begin{cases} \partial_{11} \vec{y} = \partial_1 \alpha_1^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_1^1 \partial_{11} \vec{r} + \partial_2 \alpha_1^2 \partial_2 \vec{r} + \alpha_1^2 \partial_{21} \vec{r}, \\ \partial_{22} \vec{y} = \partial_2 \alpha_2^1 \partial_1 \vec{r} + \alpha_2^1 \partial_{12} \vec{r} + \partial_2 \alpha_2^2 \partial_2 \vec{r} + \alpha_2^2 \partial_{22} \vec{r}. \end{cases}$$

Используя полученные равенства и первое равенство системы (5), находим:

$$\delta b_{11} = (\delta(\partial_{11} \vec{r}), \vec{n}) + (\partial_{11} \vec{r}, \delta \vec{n}) = (\partial_{11} \vec{y}, \vec{n}) = \alpha_1^1 (\partial_{11} \vec{r}, \vec{n}) + \alpha_1^2 (\partial_{21} \vec{r}, \vec{n}) = \alpha_1^1 b_{11} + \alpha_1^2 b_{12},$$

$$\delta b_{12} = (\delta(\partial_{12} \vec{r}), \vec{n}) + (\partial_{12} \vec{r}, \delta \vec{n}) = (\partial_{12} \vec{y}, \vec{n}) = \alpha_1^1 (\partial_{12} \vec{r}, \vec{n}) + \alpha_1^2 (\partial_{22} \vec{r}, \vec{n}) = \alpha_1^1 b_{12} + \alpha_1^2 b_{22},$$

$$\delta b_{22} = (\delta(\partial_{22}\vec{r}), \vec{n}) + (\partial_{22}\vec{r}, \delta\vec{n}) = (\partial_{22}\vec{y}, \vec{n}) = \alpha_1^2(\partial_{12}\vec{r}, \vec{n}) + \alpha_2^2(\partial_{22}\vec{r}, \vec{n}) = \alpha_1^2 b_{12} + \alpha_2^2 b_{22},$$

Так как на поверхности  $S$  введена изометрически сопряженная параметризация, то  $b_{11} = b_{22} \neq 0$ ,  $b_{12} = 0$ , поэтому

$$\delta b_{11} = \alpha_1^1 b_{11}, \quad \delta b_{12} = \alpha_1^2 b_{11}, \quad \delta b_{22} = \alpha_2^2 b_{11}. \quad (13)$$

Подставляя найденные вариации для  $\delta b_{ij}$  и  $\delta g_{ij}$  в (11), получаем:

$$\begin{aligned} \delta g &= 2g_{22}(\alpha_1^1 g_{11} + \alpha_1^2 g_{21}) + 2g_{11}(\alpha_1^2 g_{12} + \alpha_2^2 g_{22}) - \\ &- 2g_{12}(\alpha_1^1 g_{12} + \alpha_1^2 g_{22} + \alpha_1^2 g_{11} + \alpha_2^2 g_{21}) = 2g(\alpha_1^1 + \alpha_2^2), \end{aligned} \quad (14)$$

$$\delta b = \alpha_1^1 b_{11} \cdot b_{22} + b_{11} \cdot \alpha_2^2 b_{11} - 2b_{12} \cdot \alpha_1^2 b_{11} = b_{11} b_{11} (\alpha_1^1 + \alpha_2^2) = b(\alpha_1^1 + \alpha_2^2).$$

Используя выражения (14), запишем равенство (10) в виде:

$$b(\alpha_1^1 + \alpha_2^2) - 2Kg(\alpha_1^1 + \alpha_2^2) = g\sigma,$$

отсюда имеем:

$$\alpha_1^1 + \alpha_2^2 = -\frac{\sigma}{K}. \quad (15)$$

Сделаем замену переменных  $\Pi = \frac{1}{2}(\alpha_2^2 + \alpha_1^1)$ , уравнение (15) принимает вид:

$$\Pi = -\frac{\sigma}{2K}. \quad (16)$$

Таким образом, нахождение бесконечно малой MG-деформации поверхности  $S$  сводится к решению системы уравнений:

$$\begin{cases} \partial_1 U - \partial_2 V + 2\Gamma_{12}^2 U + (\Gamma_{11}^2 - \Gamma_{22}^2) V = -\partial_1 \Pi, \\ \partial_2 U + \partial_1 V + 2\Gamma_{21}^1 U + (\Gamma_{11}^1 - \Gamma_{22}^1) V = \partial_2 \Pi, \\ \Pi = -\frac{\sigma}{2K}. \end{cases} \quad (17)$$

Третье уравнения системы (17) задает функцию  $\Pi$ , которая выражается через  $K$  и  $\sigma$ . Таким образом, задача сводится к изучению разрешимости системы двух уравнений с двумя неизвестными  $U$  и  $V$ :

$$\begin{cases} \partial_1 U - \partial_2 V + 2\Gamma_{12}^2 U + (\Gamma_{11}^2 - \Gamma_{22}^2) V = \partial_1 \left( \frac{\sigma}{2K} \right), \\ \partial_2 U + \partial_1 V + 2\Gamma_{21}^1 U + (\Gamma_{11}^1 - \Gamma_{22}^1) V = -\partial_2 \left( \frac{\sigma}{2K} \right). \end{cases} \quad (18)$$

Поиск векторного поля  $\vec{y}$  сводится к следующим действиям. Сначала следует решить систему (18), то есть найти  $U$  и  $V$ . Зная  $U$  и  $V$  нужно получить  $\alpha_1^1$ ,  $\alpha_1^2$ ,  $\alpha_2^2$ , применив формулы (8), (15) и (16). Далее, используя формулы (4), необходимо найти  $\partial_1 \vec{y}$ ,  $\partial_2 \vec{y}$ . И наконец, чтобы найти векторное поле деформации, нужно проинтегрировать выражение  $d\vec{y} = \partial_1 \vec{y} du + \partial_2 \vec{y} dv$ . Поверхность  $S$  односвязна, и выполнено условие

$\partial_{12}\vec{y} = \partial_{21}\vec{y}$ . Следовательно, с учетом условия (3), в произвольной точке  $M$  поверхности  $S$

вектор деформации  $\vec{y}$  однозначно определяется по формуле:  $\vec{y}(M) = \int_{M_0}^M d\vec{y} + \vec{C}$ .

### 3. Преобразование краевого условия

Согласно формулировке теоремы поверхность  $S$  подвергнута бесконечно малой MG-деформации при условии стационарности вдоль края  $\partial S$  средней кривизны и точечном условии (3). Стационарность средней кривизны вдоль края поверхности  $\partial S$  аналитически записывается в виде:  $\delta H = 0$  вдоль края  $\partial S$ . Воспользуемся известной формулой [3, с.

79], выражающей среднюю кривизну поверхности  $H = \frac{g_{11}b_{22} - 2g_{12}b_{12} + g_{22}b_{11}}{2g}$ , имеем:

$$\delta H = \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta(g_{11}b_{22} - 2g_{12}b_{12} + g_{22}b_{11}) \cdot g - (g_{11}b_{22} - 2g_{12}b_{12} + g_{22}b_{11}) \cdot \delta g}{g^2}.$$

Следовательно, условие  $\delta H = 0$  эквивалентно условию

$$\delta(g_{11}b_{22} - 2g_{12}b_{12} + g_{22}b_{11}) \cdot g - (g_{11}b_{22} - 2g_{12}b_{12} + g_{22}b_{11}) \cdot \delta g = 0.$$

Полученное условие запишем в виде:

$$(\delta g_{11}b_{22} + g_{11}\delta b_{22} - 2\delta g_{12}b_{12} - 2g_{12}\delta b_{12} + \delta g_{22}b_{11} + g_{22}\delta b_{11}) \cdot g - (g_{11}b_{22} - 2g_{12}b_{12} + g_{22}b_{11}) \cdot (\delta g_{11} \cdot g_{22} + g_{11} \cdot \delta g_{22} - 2g_{12} \cdot \delta g_{12}) = 0.$$

На поверхности  $S$  введена изометрически сопряженная параметризация, поэтому  $b_{11} = b_{22} \neq 0$ ,  $b_{12} = 0$ . Используя формулы (12) и (13), приводим последнее равенство к виду:

$$-g_{22}\alpha_1^1 + 2g_{12}\alpha_1^2 - g_{11}\alpha_2^2 = 0. \quad (19)$$

В формуле (19) сделаем замену искоемых функций по формулам (8), имеем:

$$U(g_{22} - g_{11}) + 2Vg_{12} = -\frac{\sigma}{2K}(g_{22} + g_{11}). \quad (20)$$

Итак, отыскание векторного поля деформации  $\vec{y}$  для бесконечно малой MG-деформации сводится к решению системы уравнений (18), а краевое условие  $\delta H = 0$  вдоль края  $\partial S$  принимает вид (20). Поэтому проблема существования бесконечно малой MG-деформации поверхности  $S$ , при условии  $\delta H = 0$  вдоль края  $\partial S$  и точечном условии (3), сводится к исследованию вопроса о разрешимости краевой задачи (18) – (20).

### 4. Комплексная форма записи краевой задачи (18) – (20)

Вводим в рассмотрение функцию  $w(z) = U + iV$ , где  $z = u + iv$ ,  $i^2 = -1$ ,  $(u, v) \in \Omega$ . И записываем систему уравнений (18) в виде:

$$\partial_{\bar{z}}w + A_1w + B_1\bar{w} = F, \quad (21)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{1}{4}(\Gamma_{11}^1 - \Gamma_{22}^1 + 2\Gamma_{12}^2) - \frac{i}{4}(\Gamma_{11}^2 - \Gamma_{22}^2 - 2\Gamma_{21}^1), \quad F = \frac{1}{2}\partial_{\bar{z}}\left(\frac{\sigma}{K}\right),$$

$$B_1 = \frac{1}{4}(\Gamma_{22}^1 - \Gamma_{11}^1 + 2\Gamma_{12}^2) + \frac{i}{4}(\Gamma_{11}^2 - \Gamma_{22}^2 + 2\Gamma_{12}^1).$$

Перепишем краевое условие (20), вводя в него функцию  $w$ . Положив  $\lambda = g_{22} - g_{11} + 2ig_{12}$ , получаем:

$$\text{Re}\{\bar{\lambda}w\} = \chi, \quad (22)$$

где  $\chi = -\frac{\sigma}{2K}(g_{22} + g_{11})$ . Краевая задача (21) – (22) является обобщенной задачей

Римана-Гильберта для односвязной области [1, с. 179]. Проверим выполнение условий регулярности относительно данных задачи.

1) Так как  $\vec{r} = \vec{r}(u, v) \in D_{3,p}, p > 2$ , то  $g_{ij} \in D_{2,p}, p > 2, i, j = 1, 2$ , следовательно,  $\Gamma_{ij}^k \in D_{1,p}, p > 2, i, j, k = 1, 2$ , таким образом,  $A_1, B_1 \in L_p(\Omega + \partial\Omega), p > 2$ . Функция  $\sigma \in D_{1,p}, p > 2$ , поэтому  $F \in L_p(\Omega + \partial\Omega), p > 2$ .

2) Поверхность  $S$  гомеоморфна области  $\Omega$ , при этом  $\partial S$  гомеоморфно отображается на  $\partial\Omega$ . Край  $\partial S \in C_\nu^1, 0 < \nu \leq 1$ , поэтому  $\partial\Omega \in C_\nu^1, 0 < \nu \leq 1$ .

3) Функции  $g_{ij} \in D_{2,p}, p > 2, i, j = 1, 2$ , следовательно,  $\lambda, \gamma \in C_\rho(\partial\Omega), 0 < \rho \leq 1$ . Край  $\partial S$  поверхности  $S$  не содержит омбилических точек, поэтому  $\lambda \neq 0$ , что в силу [2, с. 231] эквивалентно условию  $|\lambda| = 1$ .

Таким образом, все условия регулярности относительно данных задачи выполнены. Разрешимость обобщенной краевой задачи Римана-Гильберта зависит от индекса функции  $\lambda$ .

### 5. Доказательство теоремы

Пусть  $(\xi; \eta)$  – главное направление, тогда и только тогда выполняется условие

$$\begin{vmatrix} g_{11}\xi + g_{12}\eta & g_{12}\xi + g_{22}\eta \\ b_{11}\xi + b_{12}\eta & b_{12}\xi + b_{22}\eta \end{vmatrix} = 0, \text{ отсюда в силу выбора на поверхности } S \text{ изометрически}$$

сопряженной системы координат, имеем:

$$(g_{22} - g_{11})\xi\eta - g_{12}(\eta^2 - \xi^2) = 0. \quad (23)$$

Обозначим  $\vec{l}_1 = \{g_{22} - g_{11}, 2g_{12}\}$ ,  $\vec{l}_2 = \{\xi\eta, -\frac{1}{2}(\eta^2 - \xi^2)\}$ . Из равенства (23)

следует, что векторы  $\vec{l}_1$  и  $\vec{l}_2$  ортогональны, поэтому вращение векторов  $\vec{l}_1$  и  $\vec{l}_2$  вдоль кривой  $\partial\Omega$  одинаково, и индексы функций  $g_{22} - g_{11} + 2ig_{12}$  и  $\xi\eta - \frac{i}{2}(\eta^2 - \xi^2)$  равны.

Следовательно, в силу свойств индекса [2, с. 94], имеем:

$$Ind\lambda = Ind \frac{i}{2}(\xi - i\eta)^2 = -2Ind(\xi + i\eta).$$

Вычислим индекс функции  $\xi + i\eta$ . Образом кривой  $p$  в области  $\Omega$  является кривая  $\tilde{p}$ , а образом главного направления является касательная к кривой  $\tilde{p}$  в точке  $\tilde{Q}$ . Касательную к кривой зададим направляющим вектором с координатами  $\{\xi, \eta\}$ , или в комплексной записи  $\xi + i\eta$ . Запишем комплексное число  $\xi + i\eta$  в тригонометрической форме:  $\xi + i\eta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}(\cos\gamma + i\sin\gamma)$ . Следовательно, в силу свойств индекса,  $Ind(\xi + i\eta) = Ind(\cos\gamma + i\sin\gamma)$ .

В силу свойств комплексных чисел, имеем:

$$\cos\gamma + i\sin\gamma = (\cos\nu + i\sin\nu)(\cos\mu + i\sin\mu), \gamma = \nu + \mu,$$

где  $\mu$  – угол, отсчитываемый от положительного направления оси абсцисс до касательной к контуру  $\partial\Omega$  против хода часовой стрелки. Следовательно,

$$Ind(\cos\gamma + i\sin\gamma) = Ind(\cos\nu + i\sin\nu) + Ind(\cos\mu + i\sin\mu).$$

В силу определения [2, с. 93], индекс функции равен деленному на  $2\pi$  приращению аргумента функции, при обходе контура в направлении оставляющем область слева. Обозначим приращения углов  $\gamma, \mu$  через  $\Delta_{\partial\Omega}\gamma, \Delta_{\partial\Omega}\mu$  соответственно. Учитывая, что

$$V_{GH}(S) = \frac{1}{\pi} \Delta_{\partial\Omega}\nu, \quad \Delta_{\partial\Omega}\mu = 2\pi, \quad \text{имеем:}$$

$$\text{Ind}(\cos\gamma + i \sin\gamma) = \frac{1}{2\pi} \Delta_{\partial\Omega}\gamma = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\pi} \Delta_{\partial\Omega}\mu + \frac{1}{\pi} \Delta_{\partial\Omega}\nu \right) = \frac{1}{2} (2 + V_{GH}(S)).$$

Таким образом,  $\text{Ind}\lambda = -(V_{GH}(S) + 2)$ . Далее, применяя теоремы 4.11 и 4.12 из [1, с. 202], получаем утверждение теоремы.

#### **Список литературы:**

1. Векуа И.Н. Обобщенные аналитические функции. М.: Наука, 1988. С. 179–202.
2. Гахов Ф.Д. Краевые задачи. М.: Физматгиз, 1958. С. 93–231.
3. Розендорн Э.Р. Теория поверхностей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. С. 79
4. Фоменко В.Т. О единственности решений проблем Кристоффеля и Минковского для овалоидов // Сборник научных трудов по межвузовской программе «Университеты России – фундаментальные исследования». Таганрог, изд. ТГПИ – проект 1686, 1998. С. 87.
5. Фоменко В.Т. Об изгибании и однозначной определенности поверхностей положительной кривизны с краем. Таганрог, изд. ТГПИ, 2011. С.12.
6. Фоменко В.Т. Об одном аналоге теоремы Зауера // Математические заметки. 2003. Т. 74. Вып. 3. С. 464.

**В. В. Дружинин д.ф.-м.н., Л. А. Лобов, А. Г. Сироткина к.ф.-м.н.**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Саровский физико-технический институт  
кафедра высшей математики  
Россия, г. Саров  
MailBox@Lobov.LA

### ПРИБЛИЖЕННАЯ ФОРМУЛА ПРОСТОГО ЧИСЛА

Расчет первых простых чисел на положительных и отрицательных  $n$  –этажах-множествах выявил экспоненциальный рост таких чисел с небольшими колебаниями. Проведен расчет таких чисел для тысячи этажей, подтвердивший формулу. Найдено теоретическое обоснование полученному результату, который позволяет быстро факторизовать составные числа и генерировать большие простые числа.

*Ключевые слова:* простое число, факторизация, этаж.

Разбиение нечетных чисел на подмножества  $x(\pm n, m) = \{2^n m \pm 1\}$ , названных нами  $(\pm n)$ -этажами, позволяет с помощью детерминатного признака делимости, описанного в монографии одного из авторов [3], построить решетку Эратосфена для больших простых чисел на заданном этаже. Анализируя сравнительно малые числа – индексы  $m$ , мы выделяем составные и простые очень большие числа. Например, все

$$m = \{3 \mp (-1)^n\} + 3(t - 1) \quad (1)$$

на  $(+n)$  этаже (верхний знак « $-$ ») и на  $(-n)$  этаже (нижний знак « $+$ ») дают числа  $x(\pm n; m)$  кратные «3».

При  $n = 3n_1 + r$ ,  $r = 0; 1; 2$  и

$$m = \frac{5r^2}{2} - \frac{11 \cdot r}{2} + 6 + 7k \quad (2)$$

число  $x(+n; m) = (2^n m + 1)$  кратно «7».  $t \in \mathbf{N}$ .

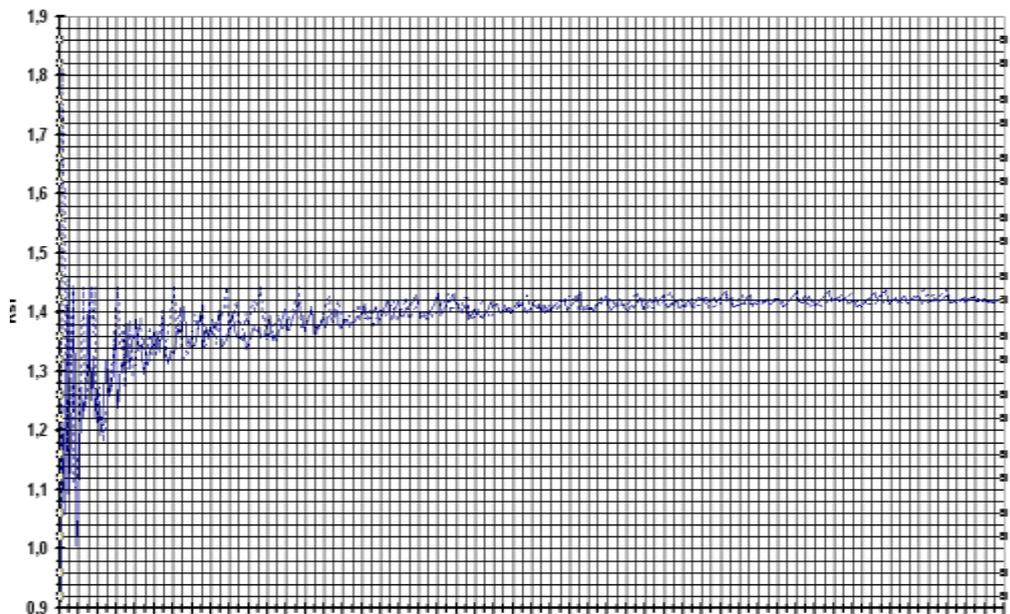
Такие признаки делимости позволили нам создать очень экономную программу по генерации простых чисел и в частности эмпирически получить простую формулу первого простого числа на  $(\pm n)$  этаже, которые мы обозначим  $p(\pm n, m)$ . Например,  $p(2, 1) = 5$ ;  $p(3, 2) = 17$ ;  $p(4, 1) = 17$ ;  $p(5, 3) = 97$ ;  $p(-6, 2) = 127$ . Оказалось, что эти простые числа рассчитываются по формуле

$$p(\pm n, m) = e^{\frac{n}{\xi(\pm n)}}, \quad (3)$$

где параметр  $\xi(\pm n)$  меняется сравнительно слабо в пределах  $(1,3 \div 1,442\dots)$  и при этом никогда не становится больше  $(1/\ln 2) = 1,4426\dots$ . Например, для простых чисел Мерсенна  $p = 2^n - 1$   $\xi(-n)$  всегда равно этой границе. Если  $m$  нечетное число, то всегда  $p(\pm(n+1), m_1) > p(\pm n, m)$ , т.е. с ростом этаже нечетное число увеличивается. Переход при анализе нечетных чисел из одномерного пространства (числовая ось) на

плоскость  $(\pm n, m)$  сразу выявил на этой плоскости непрерывную односвязную бесконечную область составных чисел. Например, рассмотрим число  $A = 117440513$ . Так как  $\log_2 A = 26,807$  и  $(A - 1)/7 = 16778216 = 2^{24}$ , число  $A$  находится на 24-м этаже с индексом  $m = 7$ .

Но у нас первое простое число на этом этаже возникает при  $m = 10$ , откуда следует, что  $A$  число составное. Действительно  $A = 30059 \cdot 3907$ .



На рис.1 приведена зависимость  $\xi(\pm n)$  для пятисот положительных и пятисот отрицательных этажей. Из этого рис. видно, что с ростом  $n$   $\xi(\pm n)$  медленно возрастает и колебания этого параметра уменьшаются. Аналитически найдено соотношение

$$\xi(n + 1) \leq \frac{n+1}{n} \xi(n), \quad (5)$$

которое позволяет оценить текущее  $\xi$  по величине  $\xi(n)$  предыдущего этажа. Приведем фрагмент расчета первых простых чисел

n	115	116	117	118	119	120	121
$m_+$	197	112	56	28	14	7	81
$m_-$	30	15	45	90	45	54	27
$\xi(+)$	1,353	1,363	1,374	1,386	1,398	1,410	1,371
$\xi(-)$	1,383	1,395	1,378	1,367	1,379	1,376	1,388

Например,  $p(+115, 197) = 8\ 183\ 059\ 849\ 050\ 888\ 342\ 564\ 062\ 214\ 850\ 871\ 297$ .

Зная параметры  $n$  и  $m$  первого простого числа,  $\xi(n)$  можно найти по формуле

$$\xi(n) = \frac{n}{\ln(2^{nm} + 1)}. \quad (6)$$

Найденная нами приближенная формула простого числа не случайна, она имеет обоснование. Существует полуэмпирическая формула Лежандра [2,3]

$$\pi(x) \approx \frac{x}{\ln x - B}, \quad (7)$$

которая дает примерное число простых чисел не превышающих  $x$  на числовой оси.  $B = 1,08366$  и с ростом  $x$  этот параметр стремится к единице. На  $n$  – этаже эта формула имеет вид

$$\pi(x) \approx \frac{x}{2^n(\ln x - B(n))}, \quad (8)$$

где  $x$  числа именно  $n$ - этажа. Формально для  $x = p(\pm n, m)$   $\pi(x) = 1$ . Поэтому мы получаем формулу (7), в которой

$$\xi(n) = \frac{1}{\ln 2(\ln p(n,m) - B(n))}. \quad (9)$$

Таким образом, полученная нами формула является следствием закона Лежандра.

Данная приближенная формула простого числа может эффективно использоваться в криптографии, расчетах на ЭВМ с большими и очень большими числами, а также может быть использована для генерации рекордных по величине простых чисел. Последнее такое рекордное число было получено математиками из Калифорнии в 2008 г. и насчитывает примерно тринадцать миллионов десятичных знаков.

Работа докладывалась на научной сессии МИФИ -12 в 2012 г. Авторы благодарят профессора Н. А. Кудряшова за обсуждение результатов.

#### **Список литературы:**

1. *Виноградов И. М.* Основы теории чисел. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1981. – 176 с.
2. *Грибанов В. У., Титов П. И.* Сборник упражнений по теории чисел. – М.: Просвещение, 1964. – 144 с.
3. *Дружинин В. В.* Детерминантный признак делимости. – Саров: Альфа, 2012. – 184 с.

## СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.10

С. А. Богданова<sup>1</sup>, Ю. Г. Галяметдинов<sup>1</sup>, М. А. Сысоева<sup>2</sup>,  
В. Р. Хабибрахманова<sup>2</sup>, Ю. А. Шигабиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет  
кафедра физической и коллоидной химии  
Россия, г. Казань  
romanovakstu@yandex.ru

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет  
кафедра пищевой биотехнологии  
Россия, г. Казань  
oxygen1130@mail.ru

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ С ЭКСТРАКТАМИ ЧАГИ

Исследована совместимость экстрактов чаги, отличающихся антиоксидантной активностью и содержанием меланина, с ингредиентами косметических композиций – шампуней и лосьонов. Разработаны рецептуры косметических средств, обладающих антиоксидантными свойствами, установлено их соответствие нормативным показателям. Показано, что ингредиенты косметических композиций оказывают влияние на их антиоксидантную активность.

*Ключевые слова:* косметические композиции, шампунь, лосьон, экстракт чаги, меланин, антиоксидантная активность

#### **Введение**

Одним из ведущих направлений современной косметологии является разработка средств так называемой anti-age косметики – косметических средств, предназначенных для профилактики преждевременного старения кожи и коррекции возрастных изменений, защиты кожи от факторов внешней среды (таких как УФ-излучение, ионизирующее излучение, а также поллютанты, в первую очередь тяжелые металлы), провоцирующих в коже и волосах процессы старения. Во всех этих случаях наблюдается окислительный стресс кожи, связанный с избытком образования в ней активных форм кислорода [1]. Антиоксиданты – это биологически активные вещества, которые защищают организм от свободных радикалов [2]. В косметических средствах в качестве антиоксидантов используются как природные (каротиноиды, флавоноиды, катехины и др.), так и синтетические соединения (ионол, оксипиридины, дитиооктановая кислота) [3,4].

Современные косметические композиции представляют собой многокомпонентные гетерогенные системы – гели, эмульсии, суспензии, пены. Актуальной тенденцией в технологиях производства косметических средств является введение в их состав многофункциональных биологически активных ингредиентов с антиоксидантными, фотопротекторными и другими активными свойствами. В составе подавляющего большинства косметических средств биологически активные вещества (БАВ) использованы в виде извлечений из растительного и животного сырья, и представлены различными экстрактами, настоями, соками и т. д. Согласно представлениям Э.И. Поллцака, М. Бергольца и др. [5] субстанции, получаемые из природного сырья, безвредны, обладают положительным физиологическим и косметическим действием на

кожу. Применение БАВ в косметических средствах позволяет приблизить их эффект к физиологическому действию натуральных веществ внутреннего метаболизма. Вместе с тем, влияние традиционных ингредиентов косметических композиций на антиоксидантную активность биологически активных добавок изучено недостаточно.

Ранее было показано, что экстракты чаги обладают антиоксидантной активностью, проявляют противовоспалительные и тонизирующие свойства. Имеются сведения о применении чаги в лечебной косметике [6]. Однако возможности использования экстрактов, полученных на основе чаги по новым разработанным способам, в качестве активных ингредиентов косметических средств не изучены. В связи с этим, разработка рецептур косметических средств с экстрактами березового гриба чаги, обладающих высокой антиоксидантной активностью, в настоящее время является весьма актуальной.

Целью данной работы явились оценка совместимости экстрактов чаги, полученных по новым разработанным способам, с компонентами косметических композиций, разработка рецептур шампуней и лосьонов с экстрактами чаги и сравнительный анализ их антиоксидантных свойств.

#### **Экспериментальная часть**

Объектами исследования являются образцы косметических композиций – шампуня и лосьона - с экстрактами чаги, полученных по новым разработанным способам. Экстракты были получены и исследованы на кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и предоставлены нам в качестве ингредиентов, обладающих выраженными антиоксидантными свойствами для разработки косметических продуктов. В качестве сырья для получения образцов, используемых в работе в качестве антиоксидантных добавок, применялся гриб чага от производителя ОАО «Красногорсклекарства», Красногорский район, серия р 72.267.65.

Экстракт А получали экстракцией шрота чаги 70 % этиловым спиртом, представлен коллоидным раствором меланина чаги в 70 % этиловом спирте [7,8]. Экстракты Б1, Б2, Б3 получены экстракцией водного извлечения чаги этилацетатом [9-11]. Экстракты Б1 и Б2 являются водными коллоидными растворами меланина чаги, а Б3 - коллоидным раствором меланина чаги в 70 % этиловом спирте.

Нормативные показатели разработанных косметических композиций (КК) определялись в соответствии с ГОСТ [12-14].

Оценка антиоксидантных свойств КК осуществлялась по антиоксидантной емкости (АОЕ), определяемой методом кулонометрического титрования электрогенерированного брома [15].

#### **Результаты и их обсуждение**

Введение антиоксидантных компонентов в состав пеномоющих композиций имеет важное значение, поскольку осуществляет защиту структуры волоса и кожи головы от агрессивных внешних факторов. В состав разработанной базовой композиции шампуней входил сбалансированный комплекс дерматологически мягких ПАВ, кондиционирующая добавка, регуляторы вязкости и кислотности, парфюмерные композиции.

Установлено, что экстракты чаги представляют собой коллоидные системы [16]. Учитывая это обстоятельство, а так же то, что в состав шампуня в качестве регулятора вязкости входит до 3 % масс. хлорида натрия, являющегося коагулянтом, нами была проведена визуальная оценка взаимодействия экстрактов с этим компонентом. Установлено, что добавление водного раствора хлорида натрия к разведенному в необходимом соотношении водой экстракту приводило для экстрактов чаги Б1, Б2 и А к коагуляции, помутнению системы и выпадению осадка. При использовании экстракта Б3 система оставалась прозрачной в широком интервале концентраций хлорида натрия. Ранее методом ИК- спектроскопии было показано отличие структурной организации меланина образца Б3 от образцов Б1, Б2 и А, что может оказывать влияние на взаимодействие с электролитом [17]. Нами было принято решение использовать именно этот экстракт,

поскольку помутнение и выпадение осадка в косметических средствах недопустимо в связи с несоответствием необходимым показателям ГОСТа. Рецептура полученного шампуня приведена в табл. 1.

Антиоксиданты в лосьонах активизируют регенерацию кожи, защищают от вредного воздействия окружающей среды, препятствуя тем самым процессу преждевременного старения кожи. Нами была разработана базовая рецептура спирто-водных лосьонов с экстрактами чаги, включающая глицерин в качестве увлажняющего компонента. В связи с тем, что этиловый спирт обладает бактерицидными свойствами, дополнительного введения консервантов не требуется.

Все экстракты чаги совместимы с ингредиентами лосьона. Рецептура лосьона с одним из экстрактов приведена в табл. 2.

**Таблица 1- Базовая рецептура шампуня с экстрактом чаги Б3**

Компоненты	Содержание, % масс.
Texapon	12
Betaine	5
Cocamide	2
Cocoglucoside	2
NaCl	2
Polyqart 7	1
Экстракт чаги	1-5
Консервант	0.1
Парфюмерная композиция	0.1
Лимонная кислота	0.05
Вода	до 100

**Таблица 2- Базовая рецептура лосьона с экстрактом чаги А**

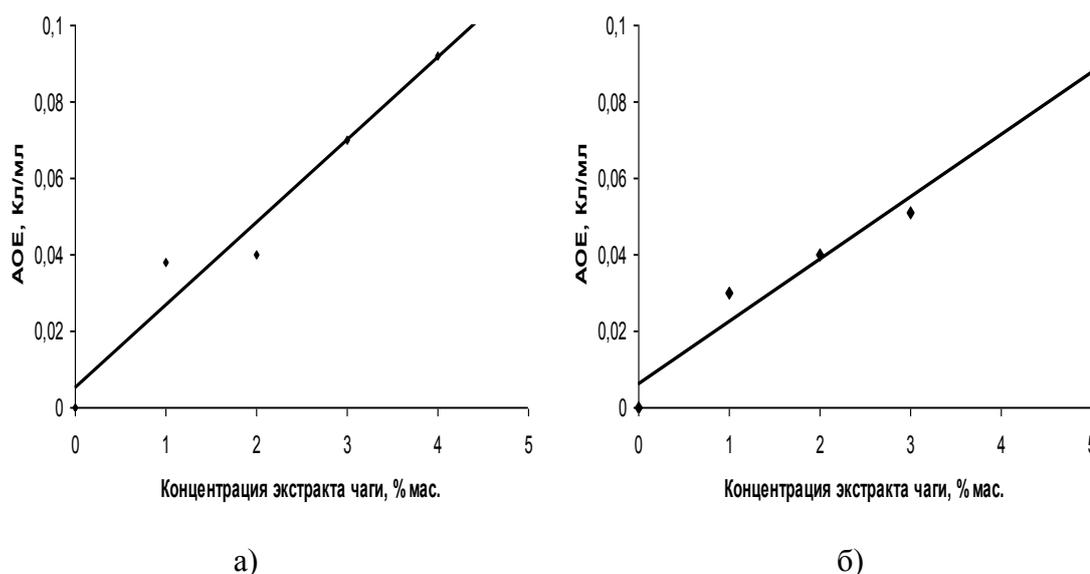
Компоненты	Содержание, % масс.
Спирт этиловый	30
Глицерин	4.4
Экстракт чаги	1-4
Лимонная кислота	0.05
Вода	до 100

Оценка нормативных показателей (табл.3) показывает, что данные средства удовлетворяют требованиям ГОСТ для косметической продукции, величине рН, соответствующей физиологическому значению рН кожи головы и волос.

**Таблица 3- Характеристика косметических композиций с экстрактами чаги**

№	Нормируемые показатели	Шампунь с содержанием экстракта чаги БЗ 5 % масс.	Норма по ГОСТу	Лосьон с содержанием экстракта чаги А 4 % масс.	Норма по ГОСТу
1	рН	7.17±0.04	5.0-8.5	5.56±0.01	1.2-8.5
2	Пенообразующая способность: Пенное число, мм	142.0±2.5	не менее 100	-	-
	Устойчивость пены	0.91±0.03	не менее 0.8	-	-
3	Массовая доля суммы хлоридов, % не более	2.93±0.03	не более 6	-	-

Оценка антиоксидантных свойств разработанных косметических композиций в зависимости от содержания в ней экстракта чаги (рис. 1) осуществлялась на основе значений антиоксидантной емкости (АОЕ).



**Рис. 1- Зависимость антиоксидантной активности косметических композиций от содержания в ней экстракта чаги (а- шампуня с экстрактом чаги БЗ, б- лосьона с экстрактом чаги А) – 7,51x7,41 см**

Шампунь без экстракта чаги не проявляет антиоксидантных свойств. С ростом содержания экстракта АОЕ увеличивается практически линейно.

Исследуемые экстракты характеризуются различным содержанием меланина (табл. 4). Обращает на себя внимание то обстоятельство, что АОЕ шампуня с экстрактом чаги БЗ выше, чем экстракта, примерно в 10 раз в расчете на одинаковое количество меланина, что указывает на синергическое действие компонентов рецептуры.

Для сравнения АОЕ лосьонов с различными экстрактами были проанализированы рецептуры с введением 1% масс. экстрактов. Результаты приведены в таблице 4. В целом,

очевидно, что АОЕ коррелирует с содержанием меланина в экстрактах. Однако, и в этом случае отмечен синергизм действия косметических ингредиентов. АОЕ лосьонов с экстрактами чаги А и Б3 увеличивается по сравнению с АОЕ самих экстрактов (в пересчете на одинаковое содержание меланина), а АОЕ лосьонов с экстрактами Б1 и Б2 изменяется незначительно по сравнению с экстрактами. По-видимому, особое действие на структуру меланина и АОЕ оказывает глицерин.

**Таблица 4 – Сравнительная характеристика антиоксидантной активности экстрактов чаги и лосьонов с данными экстрактами**

Экстракт чаги	Содержание меланина, г/100мл	АОЕ, Кл/мл	Лосьон с экстрактом чаги	Содержание меланина, г/100мл	АОЕ, Кл/мл
Экстракт А	0.251	0.92±0.03	Лосьон с экстрактом А	0.003	0.030±0.003
Экстракт Б1	1.825	8.27±0.05	Лосьон с экстрактом Б1	0.018	0.072±0.004
Экстракт Б2	0.3234	9.5±0.04	Лосьон с экстрактом Б2	0.003	0.062±0.004
Экстракт Б3	0.008	0.36±0.04	Лосьон с экстрактом Б3	0.0001	0.028±0.007

Проведенное исследование показало, что экстракты чаги являются перспективными ингредиентами косметических композиций.

#### **Выводы**

1. Исследованы условия введения экстрактов чаги, отличающихся способом получения, в косметические композиции. Установлено, что все экстракты совместимы с ингредиентами косметических лосьонов. В шампунях может быть использован только коллоидный раствор меланина чаги в 70% этиловом спирте, полученный после обработки водного извлечения чаги этилацетатом.

2. Показано, что антиоксидантная активность полученных косметических средств коррелирует с содержанием меланина в экстрактах, использованных в рецептурах.

3. Установлено, что компоненты разработанных рецептур шампуней и лосьонов оказывают синергический эффект на величину их антиоксидантной активности.

### Список литературы:

1. Кузьменко Д.И. Свободнорадикальное окисление липидов, активные формы кислорода и антиоксиданты: роль в физиологии патологии клетки / Д.И. Кузьменко, В.Ю. Серебров, С.Н. Удинцев. – Томск: ТПУ, 2007. – 214 с.
2. Новикова А.Н. Стрoение кожи / А.Н. Новикова // Качество жизни. Профилактика. – 2002. - №1. – С.14-17.
3. Антиоксидантный статус кожи защита против старения. Эффективность местного применения антиоксидантов / К. Юнг [и др.] // Soft Journal. - 2005. -№4. - С.56-62.
4. Романова Ю.А. Антиоксидантные свойства косметических композиций с дитиооктановой кислотой / Ю.А. Романова [ и др.] // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. - №10. – С. 52-56.
5. Косметика: Косметические препараты и теоретические основы современной практической косметики / Пер. с нем. Э. И. Поллак. — Киев: Вища шк., 1990.— 333 с.
6. Патент РФ № 2002129310/15, 10.01.2004. Андреева Т.П. Композиция ингредиентов для приготовления лечебно-профилактического бальзама «Гея-Венера Кос Пла» // Патент России № 2220736. 2002.
7. Патент РФ № 2007126575/15, 20.12.2008. Гамаюрова В.С. Хабибрахманова В.Р., Юмаева Л.Р., Зиятдинова Г.К., Будников Г.К. Способ получения спиртового экстракта чаги // Патент России № 2341277. 2007. Бюл. № 35.
8. Сысоева М.А., Юмаева Л.Р., Гамаюрова В.С. Исследование шрота оставшегося после получения водного извлечения чаги. I. Оптимизация процесса получения спиртовых экстрактов / М.А. Сысоева, Л.Р. Юмаева, В.С. Гамаюрова // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2009. - №4. - С. 227-232.
9. Патент РФ № 2006134108/15, 20.10.2008. Сысоева М.А., Гамаюрова В.С., Хабибрахманова В.Р., Юмаева Л.Р. Способ получения полифенолов из чаги // Патент России № 2336085. 2006. Бюл. № 29.
10. Исследование золя водных извлечений чаги. VIII Размеры частиц дисперсных фаз, образующихся при экстракции водных извлечений чаги органическими растворителями / М.А. Сысоева [и др.] // Химия растительного сырья. - 2008. - № 4. – С.129 - 132.
11. Разделение водных извлечений чаги с использованием этилацетата. IV. Состав веществ фенольной и терпеновой природы, отделяемых из водного извлечения чаги этилацетатом / М.А. Сысоева [и др.] // Химия растительного сырья. – 2009. - №4. – С.117-122.
12. ГОСТ 29188.2-91. Изделия косметические. Метод определения водородного показателя рН. – Взамен ОСТ 18 – 304 – 76, ГОСТ 7983-82 ; введ. 1993-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 4 с.
13. ГОСТ 22567.1-77. Средства моющие синтетические. Метод определения пенообразующей способности. – Введ. 1978-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 4 с.
14. ГОСТ 26878-86. Метод определения содержания хлоридов. – Введ. 1986-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 2 с.
15. Применение метода гальваностатической кулонометрии в клинической диагностике антиоксидантного статуса организма человека / В.И. Погорельцев [и др.]. – Казань : КГМУ, 2004. – 50 с.
16. Исследование золя водных извлечений чаги. IX. Определение размеров частиц дисперсной фазы золя извлечений чаги / М.А. Сысоева [и др.] // Химия растительного сырья. – 2008. - №2. – С.75-80.
17. Исследование золя водных извлечений чаги. Изменение изучаемой системы при проведении экстракции различными способами / М.А. Сысоева [и др.] // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2003. - №2 - С.172-179.

**А. М. Юровский, Ю. А. Москвичев д.х.н., А. В. Тарасов д.х.н.**

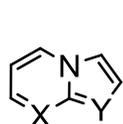
Ярославский государственный технический университет  
химико-технологический факультет  
кафедра химической технологии органических веществ  
Россия, г. Ярославль  
amyur@mail.ru

### **СИНТЕЗ СУЛЬФАМИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИМИДАЗО[1,2-*a*]ПИРИДИНА, ИМИДАЗО[1,2-*a*]ПИРИМИДИНА И ИНДОЛИЗИНА НА ОСНОВЕ 3-(БРОМАЦЕТИЛ)БЕНЗОЛСУЛЬФАМИДОВ**

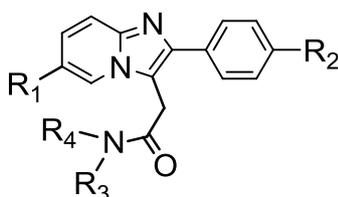
В настоящей статье описывается общий метод синтеза новых 3-(имидазо[1,2-*a*]пиридин(пиримидин)-2-ил)бензолсульфамидов и 3-(индолизин-2-ил)бензолсульфамидов на основе реакции производных пиридина и пиримидина с 3-(бромацетил)бензолсульфамидами различного строения.

*Ключевые слова:* α-бромкетоны, имидазопиридин, имидазопиримидин, индолизин, сульфамиды.

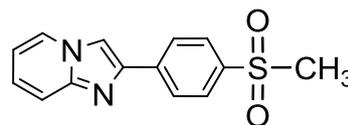
Имидазо[1,2-*a*]пиридины **1** и соответствующие имидазо[1,2-*a*]пиримидины **2** привлекли к себе внимание фармацевтической промышленности благодаря их интересной биологической активности, которая отображается в широком спектре классов терапевтических средств, проявляющих антибактериальные, противогрибковые, противовирусные и противовоспалительные свойства [1]. Лекарственные препараты, содержащие имидазо[1,2-*a*]пиридины в настоящее время доступны на рынке, среди них алпидем **3** (анксиолитик) [2], золпидем **4** (снотворное) [3] и золимидин **5** (противоязвенное) [4].



**1** X=CH, Y=N  
**2** X=Y=N  
**6** X=Y=CH



**3** R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=Cl, R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>  
**4** R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=CH<sub>3</sub>



**5**

Хотя существует целый ряд синтетических путей построения циклической системы имидазо[1,2-*a*]пиридина и имидазо[1,2-*a*]пиримидина, наиболее распространённый подход включает в себя сочетание 2-аминопиридинов (пиримидинов) с α-галогенкарбонильными соединениями.

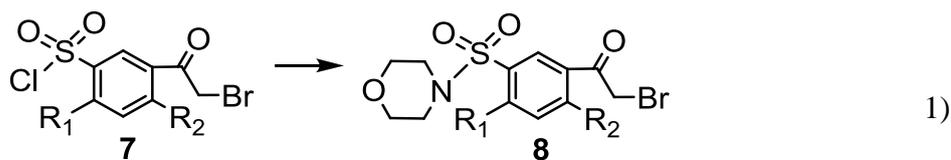
Ещё одними важными N-гетероциклическими конденсированными соединениями являются индолизины **6**. Данные соединения широко распространены в биологически важных природных и синтетических продуктах, а так же в фармацевтических препаратах [5]. Одним из способов создания индолизинов является реакция Чичибабина.

Кроме того, в строении некоторых веществ, являющихся основой лекарственных препаратов, можно обнаружить фрагмент 3-сульфобензойной кислоты [6].

Известно, что одним из принципов создания новых биологически активных веществ является трансформация молекулы известного лекарственного препарата, в частности за счёт введения в молекулу препарата другой фармакофорной группы [7].

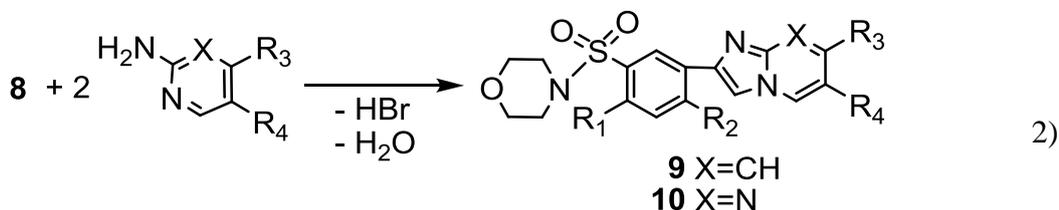
Целью настоящего исследования стала разработка эффективного метода получения потенциально полезных соединений, в молекуле которых сочетаются две фармакофорные группы – гетероциклический фрагмент (имидазопиридин, имидазопиримидин, индолизин) и сульфамидный фрагмент, с использованием полученных нами ранее 3-(бромацетил)бензолсульфонилхлоридов **7** [8].

Известные и часто применяемые в органической химии способы прямого введения сульфохлоридной группы в молекулу органического соединения часто не позволяют получить сульфосодержащие производные требуемого строения. Особенно эта проблема становится актуальной по мере усложнения конфигурации исходного соединения, поскольку увеличивается вероятность неселективного протекания реакции сульфохлорирования, что затрудняет получение желаемых индивидуальных продуктов в чистом виде. В таком случае возникает необходимость разработки косвенного метода селективного введения сульфогруппы в молекулу органического соединения с целью получения соединений желаемого строения. Ранее нами был предложен способ получения замещенных 3-(бромацетил)бензолсульфонилхлоридов **7** на основе реакции дихлорангидридов замещенных 3-сульфобензойных кислот с диазометаном [8]. Полученные соединения **7** были в дальнейшем использованы нами для синтеза 3-(бромацетил)бензолсульфамидов **8**.



Соединения **8** послужили базой для создания целевых сложнофункциональных соединений **9-11**, сочетающих в одной молекуле гетероциклический фрагмент и сульфамидную группу.

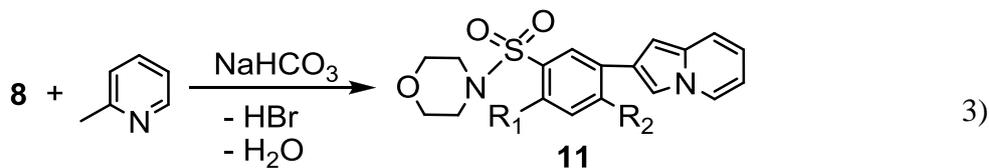
Реакция соединений **8** с рядом 2-аминопиридинов изучалась в среде растворителей, в качестве которых выступали этанол и 1,4-диоксан. Мольное соотношение **8** : 2-аминопиридин = 1 : 2. Реакцию проводили при кипении реакционной массы. Во всех случаях был зафиксирован высокий выход получаемых продуктов реакции вне зависимости от характера и положения заместителей в молекуле соединения **8** и 2-аминопиридинов.



Реакцию соединения **8** с 2-аминопиримидином изучали в среде 1,4-диоксана при мольном соотношении **8** : 2-аминопиримидин = 1 : 2. Реакцию проводили при кипении реакционной массы.

Следующим этапом исследования поведения соединений **8** в реакциях с производными пиридина стала реакция с 2-метилпиридином. Реакция протекает в два этапа согласно известному из литературы механизму [9]. В качестве растворителя на первом этапе использовали бензол. Мольное соотношение **8** : 2-метилпиридин = 1 : 1.

Реакционную массу кипятили в течение 3 часов, после чего охлаждали, образовавшуюся соль пиридиния отфильтровывали, промывали бензолом. На втором этапе проводили внутримолекулярную циклизацию соли пиридиния в воде в присутствии  $\text{NaHCO}_3$ .



Чистота и строение синтезированных соединений **8-11** была подтверждена методом ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопии. В таблице представлены характеристики полученных целевых соединений **8-11**.

**Таблица – Выход, температура плавления и данные ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопии полученных целевых соединений 8-11.**

Соед.	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	Выход, %	T <sub>пл</sub> , °C	Спектр ЯМР $^1\text{H}$ ( $\delta$ , м.д.)
1	2	3	4	5	6	7	8
8a	H	H	–	–	83	147-149	2.05 т, 3.00 т (8H, H <sub>морфолин</sub> ); 4.90 с (2H, COCH <sub>2</sub> Br); 7.88 т (1H <sub>аром.</sub> ); 8.16 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.34 с (1H <sub>аром.</sub> ); 8.38 д (1H <sub>аром.</sub> )
8б	Cl	H	–	–	80	161-163	3.28 т, 3.68 т (8H, H <sub>морфолин</sub> ); 4.88 с (2H, COCH <sub>2</sub> Br); 7.88 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.30 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.60 с (1H <sub>аром.</sub> )
8в	CH <sub>3</sub>	H	–	–	85	125-126	2.72 с (3H, CH <sub>3</sub> ); 3.15 т, 3.68 т (8H, H <sub>морфолин</sub> ); 4.84 с (2H, COCH <sub>2</sub> Br); 7.66 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.20 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.46 с (1H <sub>аром.</sub> )
8г	H	Cl	–	–	81	139-140	2.05 т, 3.68 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 4.83 с (2H, COCH <sub>2</sub> Br); 7.86 д (1H, H <sub>аром.</sub> ); 7.94 д (1H, H <sub>аром.</sub> ); 8.10 с (1H, H <sub>аром.</sub> )
9a	Cl	H	H	H	91	191-193	2.92 т, 3.65 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 6.94 т (1H <sub>аром.</sub> ); 7.34 т (1H <sub>аром.</sub> ); 7.64 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.68 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.75 т (1H <sub>аром.</sub> ); 8.31 м (2H <sub>аром.</sub> ); 8.55 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.61 с (1H <sub>аром.</sub> )
9б	CH <sub>3</sub>	H	H	H	95	203-205	2.62 с (3H, CH <sub>3</sub> ); 3.06 т, 3.64 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 6.93 т (1H <sub>аром.</sub> ); 7.28 т (1H <sub>аром.</sub> ); 7.55 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.62 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.13 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.42 с (1H <sub>аром.</sub> ); 8.54 м (2H <sub>аром.</sub> )
9в	H	H	CH <sub>3</sub>	H	86	170-172	2.40 с (3H, CH <sub>3</sub> ); 2.94 т, 3.65 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 6.72 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.34 с (1H <sub>аром.</sub> ); 7.68 м (2H <sub>аром.</sub> ); 8.24 м (2H <sub>аром.</sub> ); 8.40 м (2H <sub>аром.</sub> )
9г	Cl	H	CH <sub>3</sub>	H	83	214-216	2.35 с (3H, CH <sub>3</sub> ); 3.20 т, 3.65 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 6.75 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.35 с (1H <sub>аром.</sub> ); 7.70 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.16 д

							(1H <sub>аром.</sub> ); 8.40 м (2H <sub>аром.</sub> ); 8.52 с (1H <sub>аром.</sub> )
9д	Cl	H	H	Cl	80	246-248	2.60 т, 3.40 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 7.29 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.63 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.69 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.15 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.52 м (2H <sub>аром.</sub> ); 8.77 с (1H <sub>аром.</sub> )
9е	CH <sub>3</sub>	H	H	Cl	78	241-243	2.62 с (3H, CH <sub>3</sub> ); 3.10 т, 3.65 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 7.35 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.50 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.62 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.08 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.42 д (2H <sub>аром.</sub> ); 8.74 с (1H <sub>аром.</sub> )
10а	H	H	H	H	88	265-267	2.95 т, 3.66 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 7.06 т (1H <sub>аром.</sub> ); 7.72 м (2H <sub>аром.</sub> ); 8.32 м (2H <sub>аром.</sub> ); 8.55 м (2H <sub>аром.</sub> ); 8.98 д (1H <sub>аром.</sub> )
10б	Cl	H	H	H	87	303-305	3.22 т, 3.65 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 7.06 т (1H <sub>аром.</sub> ); 7.74 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.22 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.50 с (1H <sub>аром.</sub> ); 8.57 д (2H <sub>аром.</sub> ); 8.95 с (1H <sub>аром.</sub> )
11а	Cl	H	–	–	71	218-220	3.20 т, 3.60 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 6.45 т (1H <sub>аром.</sub> ); 6.71 т (1H <sub>аром.</sub> ); 6.77 с (1H <sub>аром.</sub> ); 7.40 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.67 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.95 д (1H <sub>аром.</sub> ); 8.06 с (1H <sub>аром.</sub> ); 8.18 м (2H <sub>аром.</sub> )
11б	H	Cl	–	–	70	195-196	2.95 т, 3.68 т (8H <sub>морфолин</sub> ); 6.57 т (1H <sub>аром.</sub> ); 6.74 м (2H <sub>аром.</sub> ); 7.42 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.61 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.79 д (1H <sub>аром.</sub> ); 7.86 с (1H <sub>аром.</sub> ); 8.02 с (1H <sub>аром.</sub> ); 8.26 д (1H <sub>аром.</sub> )

Таким образом, нами был разработан и реализован способ получения сложнофункциональных соединений **9-11**, сочетающих в одной молекуле гетероциклический фрагмент (2-фенилимидазо[1,2-*a*]пиридин, 2-фенилимидазо[1,2-*a*]пиримидин, 2-фенилиндозин) и сульфамидную группу. Было показано, что удобным билдинг блоком для создания такого рода соединений могут служить 3-(бромацетил)бензолсульфамиды **8**.

Экспериментальная часть

Спектры <sup>1</sup>H ЯМР записаны на приборе «Bruker DRX 500» с рабочей частотой 500.13 МГц, внутренний стандарт ТМС. Спектры ЯМР <sup>1</sup>H соединений **8(а-г)** записаны в растворителе ацетон-d<sub>6</sub>, соединений **9-11** – в растворителе ДМСО-d<sub>6</sub>.

**Получение 3-(бромацетил)бензолсульфониламидов 8(а-г).** В трёхгорлую колбу, снабжённую мешалкой и капельной воронкой помещали раствор 20 ммоль бромацетилбензолсульфонил хлорида **7(а-г)** в 30 мл ацетонитрила, в который при перемешивании по каплям вносили раствор 40 ммоль соответствующего амина в том же растворителе при комнатной температуре, после чего реакционную массу дополнительно перемешивали 10 минут и выливали в холодную воду, выпавший осадок отфильтровывали, кристаллизовали из уксусной кислоты и высушивали на воздухе до постоянной массы.

**Общая методика получения соединений 9(а-е) и 10(а,б).** В одnogорлую колбу, оснащённую обратным холодильником, помещали 10 ммоль 2-аминопиридина (2-амино-4-метилпиридина, 2-амино-5-хлорпиридина) либо 2-аминопиримидина и 5 ммоль

соответствующего соединения **8**, растворяли в 10 мл 1,4-диоксана. Реакционную массу выдерживали при кипении в течение 2 часов, после чего охлаждали до комнатной температуры. Реакционную массу разбавляли водой, выпавший продукт отфильтровывали и перекристаллизовали из смеси растворителей этанол : 1,4-диоксан = 2 : 1. Перекристаллизованный продукт отфильтровывали, промывали этанолом (10 мл), водой (30 мл), затем высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы.

**Методика получения соединений 11(а,б).** К кипящему раствору 5 ммоль 2-метилпиридина в 1,5 мл безводного бензола прикапывают при перемешивании раствор 5 ммоль соответствующего соединения **8** в 4 мл бензола. Через несколько минут начинается кристаллизация соли пиридиния. Смесь кипятят с обратным холодильником при перемешивании в течение 3 часов, после чего охлаждали до комнатной температуры. Образовавшиеся кристаллы отфильтровывали, промывали бензолом и сушили. На следующем этапе к интенсивно перемешиваемому и нагретому до 80 °С раствору соли пиридиния в 15 мл воды прибавляли маленькими порциями 18 ммоль гидрокарбоната натрия. Сначала появляется интенсивное желтое окрашивание и приблизительно через 1 мин начинается осаждение желтого твердого вещества. Перемешивание продолжали 30 мин при 80 °С, после чего охлаждали реакционную смесь до комнатной температуры. Осадок промывали водой (30 мл) и высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы. При необходимости полученный продукт перекристаллизовывали из 1,4-диоксана.

#### **Список литературы:**

1. *Rousseau A. L., Matlaba P., Parkinson C. J.* // *Tetrahedron Lett.* 2007, 48, 4079-4082.
2. *Kazzouli S. El et al.* // *Tetrahedron Lett.* 2003, 44, 6265-6267.
3. *Enguehard C. et al.* // *J. Org. Chem.* 2003, 68, 5614-5617.
4. *Sittig M.* *Pharmaceutical manufacturing encyclopedia* / M. Sittig. – Westwood, USA, 1988. – P. 1756.
5. *Singh G. S., Mmatli E. E.* // *Eur. J. Med. Chem.* 2011, 46, 5237-5257.
6. *Машковский М. Д.* *Лекарственные средства: пособие для врачей.* М.: Новая волна, 2005. – 1200 с.
7. *Солдатенков А. Т.* *Основы органической химии лекарственных веществ* / А. Т. Солдатенков, Н. М. Колядина, И. В. Шендрик. – М. : Мир, 3-е изд, 2007. – 191 с.
8. *Юровский А. М.* // *Научно-технический вестник Поволжья.* 2011. № 6. – С. 80-85.
9. *Титце Л.* *Препаративная органическая химия: реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории* / Л. Титце, Т. Айхер; пер. с нем. – М. : Мир, 2004. – 704 с.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.13.01

**Е. В. Тесленко, В. В. Андреев д.т.н.**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»  
Россия, г. Нижний Новгород  
scheinrich@mail.ru, vyach.andreev@mail.ru

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МАССИВА ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

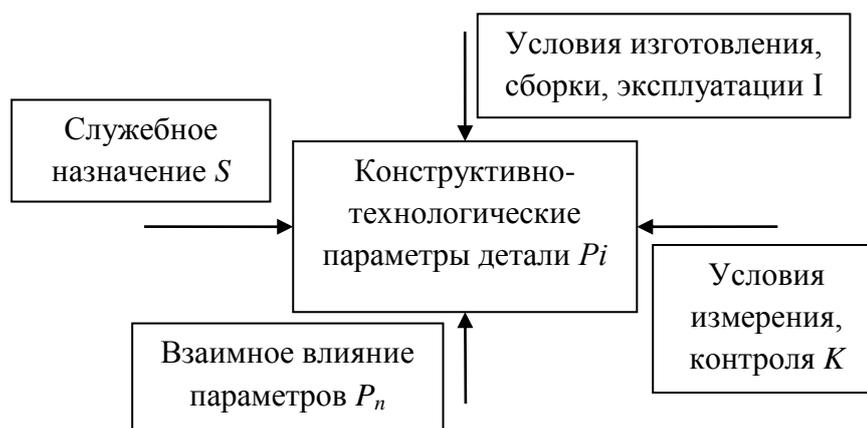
Статья посвящена вопросам системного назначения конструктивно-технологических параметров деталей машиностроения с учетом всех действующих факторов и взаимосвязей на этапе рабочего проектирования. Дан краткий обзор проблемы взаимодействия в системе “конструктор-технолог-метролог”, методов назначения параметров и существующих подходов к решению проблемы. Предложена системная информационная модель детали для интеллектуальной информационной системы, обеспечивающей технологическую и метрологическую поддержку при принятии конструкторских решений на стадии рабочего проектирования.

*Ключевые слова:* информационная модель, интеллектуальная информационная система, нейронная сеть, конструктивно-технологические параметры, детали машиностроения

Обеспечение качества изделий машиностроения на этапе рабочего проектирования в значительной степени определяется квалификацией разработчика и наличием документированных процедур проектирования. Ответственным и трудоемким этапом проектирования является разработка рабочих чертежей деталей, так как здесь в большой степени определяются показатели надежности изделия и технология его изготовления [1]. Наиболее важными процедурами на этой стадии являются назначение конструктивно-технологических параметров детали. Параметры являются исходными данными для следующих этапов проектирования: технологического и метрологического. Без качественного выполнения этих этапов невозможно приступить к производству нового изделия машиностроения.

В современном машиностроении отсутствует системное назначение конструктивно-технологических параметров деталей на этапе рабочего проектирования. Рассмотрим основные причины выявленной проблемы.

Для сложных деталей машиностроения число назначаемых параметров может составлять более 100. Задача назначения параметров имеет большую размерность, является многопараметрической, многовариантной. На назначаемые параметры влияет множество факторов (рис.1). Отсутствуют функциональные зависимости для большинства факторов. Не все связи очевидны, и, как следствие, не учитываются.



**Рис. 1 - Факторы, влияющие на конструктивно-технологические параметры детали.**

При назначении конструктивно-технологических параметров детали конструктор использует методы аналогов, подобия и расчетный. Общие недостатки перечисленных методов - сложность выявления признаков подобия; вероятность использования ошибочных рекомендаций, отсутствие достоверных данных о влиянии отклонения формы и качества сопрягаемых поверхностей на работоспособность соединения деталей. Можно, условно, сказать, что в разработке и согласовании конструкторской документации (КД) взаимодействуют системы “конструктор”, “технолог”, “метролог”. Назначая параметры, конструктор должен учитывать существующие связи с технологией и метрологией детали. В разработке КД технолог принимает участие через процедуры технического контроля. Метролог – метрологической экспертизы КД. В каждой системе решается своя задача при проектировании, изготовлении и контроле детали. Процессы согласования происходят последовательно, растянуты во времени и содержат риски нерациональных затрат времени и средств на малоэффективные решения. Статистические данные метрологической экспертизы чертежей показывают наличие существенных недостатков при назначении параметров детали в рабочей документации [2]. Современные САД-системы сохраняют это системное противоречие. Проблеме согласования САД и САПР ТП посвящено множество работ [3], в котором можно выделить следующие направления: кодирования детали и ее параметров; распознавания элементов модели детали; формирование геометрическо-технологической модели детали; декомпозиция конструкторской модели на элементы; стандартизация информационного поля. Анализируя недостатки перечисленных моделей можно заключить, что в современных САПР отсутствует возможность решения проблемы системного назначения параметров детали с учетом всех влияющих факторов. Кроме того, накопленные знания по назначению параметров уходят вместе с опытными специалистами и не передаются следующим поколениям конструкторов, технологов, метрологов.

Для решения выявленной проблемы модель детали представляется многоуровневой иерархической системой на уровнях детали, элементов детали и поверхностей. Выполнив декомпозицию модели на уровне поверхностей, деталь представляется как совокупность параметров:

$$D = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\},$$

где  $P_i$  –  $i$ -й конструктивно-технологический параметр детали:

- семантический ( $S$ ) (поверхность под подшипник, резьбовая поверхность, шлицевая поверхность, нерабочая поверхность и т.д.);
- размерный ( $D, L, b, H, R$ );
- точностной: точность размера ( $IT$ ), точность расположения поверхности ( $TP$ ), точность формы ( $TF$ );

- шероховатость поверхности ( $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rmax$ ,  $Sm$ ,  $S$ ,  $tp$ );
- волнистость ( $Sw$ ,  $Wz$ ,  $Wmax$ );
- качество поверхностного слоя: твердость ( $HB$ ), покрытие ( $M$ ), термическая обработка ( $N$ ) и т.д.

Для формирования массива конструктивно-технологических параметров создана информационная модель детали, выполнен регрессионный анализ зависимости параметров детали от влияющих факторов. Для достижения поставленных задач разработаны алгоритмы назначения конструктивно-технологических параметров [4]. Выявлено, например, что на выбор параметра  $P$  «посадка» соединения деталей «вал-штулка» может оказывать влияние свыше 20 факторов [5]. Для учета влияния большинства факторов пока нет математических соотношений и достаточного количества экспериментальных данных. Данную проблему удалось решить с использованием искусственной нейронной сети.

В результате решения задачи системного назначения параметров по созданным методикам формируется массив конструктивно-технологических параметров детали, для проектирования технологического процесса изготовления детали. Для реализации поставленной проблемы взаимодействия в сложной системе “конструктор-технолог-метролог” с целью назначения параметров деталей предлагается интеллектуальная информационная система. В ИСС входят следующие основные элементы: база знаний (технологических, метрологических), модуль конструктивно-технологических параметров детали, модули численной оценки технологичности и метрологического обеспечения детали, модуль синтеза технологического процесса детали по входным данным массива параметров детали, модуль технологической документации. Важная особенность системы – многовариантность решений и численная оценка их технологичности [7]. Конструктор имеет возможность, используя массивы параметров оценивать варианты назначения параметров детали. Для оценки вариантов метрологического обеспечения детали используются следующие показатели: трудоемкость, стоимость контроля, допустимая погрешность измерения, количество универсальных и специальных средств измерений и контроля и др.

Система работает автоматически, одновременно с конструктором, выполняющим рабочее проектирование детали, и предлагает технологические параметры поверхностей в соответствии с их назначением, действующими стандартами, правилами проектирования и метрологическими связями. Применение ИИС позволяет существенно сократить длительность технической подготовки производства за счет: совместной разработки конструкторской и технологической документации на стадии рабочего проектирования изделия, сокращения процедур согласования, технологического и метрологического контроля, существенного уменьшения количества возвратов документации на доработку.

### *Список литературы:*

1. *Львов, Б.Г.* Обеспечение качества технологических машин на стадии автоматизированного рабочего проектирования / Б.Г. Львов, А.К. Скуратов, И.В. Соловьев, Д.А. Чередниченко // *Качество. Инновации. Образование.* – 2002. - №4. – С.38-43.
2. *Григорьева, Н.С.* Концепция автоматизированного места нормоконтролера / Н.С. Григорьева, А.Н. Иноземцев, Д. И. Троицкий// *Справочник. Инженерный журнал.* – 2004. №12. - С. 35-38.
3. *Соломенцев, Ю.М.* Информационно-вычислительные системы в машиностроении. CALS-технологии. / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, А.В. Рыбаков - М.: Наука, 2003, 292с.
4. *Тесленко, Е.В., Супруненко, А.В., Андреев, В.В.* Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011618302. «Программный комплекс синтеза массива конструктивно-технологических признаков поверхностей для деталей машиностроения». Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам 20.10.2011.
5. *Гречищев, И. С.* Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление. / И. С. Гречищев, А. А. Ильяшенко - М.: Машиностроение, 1981.- 247с.
6. *Тесленко, Е.В.* Интеллектуальная информационная система с нейронной сетью для прогнозирования состояния соединений типа «вал-втулка» деталей машиностроения/ Е.В. Тесленко, В.В. Андреев// *Нейрокомпьютеры: разработка и применение.* – 2011. №11. – с. 26-31.
7. ГОСТ 14.201-83 Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования.

**И. А. Арбузов<sup>1</sup>, Р. В. Бульбович<sup>2</sup> д.т.н., Б. Е. Кириевский<sup>1</sup>, В. Я. Модорский<sup>2</sup> д.т.н.,  
П. В. Писарев<sup>2</sup>, А. А. Ташкинов<sup>2</sup> к.ф.-м.н., Д. В. Щенятский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ОАО «Протон-ПМ»

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет  
Россия, г. Пермь  
cluster@pstu.ru

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ НАСОСЕ**

Непрогнозируемое снижение напора насосов является сложной технической проблемой. Экспериментальное исследование затруднено, в связи с высокой стоимостью и опасностью ослабления конструкции при ее доработке и установке датчиков.

Вычислительный эксперимент требует реализации трехмерных нестационарных моделей с учетом кавитации, сжимаемости, конструктивных особенностей проточной части, податливости конструкции, что в свою очередь определяет высокие требованиями к вычислительным ресурсам.

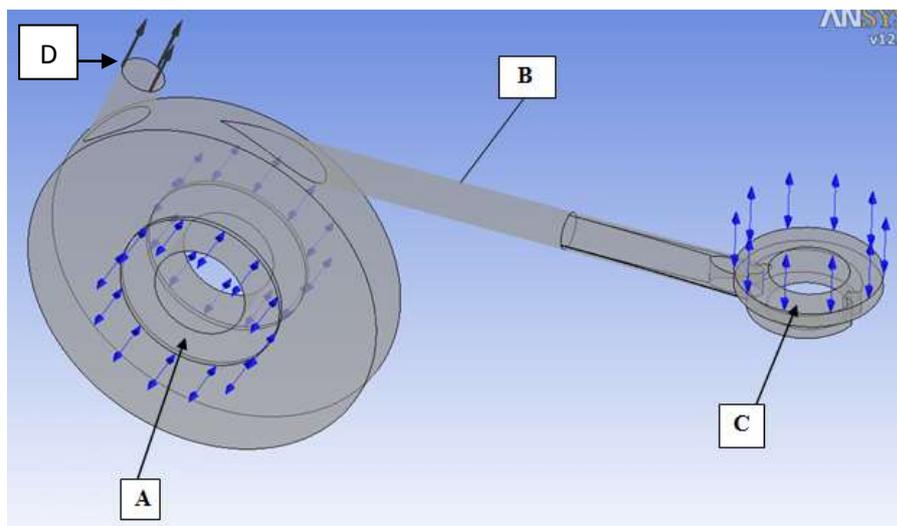
В настоящей работе приводятся результаты вычислительных экспериментов с использованием трехмерной гидродинамической модели, учитывающей характерные особенности колебательной системы "полость насоса первой ступени - соединительный канал - полость насоса второй ступени". Моделируется неравномерность потока на выходах из насоса, возможность реализации различных вариантов сборки, волновые процессы в гидродинамическом объеме, скорость вращения и т.д.

Предварительный анализ работы насоса показал, что:

- колеса первой и второй ступеней насоса вращаются с одинаковыми угловыми скоростями (находятся на одном валу);
- количество лопаток на колесах первой и второй ступеней одинаково;
- конструкция насоса не исключает возможности реализации нескольких вариантов взаимного расположения входных кромок лопаток колес первой и второй ступеней относительно впускных и выпускных окон соединительного канала.

Таким образом, возможна суперпозиция различных колебательных процессов в соединительном канале, так как подача жидкости из свободного объема насоса первой ступени в соединительный канал и втягивание жидкости в свободный объем насоса второй ступени могут быть по разному сфазированы относительно друг друга.

Для решения модельной задачи проведен анализ геометрии исходной расчетной области и выделены три характерных объема. Общий вид твердотельной модели приведен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Общий вид твердотельной модели (А-свободный объем первой ступени насоса, В-соединительный канал, С-свободный объем второй ступени насоса).**

Объем А соответствует первой ступени, объем В соответствует соединительному каналу с учетом его значимых геометрических особенностей (длина и объем). Модельный соединительный канал имеет круговое поперечное сечение. Объем С соответствует второй ступени.

Свободный объем А первой ступени имеет один вход и два выхода. Первый выход - в соединительный канал и по рисунку 1 направлен вправо. Второй выход D на рисунке 1 имеет большее сечение направлен вверх. Этот выход имеет также круговое сечение. Свободный объем второй ступени С имеет один вход с круговым поперечным сечением (по рисунку 1 слева) и один выход с кольцевым поперечным сечением (по рисунку 1 вверх).

Для формирования расчетной модели, с учетом технологических и конструктивных особенностей, были приняты следующие допущения:

- конструкция полагается трехмерной (x,y,z);
- стенки конструкции не поглощают и не выделяют тепло;
- сила трения между стенками и рабочей жидкостью не учитывается;
- рабочее тело представляет собой вязкую сжимаемую жидкость;
- стенки конструкции не деформируются;
- сила тяжести не учитывается;
- подача жидкости в соединительный канал изменяется по синусоидальному закону;
- работа крыльчатки в объеме С моделируется массовым секундным расходом, изменяющимся по синусоидальному закону.

Математическое описание гидродинамического процесса в указанной постановке включает в себя следующие соотношения:

- уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $\vec{V}$  – вектор скорости жидкости;  $t$  – время;  $\nabla$  - оператор Гамильтона.

-уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial(\rho\vec{V})}{\partial t} + \nabla \bullet (\rho\vec{V} \otimes \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \bullet \tau + \vec{S}_M \quad (2)$$

где  $P$ -давление;  $\vec{S}_M$  - источниковый член для импульса;  $\tau$ - тензор напряжений, записываемый в виде:

$$\left[ \nabla \vec{V} + (\nabla \vec{V})^T - \frac{2}{3} \delta \nabla \bullet \vec{V} \right] \quad \tau = \mu_e \quad (3)$$

где  $\delta$  - дельта-функция Кронекера,  $\mu_e$ - эффективная вязкость.

$$\mu_e = \mu + \mu_t \quad (4)$$

где  $\mu$  - вязкость,  $\mu_t$  - турбулентная вязкость.

-уравнение сохранения энергии:

$$\frac{\partial(\rho h_{\text{tot}})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \bullet (\rho \vec{V} h_{\text{tot}}) = \nabla \bullet (\lambda \nabla T) + \nabla \bullet (\vec{V} \bullet \vec{\tau}) + \vec{V} \bullet \vec{S}_M + S_E \quad (5)$$

где  $h_{\text{tot}}$  - полная энтальпия;  $h_{\text{stat}}$  - статическая энтальпия;  $S_E$  - источниковый член для энергии;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности жидкости.

$$h_{\text{tot}} = h_{\text{stat}} + \frac{\vec{V}^2}{2}; \quad (6)$$

$$h_{\text{stat}} = c_p(T - T_0); \quad (7)$$

где  $c_p$ -теплоемкость жидкости;  $T$  - текущая температура;  $T_0$  - начальная температура.

-уравнение состояния сжимаемой жидкости:

$$\rho = \rho(T, P) \quad (8)$$

-уравнение турбулентной энергии:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \bullet (\rho \vec{V} k) = \nabla \bullet \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla \bullet k \right) + \mu_t G - \rho \varepsilon; \quad (9)$$

где  $k$ -турбулентная энергия;  $\sigma_k$ -константа;  $G$ - определяет скорость генерации турбулентной энергии;  $\varepsilon$ -скорость диссипации турбулентной энергии.

$$G = D_{ij} \frac{\partial V_i}{\partial x_j}; \quad (10)$$

$$D_{ij} = S_{ij} - \frac{2}{3} (\nabla \bullet \vec{V} + \frac{\rho k}{\mu_t}) \delta_{ij}; \quad (11)$$

где  $S_{ij}$ -удвоенный тензор скоростей деформации,

$$S_{ij} = \frac{\partial w_i}{\partial x_j} + \frac{\partial w_j}{\partial x_i}; \quad (12)$$

-уравнение скорости диссипации турбулентной энергии:

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \varepsilon) = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \cdot \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t G - C_2 f_1 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}; \quad (13)$$

где  $\varepsilon$ -скорость диссипации турбулентной энергии,  $\sigma_\varepsilon$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ -константы.

-уравнение турбулентной вязкости вычисляется по формуле Колмогорова-Прандтля:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (14)$$

где  $C_\mu$ -константа.

Система уравнений (1-14) замыкается начальными и граничными условиями. При этом жидкость в момент времени  $t=0$  полагается невозмущенной и ее параметры соответствуют нормальным условиям для воды.

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

Тогда граничное условие входа в первую ступень запишется в виде:

$$v_1(t) = v_{ном1} + v_{A1} * \sin(\omega t + \varphi),$$

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

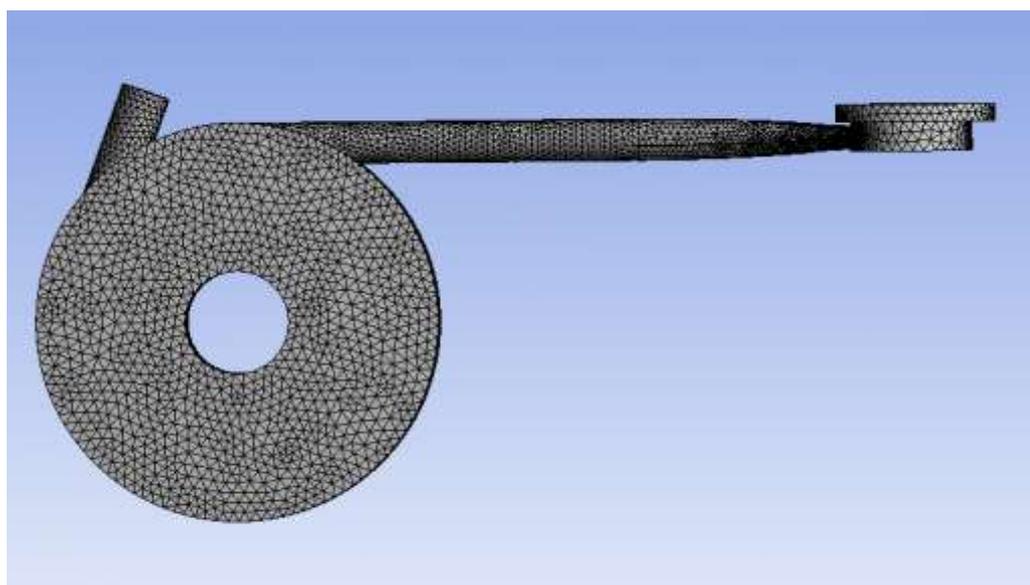
Граничное условие выхода из второй ступени насоса запишется в виде:

$$v_2(t) = v_{ном2} + v_{A2} \sin \omega t,$$

где  $v_{ном2}$  –номинальная скорость выхода жидкости из второй ступени насоса,  $v_{A2}$  – амплитуда колебания скорости потока (для расчетов принимается как

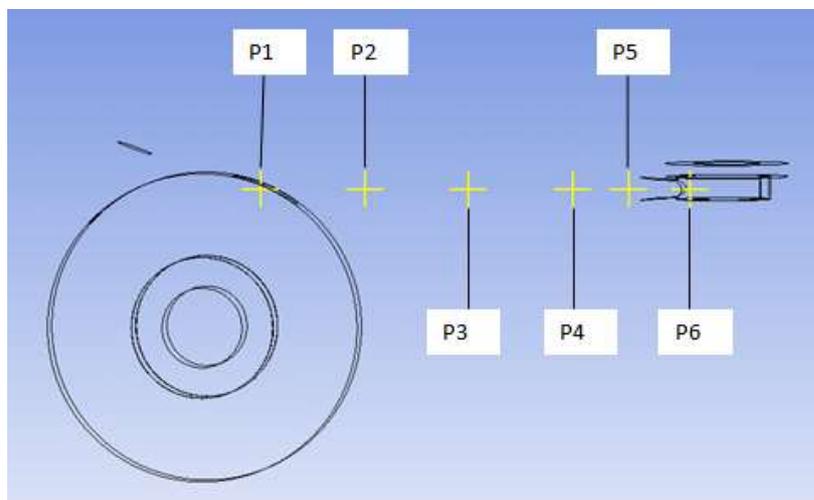
1 % от номинального значения скорости). Выход, направленный по рисунку 1 вверх рассматривается, как свободный выход.

Структура расчетной сетки следующая. Для лучшей сходимости решения и снижения погрешностей получаемых результатов необходимо применить сетку, ячейки которой имеют равномерную форму, близкую к форме тетраэдра. Расчетная сетка имеет равномерную структуру количество элементов расчетной сетки 800 тысяч элементов (рисунок 2).



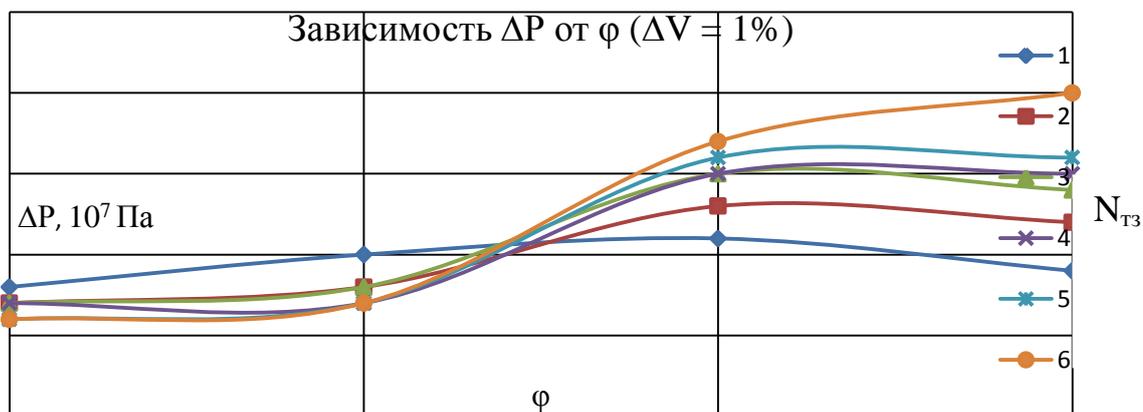
**Рисунок 2. Общий вид расчетной сетки.**

Для контроля пульсаций давления в расчетную область были помещены математические "датчики" давления. Все "датчики" располагаются на оси симметрии модели. Первый "датчик" располагается на входе в соединительный канал, второй, третий, четвертый, пятый – в соединительном канале, шестой – на выходе из соединительного канала (рисунок 3).



**Рисунок 3. Схема расположения датчиков.**

В ходе проведения вычислительных экспериментов варьировалась фаза  $\varphi$ , которая принимала значения  $\varphi=0$ ,  $\varphi=\pi/2$ ,  $\varphi=\pi$ ,  $\varphi=3\pi/2$ . В результате расчетов были получены графики зависимости  $\Delta P$  (размах колебаний давления) от  $N_{тз}$  (номера математических "датчиков") при различных  $\varphi$  (рисунок 4). Результаты расчетов при  $\varphi=0$  и  $\varphi=2\pi$  совпадают.



**Рисунок 4. График зависимости  $\Delta P$  от  $N_{тз}$ .**

Из графика видно, что амплитуда колебаний давления усиливается в 1,5 раза при  $\varphi = 180^\circ$ ,  $\varphi = 270^\circ$ . Амплитуда колебаний давления ослабляется в 1,4 раза при  $\varphi = 0$ ,  $\varphi = 360^\circ$  и в 1,3 раза, при  $\varphi = 90^\circ$ .

Таким образом, в ходе проведения численного исследования было обнаружено возникновение колебательных процессов в соединительном канале и присоединенных объемах улиток первой и второй ступеней. Амплитуда колебаний давления зависит от

угла установки лопаток колес первой и второй ступеней друг относительно друга. Наименьшая амплитуда колебательного процесса характерна для  $\varphi = 0^\circ$ .

Были проведены физические эксперименты на модельных насосах (МН). Результаты проливов приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Зависимость потерь суммарного напора насоса м. вод. ст., от угла взаимного расположения лопаток  $\alpha$ .**

№ п/п	Параметр	Значение				
		0	6	12	18	24
1	$\alpha$ - угла взаимного расположения лопаток	0	6	12	18	24
2	$\varphi$ -угол сдвига фаз в модельной задаче	0	$\pi/3$	$2\pi/3$	$\pi$	$4\pi/3$
3	№ варианта сборки насоса	1	2	3	4	5
4	1-й МН	66	94	104	106	95
5	2-й МН	55	88	64	66	80
		66				
6	3-й МН	87	108	100	105	112

Сопоставление данных расчета, приведенных на рисунке 4, и данных экспериментальных проливов модельных насосов, приведенных в таблице 1, позволяет говорить о соответствии статических (напорных) и динамических (амплитуд колебания давлений) характеристик насоса. Как с позиции снижения потерь напора насоса, так и снижения уровня колебательных процессов, оптимальным для всех сборок насоса является положение 1.

С целью улучшения напорных характеристик насоса, предполагается в дальнейшем провести исследования влияния отношения площади выхода первой ступени насоса, к площади выходного сечения насоса второй ступени, геометрии соединительного канала, а так же динамической податливости корпуса насоса на динамические и статические характеристики насоса.

#### *Список литературы:*

1. Модорский В.Я. Нелинейное деформирование стержневой конструкции при наддуве. – Авиационная техника, 2003, №3, с.63 – 64.
2. Методическое руководство по ANSYS CFX 12.0 2010.
3. Модорский В.Я., Соколкин Ю.В. Газоупругие процессы в энергетических установках//Под. ред. Соколкина Ю.В. М.: Наука. Физматлит, 2007.-176 с.
4. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. - М.: Машиностроение, 1986.-376 с.

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

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ**

В статье рассмотрена математическая модель определения необходимого количества передвижных ремонтных мастерских для технического обслуживания и ремонта автотракторной техники, задействованной в процессах ремонта линейной части магистральных нефтепроводов Западной Сибири. Определена зависимость потребности в передвижных авторемонтных мастерских от объемов работ по ремонту магистральных нефтепроводов.

*Ключевые слова:* производственно-техническая база, магистральные нефтепроводы, спецтехника, эксплуатация, техническое обслуживание

В настоящее время срок службы большей части магистральных нефтепроводов (МН) РФ приближается к предельному, поэтому ежегодно выполняются большие объемы работ по выборочным ремонтам трубопроводов. Около 90% всех ремонтных работ выполняется с участием автотракторной техники (АТТ). Производственная специфика обуславливает работу АТТ в отрыве от основных баз длительное время. Поэтому возникает потребность в обслуживании техники на местах проведения работ по ремонту нефтепровода с помощью передвижных авторемонтных мастерских (ПАРМ). В настоящее время вопросы определения рационального количества ПАРМ для Управлений магистральных нефтепроводов (УМН), вопросы комплектации трубопроводных ремонтных бригад средствами по ТО и Р техники не регламентированы.

Опыт решения подобных задач в различных отраслях народного хозяйства позволяет сделать вывод о том, что в условиях стохастической неопределенности необходимой точности результатов можно достичь с использованием имитационного моделирования [1, стр. 409].

В ходе исследований для всех методов выборочного ремонта нефтепроводов были определены средние значения наработки техники.

Полученные значения были использованы при моделировании процессов эксплуатации техники на выборочных ремонтах нефтепровода.

С помощью имитационного моделирования потребность в ТО и Р техники определялась как отношение наработки техники на объекте к наработке до ТО либо ремонта.

$$k_i^{jh} = (W_i^{jh} + W_{начi}^{jh}) / W_{mi}^{jh} \quad (1)$$

где  $W_i^{jh}$  - наработка техники  $j$ -го типа  $h$ -ой модели на  $i$ -м ремонте МН, мото-ч.;

$W_{начi}^{jh}$  - наработка техники  $j$ -го типа  $h$ -ой модели от предыдущего обслуживания (отказа) перед отправкой на  $i$ -й объект, мото-ч.;

$W_{mi}^{jh}$  - наработка техники  $j$ -го типа  $h$ -ой модели до очередного  $m$ -го воздействия (ТО, Р), мото-ч.

Далее, после проведения необходимого числа реализаций модели  $n$ , определяется математическое ожидание количества требований на ТО и Р АТТ для каждого метода ремонта нефтепровода.

$$A_{ТОi} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^A \sum_{h=1}^H k_{il}^{jh} \cdot P_{il}^{jh}(k) \quad (2)$$

$k$  – значения числа единиц техники, требующих ТО на объекте [2,3];

$A$  – количество техники на объекте, ед.;

$P(k)$  – вероятности, соответствующие частным значениям  $k$ ;

$j$  – тип техники при ремонте нефтепровода;

$l$  – номер реализации модели;

$i$  – метод ремонта нефтепровода;

$h$  – модель техники из  $H$  задействованных на  $i$ -ом методе ремонта МН.

При моделировании использовались марки и модели техники, регламентированные табелем оснащенности подразделений по эксплуатации и ремонту магистральных нефтепроводов [4].

В результате расчетов было выявлено, что при ремонте методом замены «катушки» в среднем 4 единицы техники будут требовать ТО и Р, при установке муфты - 2 единицы, при шлифовке и наплавке – 1 единица.

Далее необходимо определить момент постановки техники в ТО и Р на ПО. Однако, в отличие от принятых нормативов процесс работы ТТМ на объектах не предполагает наличия межсменного времени. Обслуживание техники непосредственно на объекте можно реализовать только тогда, когда технология проведения работ по  $i$ -му ремонту МТ предусматривает промежутки времени технологического простоя для  $j$ -го вида техники  $T_{ТТi}^j$  (времени, когда техника находится в ожидании следующей технологической операции и временно не задействована).

Исследования позволили установить законы распределения для всех типов техники, задействованной в выборочных ремонтах МН. Полученные значения позволяют определить, возможно ли обслужить и отремонтировать на месте все типы техники. Для этого следует воспользоваться критерием:

$$T_{ТТi}^{jh} \geq T_m^{jh} + L_i/V_i \quad (3)$$

где  $T_m^j$  – средняя трудоемкость проведения  $m$ -го воздействия (ТО-1, ТО-2, Р) по  $j$ -ой технике, чел.-ч. Для расчетов использовались значения нормативной трудоемкости для ТО, скорректированной под условия проведения работ, и средние трудоемкости Р, определенные в [5] и при анализе статистических данных.

$L_i$  – расстояние от места нахождения ПАРМ до места проведения работ по ТО и Р техники, км. Установлено, что средние расстояния от ЛПДС до места ремонта МН не превышают 50 км.

$V_i$  – средняя скорость передвижения ПАРМ до  $i$ -го ремонта МН, км/ч.

По критерию (3) можно определить рациональный элемент ПТБ для обслуживания каждого типа техники, задействованного в ремонтах МН. Технику, ТО и Р которой не удастся провести за время  $T_{ТТ}$ , следует либо обслуживать до отправки на объект, либо предусматривать наличие на ПО резервной техники данного типа.

Таким образом, количество техники, требующее обслуживания с помощью ПАРМ  $A_{ПАРМ}$ , будет соответствовать тому количеству техники, обслуживание которой можно реализовать за время  $T_{ТТ}$  без задержки сроков ремонта нефтепровода:

$$A_{TO}^{ПАРМ} i = \sum_{q=1}^z A_{TOq} i \quad (4)$$

где  $z$  – количество техники из  $A_{TOi}$ , для которой время ТО и Р меньше времени технологического простоя на  $i$ -ом методе ремонта нефтепровода, ед.

Однако возможны случаи, когда промежуток времени  $T_{ТП}$  одной единицы техники совмещается с промежутком  $T_{ТП}$  для другой техники. В таком случае необходимо проводить ТО и Р этих единиц параллельно. При этом потребность в ПАРМ будет увеличиваться.

Для описания процессов совмещения промежутков времени технологического простоя предложено использовать коэффициент совмещения времени технологического простоя техники, который представляет собой отношение суммарного времени совмещения промежутков  $T_{ТП} t_{совм}$  к суммарному времени их последовательного выполнения  $T_{посл}$  [6].

$$k_{совм} = \sum t_{совм} / \sum T_{посл} \quad (5)$$

В ходе экспериментальных исследований были определены значения коэффициентов совмещения  $T_{ТП}$  всех типов техники для каждого метода ремонта МН. Для расчетов использовались средние значения коэффициентов для техники, требующей ТО

на ПО  $\overline{k_{совм}}$ .

Таким образом, требуемое количество ПАРМ на  $i$ -ом ремонте нефтепровода будет определяться по формуле:

$$X_{iПАРМ} = A_{TO}^{ПАРМ} i \cdot \overline{k_{совм} i} \quad (6)$$

Для рассматриваемой градации условий эксплуатации автотракторной техники и каждого метода ремонта нефтепровода выполнялось заданное число реализаций случайного процесса определения потребности в ПАРМ. Результаты моделирования показали, что при формировании бригады на ремонт нефтепровода методом замены «катушки» в ее состав следует включать 2 передвижные авторемонтные мастерские для ТО и Р техники, при ремонте методом установки композитной муфты – одну ПАРМ, при ремонте методом шлифовки и наплавки ПАРМ не требуется.

На основе полученных значений определяются показатели экономической эффективности системы при каждом значении  $X_i$ . Рациональным для моделируемого участка будет такое количество ПАРМ, при котором затраты, вызванные превышением нормативных пробегов техники до ТО из-за нехватки ПАРМ, и затраты, связанные с организацией своевременного ТО техники, будут минимальны:

$$\sum C = C_{лим} + C_{рез} + C_{рем} + C_{ТО} \rightarrow \min \quad (7)$$

Где  $C_{лим}$  – затраты, которые несет предприятие в случае превышения сроков выполнения ремонта МТ из-за отказа техники, руб.;

$C_{рез}$  – затраты на резервную единицу техники, эксплуатируемую взамен отказавшей, руб.;

$C_{рем}$  – затраты на устранение отказа техники, руб.;

$C_{ТО}$  – затраты на техническое обслуживание АТТ, руб.

Методом корреляционно-регрессионного анализа было выявлено, что при увеличении количества ремонтов МН каждого метода за месяц  $N_{рем}$  увеличивается и рациональное количество ПАРМ  $X_{ПАРМ}$  для этого подразделения:

$$X_{ПАРМ} = -0,00809 + 0,116 \cdot N_{кат} + 0,058 \cdot N_{м} + 0,03 \cdot N_{ш} \quad (8)$$

Для условий Тобольского Управления магистральных нефтепроводов было определено среднее соотношение ремонтов нефтепровода в месяц (5 катушек/25 муфт/15

шлифовок и заварок) и норма потребности в ПАРМ для данных условий, определенная по (8), равная 3 ед. в месяц для УМН.

Для удобства практического использования месячная потребность в ПАРМ для ЛПДС представлена в виде нормы, которая должна корректироваться по формуле (9) в зависимости от изменения значений факторов.

$$X_{ПАРМ} = X_{ПАРМ}^{НОРМ} \cdot k_k \cdot k_m \cdot k_{ш} \quad (9)$$

Коэффициенты определяются как отношение необходимого количества ПАРМ при отклонении факторов от нормы к нормативной потребности в ПАРМ для данного УМН. Рассчитанные коэффициенты корректирования представлены в таблице 2.

**Таблица 2**

**Коэффициент корректирования потребности в ПАРМ для УМН**

Диапазон изменения числа ремонтов МН в месяц, шт.	Коэффициент корректирования потребности в ПАРМ		
	При ремонтах методом замены «катушки» $k_K$	При ремонтах методом композитной муфты $k_M$	При ремонтах методом шлифовки, наплавки $k_{ш}$
1-5	1	0,53	0,89
6-10	1,25	0,65	0,95
11-15	1,48	0,77	1
16-20	1,72	0,89	1,07
21-25	1,96	1	1,13
26-30	2,2	1,13	1,19
31-35	2,44	1,25	1,25
36-40	2,67	1,37	1,31

Полученные коэффициенты и зависимости могут быть использованы инженерными службами транспортных предприятий для планирования процессов ТО и Р техники в удалении от основных баз, экономическими службами для управления закупками или арендой техники, исходя из реальной потребности производства в ней. Также на основе результатов работы может быть определена потребность в ПАРМ для других УМН пересчетом значений по представленной методике. Использование полученной методики позволяет сократить затраты на организацию ТО и ремонта техники, задействованной при ремонтах магистральных нефтепроводов.

**Список литературы:**

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Советское радио, 1972. - 552 с.
2. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования. – М.:Транспорт, 1977. – 73 с.
3. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. – 573 с.
4. ОР-13.01-60.30.00-КТН-006-1-01. Типовое положение о центральной ремонтной службе. – М.: Стандарты предприятия ОАО «АК «ТРАНСНЕФТЬ», 2003.
5. Павлишин С.Г. Оценка соответствия производственно-технической базы региональной дилерской сети при формировании фирменной системы технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств (на примере ОАО «КАМАЗ») // Автотранспортное предприятие. - 2011. - №9. - С. 20-23.
6. Шехурдин В. К., Несмотряев В. И., Федоренко П. И. Горное дело. Учебник для техникумов.—М: Недра, 1987. — 440 с.

**В. Ф. Беккер к.т.н.**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Березниковский филиал  
кафедра автоматизации технологических процессов  
Россия, г. Березники  
bekker@bf.pstu.ac.ru

### **ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРУ ПОТОКОВ В АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЕ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ**

В описание структуры потоков в колонне с подвижной насадкой введены количественные характеристики вращательного движения отдельных элементов насадки. Способность элемента насадки к вращению достигается сосредоточением массы в его центре. Источником вращения являются косые упругие соударения между элементами насадки. Организация взаимодействия элементов конструктивно обеспечивается смещением центра тяжести элемента относительно его геометрического центра.

*Ключевые слова:* абсорбция, подвижная насадка, коэффициент вращения насадки, структура потоков в технологическом аппарате.

Упорядочивание движения насадочных тел в абсорбционных колоннах с подвижной насадкой может быть выполнено за счет конструктивного введения эксцентриситета между геометрическим центром элемента насадки и центром его тяжести путем внедрения внутрь насадочного элемента ядра большей плотности, смещенного относительно геометрического центра [1, 2]. Это позволяет увеличить вращательную составляющую скорости движения насадочного элемента, а также ориентирует ось вращения в вертикальном направлении и таким образом вносит организацию в беспорядочное движение тел, распределяя их равномерно по всему объему абсорбера и увеличивая поверхность соприкосновения контактирующих фаз. Кинетическая энергия вращательного движения насадочного элемента зависит от величины указанного выше эксцентриситета. Значительное увеличение смещения центра тяжести насадочного тела приводит к уменьшению кинетической энергии вращательного движения [3]. При значительном уменьшении эксцентриситета положение элемента насадки становится неустойчивым относительно вертикальной оси, и даже незначительная ударная нагрузка будет вызывать опрокидывание насадки [4].

Рассмотрим столкновение  $m_1$  и  $m_2$  – двух элементов насадки постоянной плотности без смещения центра тяжести. Ударный импульс  $S_x$ , сообщаемый каждому из элементов вращательную компоненту, будет иметь, в соответствии с [3], вид

$$S_x = \frac{2 \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 + v_2),$$

где  $m_1, m_2$  – масса элементов насадки, кг;  $v_1, v_2$  – их скорости в момент столкновения, м/с.

Проекция вектора угловой скорости насадки на вертикальную ось равна

$$\psi = \frac{S_x \cdot r \cdot (1 - \cos \theta)}{J \cdot \sin^2 \theta},$$

где  $r$  – радиус насадочного тела, м;  $J$  – момент инерции шара, кг·м<sup>2</sup>;  $\theta$  – угол поворота элемента насадки, рад.

Кинетическая энергия вращательного движения насадочного тела  $E_{к.в.}$  может быть определена, используя приведенные выше параметры движущегося элемента насадки, по следующей формуле  $E_{к.в.} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \psi^2$ .

Для количественной оценки составляющей вращения элемента введем коэффициент вращения  $k_b$  как  $k_b = \frac{E_{к.в.с}}{E_{к.в}}$  – отношение кинетической энергии вращательного движения насадочного тела со смещенным центром тяжести  $E_{\hat{e}.\hat{a}.\hat{n}}$  к кинетической энергии насадочного тела без смещения центра тяжести  $E_{\hat{e}.\hat{a}}$ .

Для оценки величины коэффициента вращения  $k_b$  проведен вычислительный эксперимент, реализованный в среде MathCAD. Плотность материала насадочного тела принята равной  $150 \text{ кг/м}^3$ , плотность ядра –  $11350 \text{ кг/м}^3$ , диаметр насадочного тела –  $35 \text{ мм}$ , диаметр ядра –  $0,35$  от диаметра насадочного тела. Для диапазона эксцентриситетов между геометрическим центром насадки и центром ее тяжести  $2 \dots 5 \text{ мм}$  коэффициент вращения был определен, соответственно, в интервале  $1,5 \dots 1,12$ .

При моделировании процесса абсорбции в колонне с подвижной насадкой, имеющей смещенный центр тяжести учитывается влияние на гидродинамическую обстановку и массообмен дополнительно создаваемой вращательной компоненты движения насадки. В основу математического описания процесса положены математические зависимости, описывающие структуру потоков в аппарате в виде ячеечной модели [6]. Основным параметром этой модели является число  $n$  ячеек идеального перемешивания одинакового объема. Дополнительное перемешивание взаимодействующих фаз, вызванное интенсификацией вращательного движения насадки учитывается введением предложенного выше коэффициента вращения  $k_b$ .

Число ячеек идеального перемешивания в одной секции  $n'$  для насадки без смещения центра тяжести определяется по критерию подобия Пекле  $Re_{ж}$  для

$$\text{псевдооживленной насадки: } n' = \frac{Re_{ж}^2}{2(Re_{ж} - 1 + e^{-Re_{ж}})} \quad [6].$$

Критерий  $Re_{ж}$ , в свою очередь, определяется по критерию Пекле для неподвижной насадки  $Re_{ж,0}$  в соответствии с приведенным в [5] уравнением:

$$Re_{ж} = Re_{ж,0} \cdot k \cdot F(\Delta) \cdot \left( \frac{D_k}{d_{ш}} \right)^{0,304}, \quad \text{где } k \text{ – коэффициент расширения слоя; } D_k \text{ – диаметр}$$

колонны.

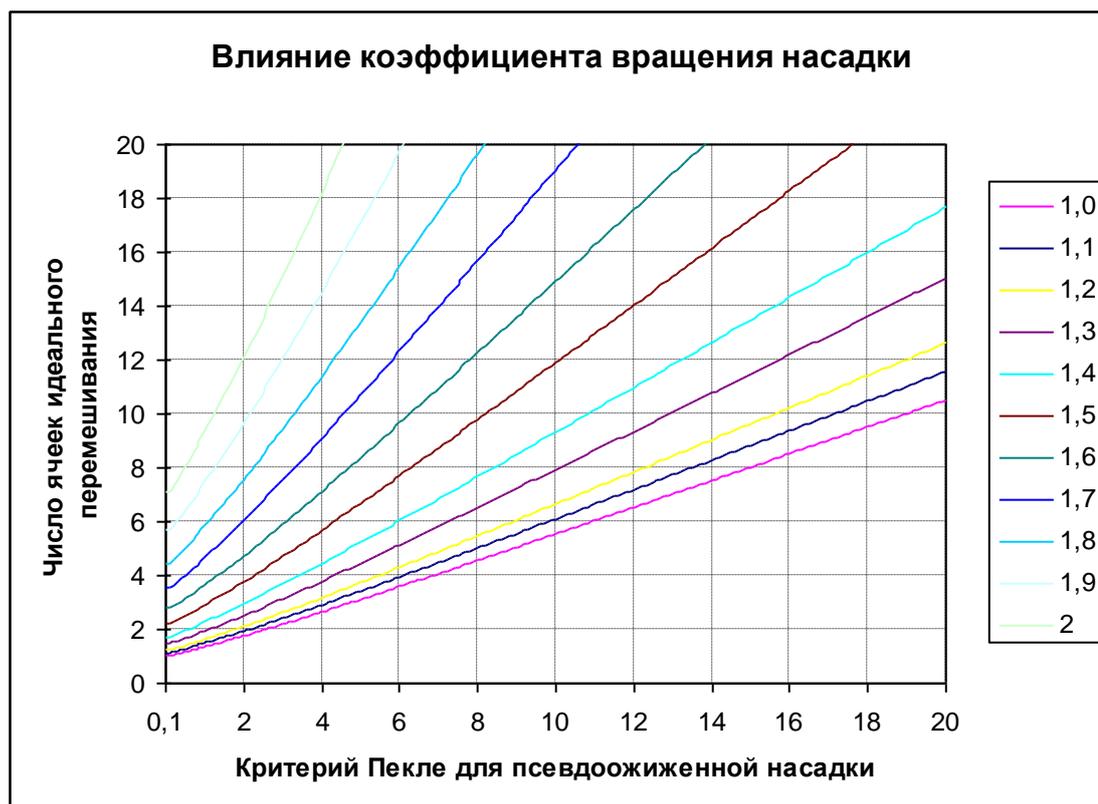
Величина  $F(\Delta)$  является зависимостью, графически описанной в [5]. Здесь степень псевдооживления  $\Delta$  – отношение  $\Delta = \frac{w - w_{кр}}{w_{кр}}$ , в котором  $w$  – скорость газа в колонне;

$w_{кр}$  – скорость газа в начале псевдооживления.

Критерий Пекле для неподвижной насадки  $Re_{ж,0}$  вычисляется по формуле, рекомендуемой [5]:  $Re_{ж,0} = 1,425 Re_{ж}^{0,78} Ga^{-\frac{1}{3}} \frac{H_{ст}}{d_{ш}}$ , т.е. является функцией критерия

Рейнольдса для жидкости  $Re_{ж}$ .

Величина этого критерия определяется свойствами, скоростью движущейся жидкости и размером насадки:  $Re_{ж} = \frac{\bar{u}d_{ш}}{\nu_{ж}}$ , где  $d_{ш}$  – диаметр шаровой насадки, м;  $\nu_{ж}$  – кинематическая вязкость,  $m^2/c$ ;  $\bar{u}$  – средняя скорость жидкости, м/с. При этом  $\bar{u} = \frac{U}{3600 \cdot \delta}$ , где  $U$  – плотность орошения, м/ч;  $\delta$  – количество удерживаемой жидкости (доля динамического объема насадки, занятая жидкостью) определяется, в соответствии с рекомендациями [5], по формуле:  $\delta = 0,0011 \cdot U^{0,6} d_{ш}^{-0,5} + 0,02$ .



**Рис. Зависимости числа ячеек идеального перемешивания ячейечной модели от критерия Пекле для различных числовых значений коэффициента вращения насадки  $k_b$  в диапазоне 1,0..2,0**

Величину критерия Галилея  $Ga$  для элемента подвижной насадки, используемого для вычисления  $Re_{ж,0}$ , дает формула:  $Ga = \frac{gd_{ш}^3}{\nu_{ж}^2}$ , где  $g$  – ускорение свободного падения,  $9,81 m/c^2$ .

Итак, для насадки со смещенным центром тяжести число ячеек определяется зависимостью  $n' = k_b \cdot \frac{Pe_{ж}^2}{2(Pe_{ж} - 1 + e^{-Pe_{ж}})}$ . На рисунке приведены графики, иллюстрирующие эту зависимость при различных значениях коэффициента вращения насадки.

Вместо величины  $n$  – количества ячеек идеального перемешивания в ячейечной модели подставляют  $m$ , равное произведению числа секций  $n$  на число ячеек,

приходящихся на одну секцию  $n$ , т.е.  $m = n \cdot n'$ . Поскольку всегда  $n' > 1$ , то  $m > n$  и поэтому коэффициент извлечения при неполном перемешивании жидкости в секции абсорбционной тарелки всегда больше, чем при ее полном перемешивании.

Опытные данные по продольному перемешиванию позволяют определить значения критерия Пекле  $Re_{ж}$  для псевдооживленной насадки или коэффициента продольного перемешивания  $\epsilon_{ж}$ . Можно оперировать с любой из этих величин, учитывая, что связь

между ними выражается уравнением:  $Re_{ж} = \frac{\bar{u} \cdot H_{дин}}{\epsilon_{ж}}$ , где  $H_{дин}$  – динамическая высота

слоя, м.

Выводы: Предложено количественно оценивать степень влияния составляющей вращательного движения элементов насадки введением коэффициента вращения в уравнение, определяющее количество ячеек идеального перемешивания ячейочной модели, аппроксимирующей структуру потоков в отдельной секции колонны. Показано, что организация вращательного движения действительно ведет к смещению ячейочной модели в сторону идеального вытеснения и способствует увеличению коэффициента извлечения в абсорбционной колонне.

#### ***Список литературы:***

1. А.с. 1271549, МКИ В 01D 53/20. Насадка для массообменных процессов. / В.Ф. Беккер.– № 3740821/23-26; Заявлено 18.05.84, Опубл. 23.11.86, Бюл. 43.
2. Беккер В.Ф., Кафаров В.В., Шумихин А.Г., Черепанов А.И. Влияние распределения массы по объему насадочного тела на интенсивность гидродинамических процессов в трехфазном псевдооживленном слое. // ТОХТ, т. XXII, 1988. – С.581–582.
3. Беккер В.Ф. Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. – 208 с.
4. Беккер В.Ф. О действии ударного импульса на вращательное движение элемента подвижной насадки со смещенным центром масс. //Перспективные химические технологии и материалы: Сб. ст. междунар. науч. конф. / Пермь: Изд-во ПГТУ, 1998. – С. 197 - 203.
5. Замянян А.А., Рамм В.М. Абсорберы с псевдооживленной насадкой. – М.: Химия, 1980. – 184 с.
6. Рамм В.М. Абсорбция газов. Изд. 2-е. М.: Химия, 1976. – 656 с.

**Н. А. Белобородова к.э.н.**

Институт управления, информации и бизнеса  
кафедра “Информационные технологии”  
Россия, г. Ухта  
velbest@mail.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Рассматривается проблема усиления потенциала прогнозирования роста производства на территории муниципального образования. Предлагаемая технология расчетов с использованием аппарата искусственных нейронных сетей позволяет решать задачи анализа факторов, определяющих рост производства (“точки роста”) в анализируемом периоде, прогнозировать варианты роста производства.

*Ключевые слова:* модели производства, прогнозирование роста производства, “точки роста”, варианты роста производства, искусственные нейронные сети.

В настоящее время в системе управления территорией на местном, локальном уровне особенно востребованы инструменты, использование которых могло бы дать информацию о предвидении неблагоприятных тенденций и факторов развития производства, о возможных “точках роста” и перспективных производствах – в связи с этим необходимо усиление потенциала функции прогнозирования производства.

С учетом современных “кризисных” и “послекризисных” условий развития все большее распространение получают инструменты прогнозирования на основе методов искусственного интеллекта – искусственных нейронных сетей, нечетких множеств, генетических алгоритмов. Их использование в структуре управления способствует формированию новых знаний о состоянии и развитии территориальных производственных систем, дает возможность местным властям объективно оценить состояние социально-экономических процессов, сформировать информационную базу для принятия оптимальных управленческих решений по вопросам текущей ситуации и приоритетам перспективного развития отдельных предприятий и всей территории в целом.

В работе вычислительные процедуры методики рассматриваются на примере построения прогнозной модели роста производства на территории муниципального образования (МО) “Городской округ “Ухта” (Республика Коми).

На основании нормативных документов определяются показатели, характеризующие производство на территории муниципального образования (МО), например, добыча нефти, производство бензина, первичная переработка нефти, производство мазута и т.д. Показателям производства поставлены в соответствие переменные, например,  $X_1, X_2, \dots, X_{16}$ . Каждый показатель из данного списка может рассматриваться как фактор роста производства [2].

Пусть в соответствии с задачами моделирования экономического роста территории МО  $Y$  – прогнозируемый показатель, характеризующий рост производства на территории МО, представлен в денежном выражении.  $Y$  рассматривается как зависимая переменная от остальных переменных, обозначенных  $X_i$ , характеризующих производство основных видов продукции в базовых отраслях МО:

$$Y = f(X),$$

где  $X$  – вектор входных параметров, характеризующий объем производства в отраслях хозяйства территории МО;  $Y$  – вектор выходных параметров;  $f(X)$  – преобразующая функция.

В соответствии с методикой, представленной в [1,2,3] формируется совокупность факторов производства, определяющих рост производства, так называемые “точки роста”.

Исследование моделей роста производства, их количественных и качественных характеристик, уточнение параметров моделей, выбор моделей, наиболее адекватных исследуемому объекту производится с использованием средств нейросимулятора Neuro Pro 0.25.

Методика включает следующие операции:

- формирование обучающего множества;
- конструирование нейронной сети с помощью нейросимулятора (выбор архитектуры ИНС);
- обучение ИНС;
- тестирование нейронной сети;
- определение значимости показателей;
- выбор модели роста, адекватной исследуемому объекту.

Результатом является обученная нейронная сеть, на основе которой уточняются параметры исследуемой модели и определяются прогнозные варианты роста производства.

Согласно расчетам по ИНС совокупность показателей, определяющих рост производства (показатель оборота организаций) на территории муниципального образования “Городской округ “Ухта” в анализируемом периоде, представлена переменными  $X_5$ ,  $X_7$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{13}$ .

Исследование модели с использованием ИНС показало, что факторами роста производства в анализируемом периоде на территории города Ухты являются: производство мазута, производство стеновых материалов, производство хлеба и хлебобулочных изделий в агропромышленном комплексе, производство скота и птицы на убой в сельском хозяйстве.

Методика построения прогнозных вариантов роста производственной сферы МО с использованием обученной нейронной сети имеет следующие характеристики:

- использует обученную ИНС;
- направлена на построение прогнозных вариантов роста производства.

Методика осуществляется поэтапно, включает следующие операции:

1 этап: проверка прогнозной способности ИНС; подготовку данных в виде контрольного множества значений, учитывающих возможные варианты развития производства – варианты роста и спада производства в отраслях МО; опрос обученной ИНС и получение прогнозных значений;

2 этап: анализ и исследование полученных прогнозных вариантов роста производства.

3 этап: интерпретация полученных результатов.

В результате формируются прогнозные варианты роста производства.

ИНС, обученная для прогнозирования производства, имеет следующие характеристики:

- значимость показателей:

$X_5 = 0.9955$ ;  $X_7 = 0.8866$ ;  $X_{11} = 1.0$ ;  $X_{13} = 0.8706$ ;

- конфигурация ИНС:

4-9-1; входной слой включает 4 нейрона, промежуточный слой состоит из 9 нейронов; выходной нейрон – один;

- функция активации – сигмоидная;

• алгоритм обучения – обратное распространение ошибки, число циклов обучения – 14, средняя ошибка тестирования – 0.075;

Для построения прогнозной модели предусмотрим возможные сочетания факторов роста производства, подготовим данные в виде контрольного множества значений для обученной нейронной сети, получим путем опроса сети прогнозируемые значения  $Y$ . Основываясь на данных опроса обученной ИНС, протестированной и проверенной на прогнозную способность, определяем варианты роста производственной сферы МО, с учетом выпуска основных видов продукции – таблица 1.

**Таблица 1**

**Прогнозные варианты роста производства**

№ п/п	$X_5$	$X_7$	$X_{11}$	$X_{13}$	$Y$
1	0	0	1	1	1.2
2	1	0	1	1	1.04
3	1	1	1	1	1.08

В таблице 1 представлены “лучшие” варианты развития производственной сферы МО; интерпретация результатов ИНС показала, что наиболее предпочтительный тот вариант, который не предусматривает спада производства в отдельных отраслях МО. При этом рост дохода территории от производства (прогноз) составляет не менее, чем на 247 тыс. рублей в месяц при условии, что производство мазута ( $X_5$ ) будет увеличиваться не менее, чем на 1.8 тыс. тонн в месяц, производство стеновых материалов ( $X_7$ ) должно увеличиваться не менее, чем на 0.19 млн. штук условного кирпича ежемесячно; рост производства хлеба и хлебобулочных изделий в агропромышленном комплексе (АПК,  $X_{11}$ ) не менее, чем на 0.3 тонны в месяц, производство скота и птицы на убой ( $X_{13}$ ) – не менее, чем на 15.2 тонны в месяц.

Рост производства можно прогнозировать даже если в отдельных отраслях производства будет наблюдаться спад (варианты 1–2 таблицы 1).

Выбор из полученных вариантов, обеспечивающих ежемесячный прирост в отраслях производства остается за лицом, принимающим решения, исходя из предпочтений, отдаваемых тому или иному варианту с точки зрения его реализуемости.

Методика также использовалась для построения моделей оценки влияния роста производства на доходы местного бюджета, сокращение безработицы и др. показателей развития.

Таким образом, предлагаемая технология способствует повышению потенциала прогнозирования за счет:

- определения значимых факторов роста производства на территории МО;
- определения перспективных производств (“точек роста”);
- отслеживания структурных изменений в производственной сфере МО (города).

Результаты применения технологии на реальных данных социально-экономического развития МО “Городской округ “Ухта” в анализируемом периоде выявили параметры и факторы, определяющие рост производства, их взаимосвязь, количественные характеристики.

### ***Список литературы:***

1. *Белобородова Н.А.* Модели прогнозирования развития экономики муниципального образования “Город Ухта” с использованием нейронных сетей: Материалы научно-технической конференции, 16-18 апреля 2001 г. / УГТУ. Ухта, 2002. – С. 176-180
2. *Белобородова Н.А.* Модели прогнозирования роста производства с использованием нейронных сетей // Известия вузов. Сер. Нефть и газ. 2002. № 4. С. 110-117.
3. *Щетинин В.Г.* Анализ факторов экономического роста региона // Вопросы статистики. 1996. № 3. С. 40-46.

**Н. А. Белобородова к.э.н.**

Институт управления, информации и бизнеса  
кафедра “Информационные технологии”  
Россия, г. Ухта  
velbest@mail.ru

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ РФ**

Рассматривается проблема усиления потенциала прогнозирования роста производства. Предлагаемая технология расчетов позволяет решать задачи анализа факторов, определяющих рост производства (“точки роста”) в анализируемом периоде, прогнозировать варианты роста производства с учетом выпуска основных видов продукции.

*Ключевые слова:* факторы роста производства, “точки роста”, прогнозирование роста производства.

Процесс управления производством в границах муниципального образования (МО) начинается с разработки прогнозов развития, и, как показано в работе [2], в настоящее время прогнозно-аналитические работы не удовлетворяют требованиям комплексности, достоверности и достаточной глубины прогнозирования, поэтому, в данной работе основное внимание уделяется вопросам совершенствования функции управления – прогнозированию развития территории МО.

Данное исследование выполнено на примере города Ухты, Республики Коми. Город Ухта является одним из промышленных центров республики, управление городом осуществляется местной администрацией на территории муниципального образования “Городской округ “Ухта”. Производственный потенциал города представлен, в основном, предприятиями нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, предприятиями и организациями, входящими в газотранспортную систему, а также, предприятиями строительного комплекса (стройиндустрия), предприятиями по производству электро-и-теплоэнергии, предприятиями агропромышленного комплекса, предприятиями по производству услуг (связь, геофизика, транспорт и т.д.).

Анализ основных положений стратегии развития региона [1] позволил определить ключевые показатели, отражающие эффективность управления развитием производства:

- отрасли производства, имеющие наибольшие показатели в динамике за анализируемый период, обеспечивающие наибольший эффект по занятости населения и сокращению безработицы, росту доходов населения и снижению уровня бедности, а также – максимальный вклад в бюджетный потенциал муниципального образования;
- эффективность управления производственными ресурсами будет выше, если будет установлена и учтена зависимость положительной динамики ключевых показателей развития от роста производства; это позволит отработать модели управления в целях повышения качества жизни населения.

Современные условия развития, характеризующиеся неравномерностью темпов развития производства, небольшой продолжительностью, а также неполнотой и противоречивостью знаний о происходящих явлениях и процессах, обуславливают поиск и применение адекватных инструментов прогнозирования – в таких условиях наиболее эффективны методы прогнозирования на основе *технологий искусственного интеллекта*

– аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС), нечетких множеств, генетических алгоритмов (ГА).

В данной работе исследованы возможности генетических алгоритмов с целью построения *моделей прогнозирования*, исследование и использование которых позволяет рассчитать оптимальные “лучшие” (прогнозные) варианты развития производственной сферы МО, обеспечивающие наибольший эффект по занятости населения и сокращению безработицы, росту доходов населения и снижению уровня бедности, а также – максимальный вклад в бюджетный потенциал муниципального образования.

В данной работе рассматривается ГА, в котором совокупность параметров представляется в виде генов, образующих хромосомную нить. Генетический алгоритм поддерживает группу хромосом (популяцию), являющихся претендентами на оптимальное решение. Применяя ряд вероятностных операторов, таких как отбор, скрещивание и мутация, генофонд популяции стремится получить большую пригодность к условиям задачи. Аналогично тому, как в процессе биологического генезиса выживают и развиваются особи, наиболее приспособляющиеся к воздействию некоторых факторов окружающей среды, так и в процессе поиска оптимума прогрессируют те решения, которые наиболее пригодны (оптимальны) к условиям поставленной задачи (целевому критерию). Практически алгоритм представляет собой простые операции обмена и копирования частей хромосомных нитей, легко распараллеливается, и с проблемной областью связан лишь определением функции пригодности.

Подробнее о ГА можно найти в [3].

#### ***Технология построения моделей прогнозирования производства.***

Этап I. Предобработка данных. Основное содержание этапа – формирование системы показателей производства, определяющих увеличение доходов в бюджет города, сокращение безработицы и увеличение средней заработной платы, которые будут подвергнуты моделированию – была использована технология, предложенная в [2].

На основании нормативных документов определяются показатели, характеризующие производство на территории МО: добыча нефти, производство бензина, первичная переработка нефти, производство мазута и т.д. Показателям производства поставлены в соответствие переменные,  $X_1, X_2, \dots, X_{16}$ . Каждый показатель из данного списка может рассматриваться как фактор роста производства [2].

Согласно постановке задачи  $Y$  – показатель (оборот организаций), характеризующий *рост производства, представлен в денежном выражении*;  $Y$  рассматривается как зависимая переменная от тех переменных, которые обозначены через  $X_i$  и характеризуют производство основных видов продукции в натуральном выражении.

В результате выполнения процедур предобработки данных [2] выявляются те показатели  $X_i$ , которые влияют на рост  $Y$ , т.е. определяют значение “1”, таким образом, формируется совокупность *факторов производства*, определяющих рост производства в границах муниципального образования.

Этап II. Построение моделей оптимального развития производства с использованием генетического алгоритма (ГА).

Для решения задачи нахождения оптимального (лучшего) варианта развития производства на территории МО, используется классический генетический алгоритм (ГА).

Для характеристики оптимальности решений в ГА используется функция пригодности. В задаче максимизации более пригодно то решение, которое имеет большее значение целевой функции:

$$F = \varphi,$$

где  $\varphi$  – исходная максимизируемая функция.

Последовательность выполнения операций генетического алгоритма следующая:

1. *Генерация начальной популяции.* Генерируем случайную начальную популяцию из  $N$  бинарных хромосом.

2. *Оценивание приспособленности хромосом в популяции. Расчет функции пригодности всех особей популяции.* Находим значение выбранной целевой функции для каждой хромосомы в соответствии с выбранной оценкой и функцию пригодности.

3. *Скращивание.* Данная операция реализует формирование потомков. Каждая особь может иметь три потомка. В обоих случаях хромосомы переводятся в разряд потомков.

4. *Мутация.* Операция реализует мутацию потомков в популяции.

5. *Создание новой популяции особей, воспроизводство популяции.* Формируется новая популяция, применяется элитизм.

6. *Выбор “наилучшей хромосомы”.*

В результате применения операций генетического алгоритма были получены следующие расчетные результаты:

“наилучший” (прогнозный) вариант роста производства, который обеспечивает максимальный объем денежных поступлений от производственных предприятий (показатель оборота организаций) получен в 12-м поколении популяции, выбор лучшей хромосомы осуществляется по максимальному значению функции приспособленности;

в данном случае это следующий вариант:

$X_5 = 123.528$ ;  $X_7 = 1.9127$ ;  $X_{11} = 596.667$ ;  $X_{13} = 368.318$ . При этом значение функции приспособленности хромосомы  $Y = 1.83066298473836E19$ .

Данной хромосоме соответствует значение в десятичном коде:

$Y = 1.83066298473836E19 / 1.8446744073709551615(\text{макс. значение в 64 разрядах}) * (9701.759 - 5522.325) + 5522.325 = 0.9924 * 4179.434 + 5522.325 = 4147.6703 + 5522.325 = 9669.9953$  (расчетное значение).

Согласно статистическим данным, максимальный оборот организаций в анализируемом периоде составил 9701.759 млн. рублей, относительная погрешность расчетов составляет:

$$|9669.995 - 9701.753| / 9669.995 * 100\% = 0.00328 * 100\% = 0.328\%$$

Здесь  $X_5$  – показатели производства мазута (тыс.тонн),  $X_7$  – показатели производства стеновых материалов (млн. штук условного кирпича),  $X_{11}$  – показатели производства хлеба и хлебобулочных изделий в агропромышленном комплексе (тонн),  $X_{13}$  – показатели производства скота и птицы на убой в сельском хозяйстве(тонн).

Технология прогнозного моделирования производства, реализована с использованием автоматизированных средств, разработаны также модели оценки влияния роста производства на ключевые показатели развития территории.

Таким образом, предлагаемая технология прогнозного моделирования с использованием генетического алгоритма, позволяет определить оптимальные варианты роста производства с точки зрения роста доходной части местного бюджета, сокращения бедности населения. Способствует повышению достоверности и объективности прогнозов производства, обоснованности решений в выборе приоритетов развития территории.

### **Список литературы:**

1. *Стратегия* экономического и социального развития Республики Коми на 2006 – 2010 годы и на период до 2015 года: Постановление Правительства Республики Коми от 27 марта 2006 г., №45// Министерство экономического развития РК. г. Сыктывкар. 2006.

2. *Белобородова, Н.А.* Модели и методы прогнозирования развития муниципального образования (города) в нефтегазовом регионе России [Текст] /Н.А. Белобородова // Электронный научный журнал “Нефтегазовое дело”. 2010. Режим доступа к журн.: [http://www.ogbus.ru/authors/BeloborodovaNA/BeloborodovaNA\\_2pdf](http://www.ogbus.ru/authors/BeloborodovaNA/BeloborodovaNA_2pdf). - 15 с.

3. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткие системы / Пер. с польск. – И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

**Н. А. Белобородова к.э.н.**

Институт управления, информации и бизнеса  
кафедра “Информационные технологии”  
Россия, г. Ухта  
velbest@mail.ru

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РОСТА ПРОИЗВОДСТВА В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ**

Рассматривается проблема усиления потенциала прогнозирования роста производства. Предлагаемая технология расчетов позволяет решать задачи анализа факторов, определяющих рост производства (“точки роста”) в анализируемом периоде, прогнозировать варианты роста производства с учетом выпуска основных видов продукции.

*Ключевые слова:* факторы роста производства, “точки роста”, прогнозирование роста производства.

На территории городов в промышленных регионах Российской Федерации сосредоточен производственный потенциал предприятий промышленности, нефтегазового комплекса, строительной индустрии, агропромышленного комплекса, сельского хозяйства и т.д. Он является “мультипликатором” устойчивого развития республик, областей и др. субъектов Российской Федерации, базой для модернизации и обновления промышленности в стране, создания и развития новых отраслей производства. Но даже в тех городах, на территории которых размещается высокоразвитый, мощный и высокодоходный производственный потенциал предприятий нефтегазового комплекса, местные власти не могут обеспечить достаточный уровень налоговых поступлений в местные бюджеты, сокращение безработицы, снижение уровня бедности населения.

Существующие противоречия создают проблемы в обеспечении развития на местном, локальном уровне и свидетельствуют о необходимости совершенствования управления с учетом современных особенностей развития.

Современные условия развития, характеризующиеся нестабильностью и неравномерностью темпов развития производства, небольшой продолжительностью, а также неполнотой и противоречивостью знаний о происходящих явлениях и процессах, обуславливают поиск и применение адекватных методов прогнозирования производства в границах муниципального образования.

Анализ существующих методов прогнозирования показал, что в настоящее время все большее распространение получают модели прогнозирования на основе методов искусственного интеллекта – аппарата искусственных нейронных сетей, нечетких множеств, генетических алгоритмов (ГА) [1,2,3]. Их использование в структуре управления производством способствует формированию новых знаний о состоянии и развитии территориальных производственных систем, дает возможность местным властям объективно оценить состояние развития территории, сформировать информационную базу для принятия оптимальных управленческих решений по вопросам текущей ситуации и приоритетам перспективного развития отдельных предприятий и всей территории в целом.

В данной статье рассматривается методика анализа факторов производства для построения моделей роста производства на примере МО “Городской округ “Ухта” (Республика Коми).

На основании нормативных документов определяются показатели, характеризующие рост производства. В таблице 1 приведены наименования показателей производства, а также перечень переменных, поставленных в соответствие каждому из них; значения показателей изменяются с окончанием очередного периода наблюдения; *каждый показатель из данного списка может рассматриваться как фактор роста производства.*

**Таблица 1**

**Показатели производства. Кодирование переменных**

Показатель	Наименование переменной
объем производства (оборот организаций)	Y
добыча нефти	X1
производство бензина автомобильного	X2
производство дизельного топлива	X3
первичная переработка нефти	X4
производство мазута	X5
производство пиломатериалов	X6
производство стеновых материалов	X7
производство электроэнергии	X8
производство теплоэнергии	X9
производство мяса и мясопродуктов АПК	X10
производство хлеба и хлебобул. изделий АПК	X11
производство молока и мол. продуктов АПК	X12
производство скота и птицы: сельское хоз-во	X13
производство молока: сельское хоз-во	X14
капитальные вложения в производств. сферу	X15
производство услуг	X16

Пусть в соответствии с задачами моделирования производства  $Y$  – прогнозируемый показатель, характеризующий рост производства на территории МО, представлен в денежном выражении.  $Y$  рассматривается как зависимая переменная от остальных переменных, обозначенных  $X_i$ , характеризующих производство основных видов продукции в базовых отраслях МО:

$$Y = f(X)$$

где  $X$  – вектор входных параметров, характеризующий объем производства в отраслях хозяйства МО;  $Y$  – вектор выходных параметров;  $f(X)$  – преобразующая функция.

Методика построения моделей роста производства включает последовательность следующих вычислительных процедур [3].

Предварительно вычисляется величина ускорения  $a_i$  для каждого из элементов выборки статистических данных за анализируемый период:

$$a_i = y_i - y_{i-1}, \quad \text{при } i = 1, \dots, n;$$

где  $y_i$  – изменение (прирост) значения показателя  $Y$  за анализируемый период. Далее вычисленные значения  $a_i$  располагаются в убывающем порядке. Это необходимо для того, чтобы определить пороговую величину  $a^*$ , при которой число интервалов  $N_0$  с величиной ускорения  $a_i < a^*$  отличалось бы от числа интервалов  $N_1$ , для которых  $a_i \geq a^*$  не более чем на 1:

$$a^*: |N_0 - N_1| \leq 1, \quad \text{для нечетного } n = N_0 + N_1;$$

$$a^*: |N_0 - N_1| = 0, \quad \text{для четного } n.$$

Выполним вычислительные процедуры, таблица 2:

Таблица 2

**Классификация интервалов роста производства**

№ мес	Прирост, млн. руб.	Ускорение	Индикатор
1	5543.552	-	0
2	6249.612	+706.06	1
3	6509.392	+259.78	1
...	...	...	...
28	9701.759	+71.213	0
29	9422.592	-279.167	0

Для каждого из шестнадцати показателей также определим величину порога, превышение которого должно совпадать со значением “1” индикатора и “0” в противном случае.

Сравнивая с  $Y$  данные классифицированной последовательности  $X_i, i = 1, \dots, m$ , определяем количество расхождений или ошибок. Анализ исходных данных выявил высокую степень зависимости роста производства от показателей производства мазута, стеновых материалов, инвестиций в производственную сферу, производства мяса и мясопродуктов в агропромышленном комплексе, производства хлеба и хлебобулочных изделий в агропромышленном комплексе, а также производства скота и птицы на убой в сельском хозяйстве. Соответственно для переменных  $X_5, X_7, X_{10}, X_{11}, X_{13}, X_{15}$  количество ошибок минимально.

В результате выполнения процедур обработки данных выявляются те показатели  $X_i$ , которые влияют на рост  $Y$  (т.е. определяют значение “1”); Таким образом, формируется *совокупность факторов*, определяющих рост производства.

Далее производится анализ и исследование полученных моделей производства, их количественных и качественных характеристик, уточнение параметров моделей, выбор моделей, наиболее адекватных исследуемому объекту. На данном этапе используются средства нейросимулятора Neuro Pro 0.25 [1,2].

Результаты нейросетевых расчетов позволяют уточнить параметры модели роста производства.

Исследование модели показало, что производство (показатель оборота организаций) будет устойчиво расти не менее, чем на 247 тыс. рублей в месяц при условии, что производство мазута будет увеличиваться не менее, чем на 1.8 тыс. тонн в месяц, производство стеновых материалов должно расти не менее, чем на 0.19 млн. штук условных кирпичей ежемесячно; рост производства хлеба и хлебобулочных изделий в агропромышленном комплексе (АПК) – не менее, чем на 0.3 тонны в месяц, производство скота и птицы на убой в сельском хозяйстве – не менее, чем на 15.2 тонны в месяц.

Таким образом, предлагаемая технология способствует повышению потенциала функции управления – прогнозирования производства за счет:

- определения значимых факторов роста производства;
- определения перспективных производств, “точек роста”;
- отслеживания структурных изменений в производственной сфере города.

Результаты применения технологии на реальных данных развития производства на территории муниципального образования “Городской округ “Ухта” в анализируемом периоде выявили параметры и факторы, определяющие рост производства, их взаимосвязь, количественные характеристики.

### ***Список литературы:***

1. *Белобородова, Н.А.* Методика и модели прогнозирования развития экономики муниципального образования “Город Ухта”/ УГТУ. Ухта, 2002. – 50 с.
2. *Белобородова, Н.А.* Модели прогнозирования развития экономики муниципального образования “Город Ухта” с использованием нейронных сетей: Материалы научно-технической конференции, 16-18 апреля 2001 г. / УГТУ. Ухта, 2002. – С. 176-180
3. *Щетинин В.Г., Костюнин А.В.* Принятие решений на нейронных сетях оптимальной сложности //Автоматизация и современные технологии. 1998. № 4. С. 38-43.

**Н. А. Белобородова к.э.н.**

Институт управления, информации и бизнеса  
кафедра “Информационные технологии”  
Россия, г. Ухта  
velbest@mail.ru

## **СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ**

В работе представлена методика автоматизации моделей прогнозирования производства. Предлагаемая технология расчетов на основе автоматизации операций генетического алгоритма позволяет прогнозировать оптимальные варианты развития производственных комплексов на территории промышленного региона РФ.

*Ключевые слова:* прогнозирование производства, оптимальный вариант роста производства, генетический алгоритм.

Данное исследование выполнено на примере города Ухты (Муниципальное образование (МО) “Городской округ “Ухта”, Республика Коми). Город Ухта является одним из промышленных центров республики, прогнозирование развития производства – одна из функций управления администрации города. Производственный потенциал города представлен, в основном, предприятиями нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, предприятиями и организациями, входящими в газотранспортную систему, а также, предприятиями строительного комплекса (стройиндустрия), предприятиями по производству электро-и-теплоэнергии, предприятиями агропромышленного комплекса, предприятиями по производству услуг (связь, геофизика, транспорт и т.д.).

Необходимость автоматизации процесса прогнозирования развития производства обусловлена сложностью расчетных операций генетического алгоритма, что снижает эффективность данного метода.

Для разработки программного обеспечения процесса прогнозирования производства (программный комплекс Pre Pro v.1.0.) использовалась среда Borland Delphi 7.0 (язык программирования – Object Pascal). Программные средства могут эксплуатироваться на ПЭВМ типа IBM PC на базе процессоров не ниже Pentium III, на компьютере с установленной на ней Win32-операционной системой (WinXP).

Подготовка исходных данных выполняется средствами MS Excel.

Механизм доступа к исходным данным формата MS Excel осуществляется на основе технологии OLE. Технология OLE (Object Link and Embedding) является стандартом Windows и обеспечивает связывание и встраивание объектов на основе технологии COM.

Механизм доступа к данным включает ряд сервисных функций:

- функция создания нового проекта для нового варианта прогнозной модели, “Создать” проект. Организует логическую единицу, где записываются исходные данные, осуществляется хранение промежуточных данных и результатов расчетов;

- функция импорта данных из Excel, “Импорт”, осуществляется на основе механизма OLE доступа к исходным данным;

- функция “Открыть” файл данных формата MS Excel в режиме импорта данных осуществляет передачу данных в программу;

• функция “Сохранить как”, функция сохранения проекта, обеспечивает сохранение данных проекта, вариантов прогнозной модели; для сохранения проекта необходимо задать маршрут доступа к файлу проекта и наименование файлу проекта.

*Результативная информация.* Результативная информация сохраняется в файле с расширением .gal, (<наименование>.gal). Результаты расчетов заносятся в структуры данных типа Record, из которых формируется структура данных (объект) типа TList, универсальный контейнер списков. TList позволяет создать набор из произвольного количества элементов и организовать индексный способ доступа к ним. Размер списков TList может динамически меняться в ходе работы программы, ограничен только размером доступной памяти. Сохранение данных типа TList в файл производится с помощью свойств объекта TFileStream.

*Функции обработки данных.* Обработка данных выполняется в два этапа: предобработка данных и операции генетического алгоритма. В результате предобработки данных определяются факторы роста производства на территории региона. С помощью операций генетического алгоритма рассчитывается оптимальный вариант развития производства.

Методика предобработки данных подробно описана в [1,3], включает последовательность следующих вычислительных операций:

- исчисление прироста показателя  $Y$  (показатель оборота организаций; показатель, характеризующий рост производства на территории промышленного региона, представлен в денежном выражении) за анализируемый период, определение пороговых значений показателя  $Y$ , преобразование абсолютных значений показателя  $Y$  к бинарному виду (квантование показателей, бинаризация) на основе расчетных пороговых значений;
- преобразование абсолютных значений каждого показателя  $X_i$  (характеризует производство по основным видам продукции, представлен в натуральном выражении) к бинарному виду (квантование, бинаризация) на основе рассчитанных пороговых значений; определение количества ошибок на классифицированной последовательности  $Y$  путем сравнения значений каждого  $X_i$  с данными  $Y$  за анализируемый период;
- определение предварительного списка факторов, определяющих рост производства путем выявления тех показателей, которые имеют наименьшее количество ошибок на классифицированной последовательности данных  $Y$  за анализируемый период.

Процесс разработки модели роста производства представлен на рисунках 1-2.

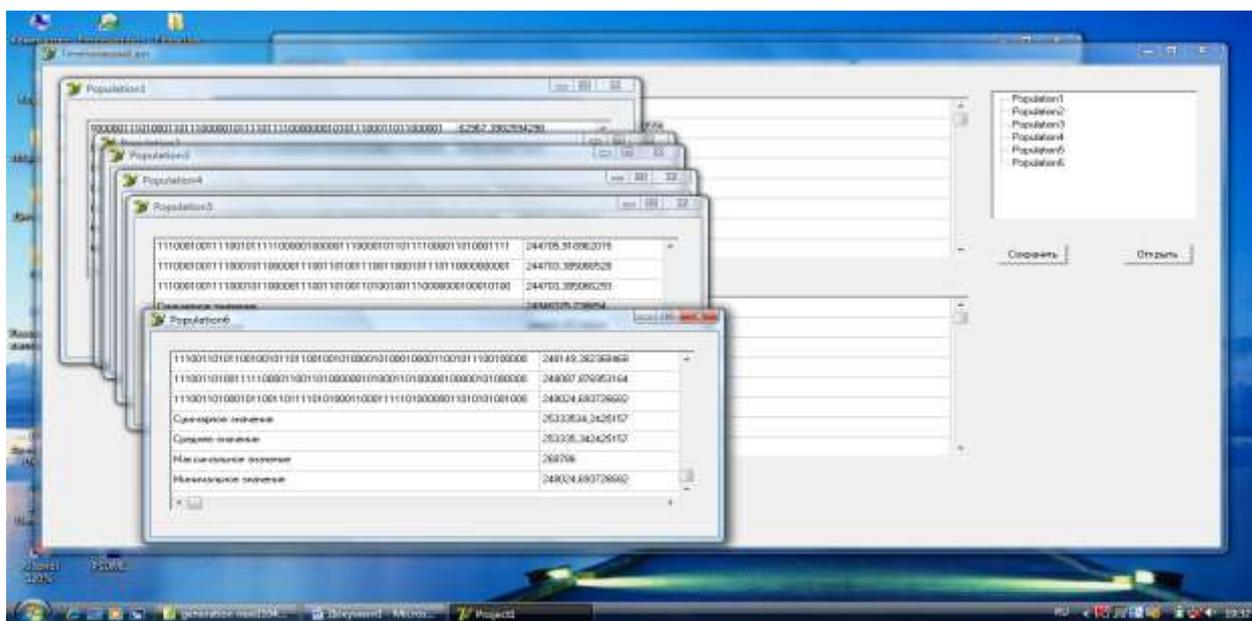
**Рис. 1 – Процедуры расчета прироста показателей  $Y$  и  $X_i$ , пороговых значений, квантования, формирования классифицированной последовательности**



блок также реализует мутацию в хромосомах потомков в популяции. Особи переводятся в разряд потомков.

3. Создание новой популяции особей, воспроизводство популяции. Формируем новую популяцию, применяя принцип элитизма. Сохраняем популяцию.

4. Обеспечивается визуализация полученных результатов расчета – характеристик популяции. Характеристики популяции улучшаются от поколения к поколению, достигая своего оптимального варианта. Таким образом, формируется оптимальный (прогнозный) вариант развития производства на территории промышленного региона, рисунок 4.



**Рис. 4 – Режим визуализации характеристик каждой из популяций (каждого варианта решения задачи, варианта прогнозной модели)**

Таким образом, предлагаемая технология на основе автоматизации операций генетического алгоритма, позволяет определить оптимальные (прогнозные) варианты роста производства на территории промышленного региона. Способствует повышению достоверности и объективности прогнозов социально-экономического развития территории МО в целом, обоснованности решений в выборе приоритетов развития.

#### **Список литературы:**

1. Белобородова, Н.А. Генетический алгоритм поиска оптимального варианта роста производства в экономике муниципального образования [Текст] / Н.А. Белобородова // Научный журнал. Информационно-управляющие системы. 2009. № 4 (41) С. 53-58.
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткие системы / Пер. с польск. – И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
3. Щетинин, В.Г. Анализ факторов экономического роста региона // Вопросы статистики. 1996. № 3. С. 40-46.

**А. П. Буйносов к.т.н., А. М. Кислицын**

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)  
кафедра «Электрическая тяга»  
Россия, г. Екатеринбург  
byinosov@mail.ru, alex\_teem@mail.ru

### **ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ**

В статье описана автоматическая измерительная система на основе использования контактных и бесконтактных методов измерения параметров колесных пар локомотива. Полученные технические решения положены в основу создания автоматизированной измерительной системы обмера колесных пар.

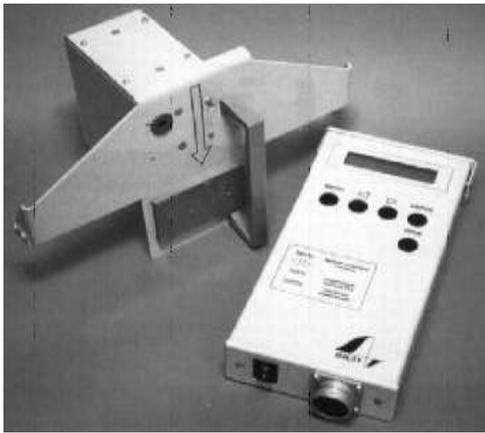
*Ключевые слова:* локомотив, колесная пара, бандаж, измерительная система.

Контроль за степенью износа бандажей колесных пар локомотивов в депо сети железных дорог производится механическими измерительными средствами – шаблонами, скобами и т. д. Для обеспечения оперативного высокоточного контроля элементов профиля поверхности катания колесных пар, подверженных износу в процессе эксплуатации, по конструкторской документации, авторами разработан прибор, предназначенный для измерения основных параметров бандажа [1, 2].

В состав прибора входят вычислитель и измерительная скоба, с установленными на ней измерительными датчиками. Вычислитель для обоих вариантов прибора выполнен на базе микропроцессора фирмы Intel 80C51, с помощью которого осуществляется измерение, обработка и индикация параметров непосредственно на месте проведения замеров. Все измеренные параметры хранятся в энергонезависимой памяти прибора в течение одной или нескольких рабочих смен, их можно оперативно просмотреть на блоке индикации. Объем оперативной памяти микропроцессорного блока 32 килобайта. Прибор имеет две модификаций ИД и КИП (1 – для измерения диаметра колесных пар, 2 – для производства замеров величины проката и толщины гребня), которые отличаются измерительными датчиками [3].

Первый вариант (рис. 1) создан для измерения диаметра колеса и использует два резистивных датчика [4]. Принцип измерения диаметра колесных пар основан на определении величины стрелы сегмента, образуемого при установке измерительной скобы на колесо.

Во втором варианте (рис. 2), созданном для измерения проката и толщины гребня, в измерительной скобе используются три резистивных датчика [5].



**Рис. 1 – Прибор для измерения диаметра колеса (ИД-03)**



**Рис. 2 – Прибор для измерения проката и толщины гребня**

Толщина гребня определяется прямым измерением на уровне 20 мм от вершины гребня (при номинальной высоте гребня 30 мм). Величина параметра крутизны вычисляется как разница между толщиной гребня на уровне 13 мм от круга катания и толщиной на уровне 2 мм от вершины гребня [6].

Конструкция прибора позволяет использовать его в условиях загрязненной окружающей среды и широком диапазоне температур (от  $-50$  до  $+45$  °С). В базе данных осуществляется прогнозирование износа колес и формирование протоколов [7].

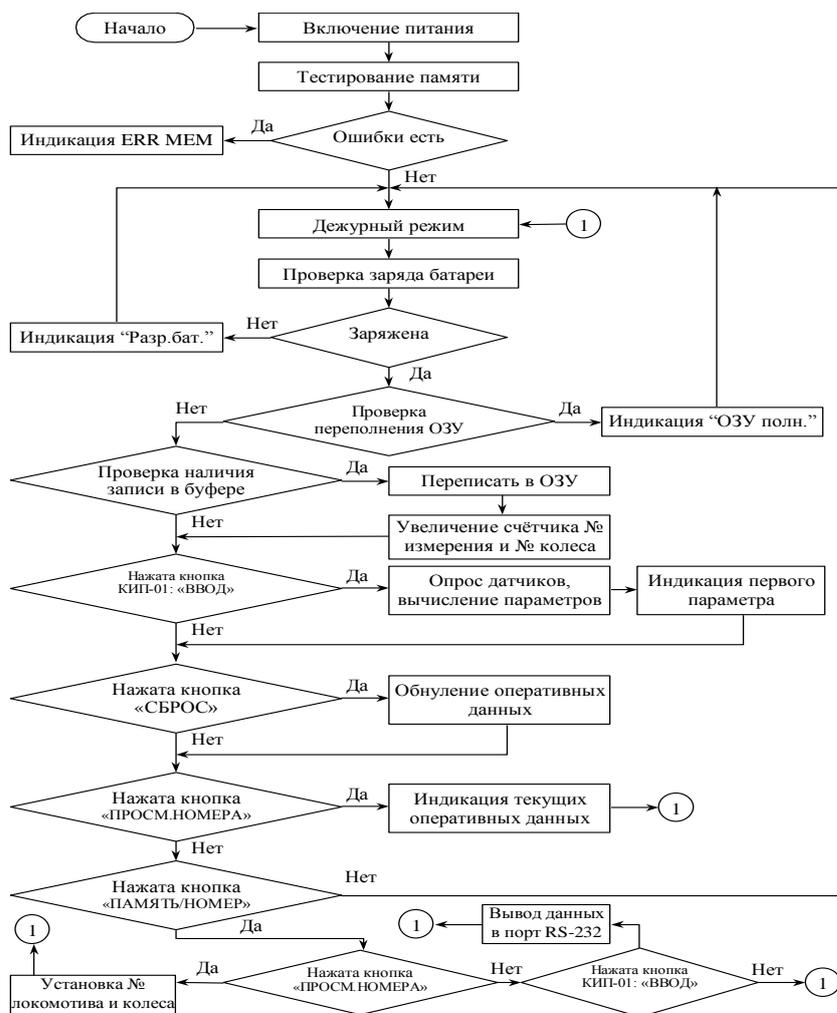
Разработанные электронные переносные средства контроля состояния поверхности катания колесных пар подвижного состава (рис. 1 и 2) – не только решение проблемы обеспечения безопасности движения, но и оперативная выдача рекомендации об индивидуальных объемах ремонта бандажей каждого локомотива с учетом ее фактического технического состояния.

Алгоритм измерения параметров бандажей колесных пар локомотивов показан на рис. 3.

Напряжение, снимаемое с датчиков, преобразуется восьмиразрядными АЦП, для каждого датчика отдельно, и передается по шине данных, в ответ на запрос центрального процессора [8].

Предусмотрена передача измеренных параметров в базу данных, установленную на компьютере, через стандартный последовательный порт. В базе данных осуществляется прогнозирование износа колес и формирование протоколов [9, 10].

Интерфейс с компьютером через последовательный порт в стандарте RS-232 осуществляется через оптическую развязку и стандартный кабель. Блок питания представляет собой аккумулятор или обычную батарею типа «Крона», расположенную в корпусе вычислителя. Включение питания производится выключателем, расположенным на корпусе вычислительного блока. В качестве функциональной клавиатуры использованы микрокнопки типа ПКН-159-3.



**Рис. 3 – Алгоритм измерения параметров**

Программное обеспечение позволяет хранить, систематизировать и обрабатывать данные, полученные в результате замеров геометрических параметров колесных пар подвижного состава. Данная разработка – это часть системы контроля колесных пар, созданной авторами в рамках отраслевой комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом, программа позволяет создавать базу данных электронных паспортов колесных пар индивидуально для каждого локомотива и в отличие от аналогов определять не только степень износа, но и прогнозировать изменение геометрических параметров колесных пар в зависимости от наработки, отслеживать динамику износа бандажей. Программы отображения и просмотра обеспечивают возможность представления на дисплее результаты измерения в виде таблиц замеров с привязкой к номеру и типу локомотива с указанием даты и времени измерения, а также представление в графическом виде формы гребня и поверхности катания в сравнении с эталоном [4, 11].

Информация в базу данных поступает как по результатам ручных (шаблонных) методов измерений, так и с автоматизированных систем обмера колес [7], а также с переносного прибора (КИП или ИД), относительная погрешность которого не превышает 2 %.

Программный комплекс: обрабатывает первичную локационную информацию для каждого бандажа колесной пары, поступающую из измерительных блоков приборов; систематизирует информационный поток; осуществляет вычисление геометрических параметров бандажей колесных пар на основе анализа первичной априорной информации;

формирует файла отчета о результатах вычислений отдельно по каждому бандажу колесной пары, локомотиву или парку тягового подвижного состава с фиксацией всех параметров; диагностирует собственную аппаратную часть контрольно-измерительных приборов [12, 13].

Самостоятельной программой массивы данных упорядочиваются и представляются в виде ведомости замеров бандажей колесных пар локомотивов с указанием серии локомотива, его номера, даты и времени обмера.

Копии экрана монитора пульта оператора для указанных режимов вычислений представлены на рис. 4 и 5.

Параметры колесных пар

Файл Локомотивы Данные Профили Анализ Установки Помощь

Просмотр и редактирование результатов замеров

Добавить Удалить Ввод из файла Ввод из ИДКИП Приказка Печать Закреть

Серия: ВВ00

Номер: 3435

Замеры: Дата: 14.01.2012 Пробег: 0

Редактированы данные

Секция	Колес. пар.	Прокат, мм	Прокат, мм	Гребень, мм	Гребень, мм	Диаметр, мм	Диаметр, мм	Бандаж, мм	Бандаж, мм	Крутизна, мм	Крутизна, мм
1	1	7.48	6.80	28.88	30.74	1050.23	1050.52	52.31	77.68		
1	2	3.57	2.49	30.02	28.25	1050.41	1050.65	59.83	49.58		
1	3	6.72	7.81	31.81	30.38	1050.18	1050.33	64.88	60.12		
1	4	0.42	0.82	31.97	30.61	1050.32	1050.50	37.85	38.59		
2	4	2.07	2.71	32.78	29.22	1050.94	1050.79	61.25	68.32		
2	3	6.03	4.93	31.67	30.95	1050.30	1050.41	71.17	75.27		
2	2	3.36	4.54	31.54	28.22	1050.61	1050.75	79.72	66.54		
2	1	6.84	0.78	32.14	29.55	1050.39	1050.83	46.71	75.93		
3	4	2.65	4.63	29.88	29.02	1050.47	1050.27	41.29	36.15		
3	3	4.61	3.14	29.05	31.78	1050.00	1050.57	69.34	79.61		
3	2	4.08	5.75	29.80	29.53	1050.25	1050.84	71.87	84.07		
3	1	3.01	1.78	30.16	28.33	1050.57	1050.21	58.33	65.05		

Рис. 4 – Окно «Замеры локомотива».

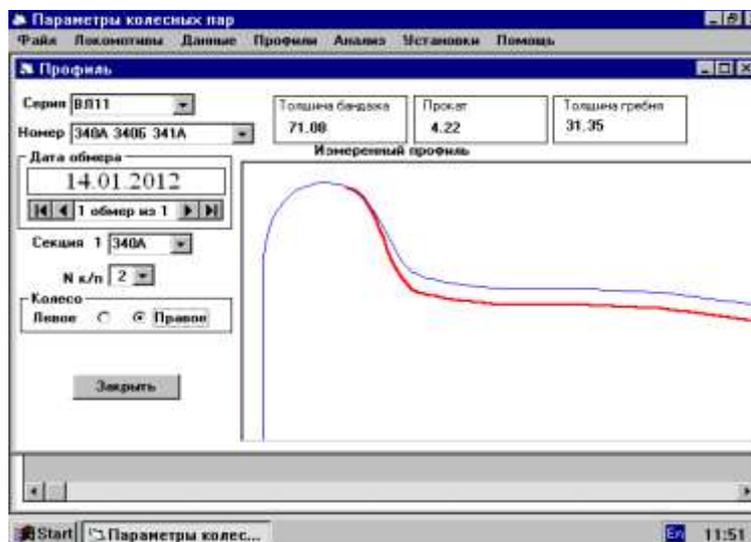
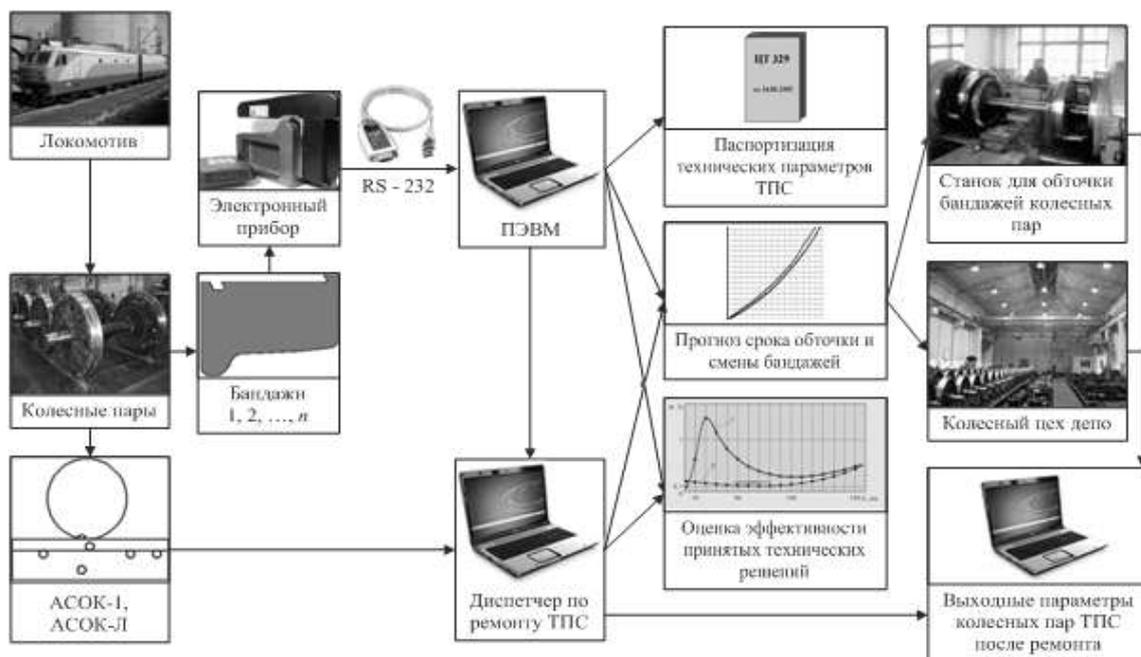


Рис. 5 – Окно «Параметры колесных пар».

Кроме этого, программный комплекс через устройство аварийного предупреждения о выходах контролируемых параметров колесных пар за пределы допуска подает соответствующие сигналы в подсистемы измерения, а также формирует базу текущих данных обследования колесных пар для последующего использования при обработке и прогнозировании их ресурса. Система функционирует на IBM-совместимых компьютерах под управлением систем Microsoft Windows 7 и более поздних версий. Программное обеспечение системы отвечает международным требованиям RFC1697, RFC1123 и

RFC1095 на сетевые клиент-серверы приложения и системы управления базами данных [14].

Информация о ремонте или обточке колесных пар принимается либо диспетчером по ремонту, либо эта информация автоматически через ПЭВМ с установленной программой АРМ «Депо» передается непосредственно на станок с ЧПУ или колесных цех (рис. 6) [15].



**Рис. 6 – Измерительная система для контроля параметров бандажей.**

Алгоритмы и рассмотренные технические предложения положены в основу создания автоматизированной системы обмера колесных пар.

### Список литературы:

1. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава / Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
2. *Балдин В.Л., Буйносов А.П.* Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. 2010. № 2. С. 113–125.
3. *Буйносов, А.П. Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27–28.
4. *Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С.* Бесконтактное измерение бандажей колесных пар // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34–36.
5. *Буйносов А.П.* Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 64–68.
6. *Горский А.В., Буйносов А.П., Медведев Н.Ф., Наговицын В.С.* Правильно измеряйте износ бандажей // Локомотив. 1991. № 12. С. 36–37.
7. *Буйносов А.П., Балдин В.Л.* Выбор технического решения для автоматизированного измерения параметров колесных пар при движении локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 5. С. 53–62.
8. *Горский А.В., Воробьев А.А., Буйносов А.П.* Система для контроля диаметров бандажей колесных пар // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении: Реф. сб./ ЦНИИТЭИтяжмаш. 1990. Серия 9. Вып. 9. С. 38–44.
9. *Буйносов А.П., Медведев Н.Ф.* Автоматизация измерения проката бандажей колесных пар электровозов // Железнодорожный транспорт. Сер. Локомотивы и локомотивное хозяйство. Ремонт локомотивов. ЭИ/ ЦНИИТЭИ МПС, 1991. Вып. 5. С. 1–9.
10. *Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8–10.
11. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1996. № 12. С. 17–19.
12. *Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П.* Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40–44.
13. *Буйносов А.П.* Как контролировать разность диаметров бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 3. С. 35.
14. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. – 44 с.
15. *Буйносов А.П.* Контроль бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 9. С. 36.

**А. П. Буйносов к.т.н., Д. Ю. Козаков**

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

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ИЗНОСА ГРЕБНЕЙ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ**

В статье представлены результаты выполненного анализа эксплуатационного износа гребней бандажей электровозов, а также теоретических и экспериментальных исследований по оценке влияния ширины колеи, толщины гребня колесных пар электровозов ВЛ11 и расстояния между бандажами колесных пар. Получены оптимальные величины значений контролируемых параметров колесных пар электровозов.

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

Оптимальные величины межбандажных расстояний, при которых технологический износ практически минимален или отсутствует, находятся в пределах 1437–1438 мм, а аналогичные толщины гребня – в пределах 25–30 мм.

За последнее время было предложено немало методов снижения интенсивности износа гребней бандажей [1, 2]. Они, несомненно, повышают ресурс бандажей, однако, по мнению ряда авторов, представляют собой устранение последствий износа [3]. Износ гребней бандажей колесных пар зависит от коэффициента трения и удельного давления в контакте [4].

Взаимодействие колесной пары с рельсовой колеей во многом определяется их геометрическими размерами. Геометрические параметры колесных пар за последние полвека практически не менялись [5, 6] нормы же содержания рельсовой колеи претерпели изменения. Основные нормы ширины рельсовой колеи в прямых и кривых участках пути, действовавшие в 1950 и 1970 гг., представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

### **Ширина рельсовой колеи в прямых и кривых участках пути**

Год	Ширина колеи, мм	Кривые $R$ , м				
		$R = 651$ и более	$R = 650-451$	$R = 450-351$	$R = 350$ и менее	
1950	$1524^{+6}_{-2}$	$1524^{+6}_{-2}$	$1530^{+6}_{-2}$	$1535^{+6}_{-2}$	$1540^{+6}_{-2}$	
1970	$1520^{+6}_{-2}$	$1520^{+6}_{-2}$	$1520^{+6}_{-2}$	$1520^{+6}_{-4}$	$R = 349-300$	$R = 299$ и менее
					$1530^{+6}_{-4}$	$1535^{+6}_{-4}$

Таким образом, в кривых участках пути радиусом более 350 м ширина рельсовой колеи после перехода на колею 1520 мм стала равна ширине в прямых. Это изменило процесс взаимодействия колесной пары с рельсами, поскольку при этом не было соответствующих изменений геометрических параметров колес. При этом имеет место постоянный контакт гребней колес с боковой поверхностью рельсов в кривых участках пути [7].

На железобетонных шпалах, изготовленных по ГОСТ 10629-88 и ТУ 5864-019-11337151-95, путь с рельсами Р65 может иметь ширину колеи  $1512_{-6}^{+4}$  мм с минимальной шириной 1506 мм [8].

Расстояние между гребнями колесной пары при номинальной толщине гребня и максимальном допуске на расстояние между внутренними гранями колес равно  $1443 + 2 \cdot 33 + 2 \cdot 1 = 1511$  мм [9].

При критических условиях, возможных в эксплуатации, максимальное расстояние между гребнями колесной пары больше минимальной ширины рельсовой колеи. Такое несоответствие размеров, возможно и есть одна из основных причин, вызывающих интенсивный износ гребней колес и бокового износа рельсов.

Величина износа характеризуется показателями его интенсивности. Интенсивностью износа гребня, нарастания проката или уменьшения толщины металла бандажа принято считать величину износа соответствующей поверхности в миллиметрах, отнесенную к пробегу на десять тысяч километров [10]. По этим трем показателям можно рассчитать величину ресурса колесных пар до обточки (первые два показателя) и до смены бандажей (третий показатель) соответственно.

Проведенные исследования по отработке технологии лубрикации позволили добиться значительного снижения коэффициента трения в контакте гребня с рельсом, который определяет абсолютные значения сил трения в контакте [11]. Однако снизить продолжительность контакта гребней с рельсами за счет лубрикации нельзя, вероятно, это можно сделать, изменив конструктивные параметры пути и ходовых частей. Подобные изменения конструкции должны иметь целью уменьшение величины и продолжительности проскальзывания гребня колеса по боковой грани рельса. Поскольку основным фактором, вызвавшим уменьшения величины зазоров между гребнями и рельсами, было сужение колеи, в том числе и ниже нормативов ПТЭ, то проблему следует рассматривать с точки зрения изменения факторов, определяющих зазоры между гребнями и рельсами.

Проблема снижения интенсивности износа гребня актуальна главным образом из-за того, что новый профиль при обточках по предельному износу гребня формируется обращением металла поверхности катания бандажа в стружку.

Исходные статистические данные – это результаты замеров 282 бандажей с толщинами гребней от 25 до 33 мм колесных пар грузовых электровозов ВЛ11 в ремонтном локомотивном депо Свердловск. Сформировано необходимое количество выборок – 32 для 78 градаций толщины гребня в среднем от 25,5 до 35,5 мм с учетом отклонений  $\pm 0,2$  мм.

При обработке полученного статистического материала ставилась цель: получить функциональную зависимость интенсивности износа гребней бандажей от межбандажного расстояния и толщины гребня.

Хотя в рассматриваемом депо применяется профиль бандажей ДМетИ, была зафиксирована толщина гребня более 30 мм. Это связано с тем, что бандажи новых колесных пар после формирования обтачивают по «старому» профилю, но не перетачивают на профиль ДМетИ до следующей обточки по лимитирующему элементу.

Расстояния между внутренними гранями гребней составили от 1437 до 1443 мм (с точностью  $\pm 0,5$  мм). Отсутствовали межбандажные расстояния, выходящие за допустимые значения: менее 1437 мм и более 1443 мм.

По книгам регистрации эксплуатационных показателей и форм ТУ-17 определяли для каждого значения пробега – от момента восстановления (обточка или смена) профиля бандажа до момента замера. По данным двух последовательных замеров износа до и после пробега рассчитаны величины интенсивности износа гребня и нарастания проката. Величины интенсивности износа гребня объединялись в выборки в зависимости от толщины гребня и для различных расстояний между гребнями бандажей. Некоторые

данные по износу гребня и нарастанию величины проката бандажей колесных пар отличаются от основной совокупности и средних значений.

Это можно объяснить различным значением величины перекоса колесных пар в раме тележки, несовершенством способа замера (низкая точность измерительного инструмента). При обработке полученного материала ставилась задача получения функциональной зависимости средней величины интенсивности износа гребней колесных пар при любой текущей толщине гребня от межбандажного расстояния  $r_i$  ( $i = 1-9$ ).

Зависимость интенсивности износа гребней бандажей от межбандажного расстояния  $r$  и толщины гребня  $r_{гр.}$  определяется с помощью множественного корреляционного анализа, который позволяет обработать полученный статистический материал и выявить основные закономерности с минимальной потерей информации [12].

Эти зависимости были аппроксимированы функциями вида:

$$и_{гр.} = a + b_1 \cdot r_{гр.i} + b_2 \cdot r_i, \quad (1)$$

где  $и_{гр.}$  – среднее значение интенсивности износа гребня;  $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  – коэффициенты аппроксимации;  $r_{гр.i}$  – толщина гребня;  $r_i$  – межбандажное расстояние. Их реализации будут тогда соответственно:  $r_{гр.i}$ ,  $r_i$ ,  $и_{гр.}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), если  $n$  – объем выборки.

По методу наименьших квадратов получаем подходящие оценки  $\tilde{a}, \tilde{b}_1, \tilde{b}_2$  для коэффициентов  $a, b_1, b_2$ , исходя из требования:

$$\sum_{i=1}^n [и_{гр.i} - (a + b_1 r_{гр.i} + b_2 r_i)]^2 = \min. \quad (2)$$

Приравняв к нулю частные производные по  $a, b_1, b_2$  получим систему линейных уравнений для определения  $\tilde{a}, \tilde{b}_1, \tilde{b}_2$

$$\begin{cases} n \cdot \tilde{a} + \tilde{b}_1 \sum_{i=1}^n r_{гр.i} + \tilde{b}_2 \sum_{i=1}^n r_i = \sum_{i=1}^n и_{гр.i} \\ \tilde{a} \sum_{i=1}^n r_{гр.i} + \tilde{b}_1 \sum_{i=1}^n r_{гр.i}^2 + \tilde{b}_2 \sum_{i=1}^n r_{гр.i} r_i = \sum_{i=1}^n r_{гр.i} и_{гр.i} \\ \tilde{a} \sum_{i=1}^n r_i + \tilde{b}_1 \sum_{i=1}^n r_{гр.i} r_i + \tilde{b}_2 \sum_{i=1}^n r_i^2 = \sum_{i=1}^n r_i и_{гр.i} \end{cases} \quad (3)$$

Преобразование этой системы уравнений с учетом обозначений

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (r_{ki} - \bar{r}_k) &= S(r_r^2), k=1,2, \\ \sum_{i=1}^n (r_{ki} - \bar{r}_k)(и_{гр.i} - \bar{и}_{гр.}) &= S(r_k, и_{гр.}), \\ \sum_{i=1}^n (r_{гр.i} - \bar{r}_{гр.})(r_i - \bar{r}) &= S(r_{гр.}, r), \\ \sum_{i=1}^n (и_{гр.i} - \bar{и}_{гр.})^2 &= S(и_{гр.}^2) \end{aligned} \quad (4)$$

дает оценки

$$\tilde{b}_1 = \frac{S(r^2)S(r_{гр.} и_{гр.}) - S(r_{гр.} r)S(r_{гр.} и_{гр.})}{S(r_{гр.}^2)S(r_{гр.}^2) - [S(r_{гр.} r)]^2}, \quad (5)$$

$$\tilde{b}_2 = \frac{S(r_{гр.}^2)S(rи_{гр.}) - S(r_{гр.}r)S(r_{гр.и_{гр.}})}{S(r_{гр.}^2)S(r^2) - [S(r_{гр.}r)]^2},$$

$$\tilde{a} = \bar{и}_{гр.} - \tilde{b}_1 \bar{r}_{гр.} - \tilde{b}_2 \bar{r}.$$

Коэффициенты  $\tilde{b}_1$  и  $\tilde{b}_2$  являются частными коэффициентами регрессии. Величина  $\tilde{b}_1$  показывает зависимость значений  $и_{гр.}$  от значений  $r_{гр.}$  при постоянном  $r$ .

Уравнение плоскости регрессии получают путем подстановки оценок:

$$\tilde{a} = \bar{и}_{гр.} + \tilde{b}_1 r_{гр.} + \tilde{b}_2 r. \quad (6)$$

Условие имеет смысл лишь в определенной области изменения значений  $r_{гр.}$  и  $r$ . В общем случае можно определить остаточную дисперсию, т.е. дисперсию  $и_{гр.i}$  относительно плоскости регрессии в виде:

$$S_0^2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=1}^n (и_{гр.i} - \tilde{и}_{гр.i})^2. \quad (7)$$

Здесь  $k = 3$  – число наблюдаемых в одном элементе признаков. При расчете  $S_0^2$  используется соотношение:

$$\sum_{i=1}^n (и_{гр.i} - \tilde{и}_{гр.i})^2 = S(и_{гр.}^2) - \tilde{b}_1 S(r_{гр.и_{гр.}}) - \tilde{b}_2 S(rи_{гр.}). \quad (8)$$

Уравнения множественной регрессии для интенсивности износа гребней от рассматриваемых контролируемых параметров строились по принципу последовательных включений [13]: сначала определяли зависимость от одного контролируемого параметра, затем – от двух. Степень существенности определяли долей дисперсии контролируемого параметра, скомпенсированной введенной независимой переменной. Если введенному на следующем шаге в уравнение контролируемому параметру соответствует отличная от нуля скомпенсированная часть дисперсии интенсивности износа гребней бандажей, то значит, этот контролируемый параметр улучшает зависимость и следует учитывать его влияние на изменение интенсивности износа гребней бандажей колесных пар электровозов [14].

В уравнении числитель характеризует долю дисперсии интенсивности износа гребней, обусловленной очередным контролируемым параметром, включенным в зависимость на первом шаге, знаменатель – на втором шаге. Такая проверка позволяет выяснить, существенно ли улучшается зависимость, описывающая изменение интенсивности износа гребней, после включения в уравнение регрессии рассматриваемого контролируемого параметра в предположении, что он введен в уравнение последним.

При этом контролируемый параметр, вносящий незначительный вклад в эту зависимость, следовало исключить из числа независимых переменных множественного уравнения регрессии [4]. В качестве первого независимого аргумента использован контролируемый параметр  $r_{гр.i}$ , наиболее сильно коррелированный с рассматриваемой интенсивностью износа гребней бандажей колесной пары. Выбор наилучших (с точки зрения минимальной остаточной дисперсии) уравнений регрессии методом включения для рассматриваемых контролируемых параметров по результатам замеров 282 бандажей рассчитывался на ПЭВМ. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Параметры уравнений регрессии при реализации метода включения**

Количество исходных данных, $n$	Исходное уравнение	Коэффициенты регрессии			Коэффициент корреляции $R$	Остаточная дисперсия, $S_0^2$ , (мм / $10^4$ км) <sup>2</sup>
		$a$ , мм / $10^4$ км	$b_1$ , $1/10^4$ км	$b_2$ , $1/10^4$ км		
282	$i_{гр.}(r_{гр.})$	-3,694	0,151	–	0,738	0,209
	$i_{гр.}(r)$	-107,833	–	0,0754	0,541	0,250
	$i_{гр.}(r_{гр.}; r)$	-103,820	0,155	0,070	0,934	0,106

Наилучшие уравнения регрессии получены в случае, когда в качестве независимых переменных для интенсивности износа гребней бандажей колесной пары электровозов взяты величины толщины гребня и межбандажного расстояния.

В результате выполненного статистического анализа можно утверждать, что оптимальные величины межбандажных расстояний, при которых технологический износ практически минимален или отсутствует, находятся в пределах 1437–1438 мм, а аналогичные толщины гребня – в пределах 25–30 мм. Следует отметить, что верхний предел оптимальной с точки зрения минимума технологического износа при толщине гребня 30 мм, соответствует чертежной толщине гребня профиля ДМетИ (типа ЛР).

### Список литературы:

1. Горский А.В., Буйносов А.П. Анализ износа бандажей // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 46–47.
2. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава / Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
3. Буйносов А.П. Влияние твердости колеса и рельса на их износ / Локомотив. 1995. № 3. С. 31–32.
4. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения / Научное издание. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
5. Горский А.В., Буйносов А.П. Повысить ресурс бандажей (Опыт Свердловской дороги) // Локомотив. 1989. № 11. С. 10–11.
6. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Автореф. дис. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 44 с.
7. Буйносов А.П., Кузьмин К.А. Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25–26.
8. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов / Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 284 с.
9. Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85–91.
10. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266–274.
11. Буйносов А.П., Худояров Д.Л. Влияние упрочнения на ресурс бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 63–68.
12. Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П. Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8–10.
13. Буйносов А.П. Снизить интенсивность износа гребней // Локомотив. 1995. № 6. С. 31–32.
14. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Результаты применения триботехнического состава для уменьшения износа гребней колесных пар электроподвижного состава // Вестник ВЭЛНИИ. 2011. № 2(62). С. 114–125.

**А. П. Буйносов к.т.н., Я. А. Мишин**

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)  
кафедра «Электрическая тяга»  
Россия, г. Екатеринбург  
byinosov@mail.ru, yaroslav\_mishin@mail

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ РЕДУКТОРОВ ЭЛЕКТРОВЗОВ**

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по оценке влияния применения триботехнического состава НИОД на повышение надежности тяговых редукторов электровозов в период эксплуатации. Изложены требования и технологические нормы при обработке тягового редуктора составом НИОД. Выполнен анализ долговечности большого зубчатого колеса, малой шестерни и подшипников тяговой передачи электровозов на Свердловской железной дороге.

*Ключевые слова:* электровоз, тяговая передача, редуктор, надежность, долговечность.

Основная доля затрат связанных с эксплуатацией локомотивов приходится на их обслуживание и ремонт [1]. Наиболее часто ремонтируемой деталью на электровозе является тяговая передача. При работе электровозов на поверхностях трения шестерен и зубчатого колеса тяговой передачи происходят физико-химические изменения. Они являются результатом пластического деформирования, повышения температуры слоев металла, прилегающих к зоне контакта. Эти физико-химические явления, заключающиеся в образовании новых структур, в свою очередь изменяют вид взаимодействия и характер разрушения поверхностей. Материал, претерпевший многократную пластическую деформацию и неоднократный наклеп исчерпывает способность пластически деформироваться и происходит «чешуйчатое» отделение металла детали [2].

При взаимодействии твердых тел в тяговой передаче (зубчатого колеса и шестерни) поверхностная энергия может выделяться в виде теплоты, или затрачиваться на подстройку в кристаллической решетке одного кристалла к другому. Под действием этой энергии в процессе эксплуатации происходит непрерывное изменение конфигурации и структуры поверхностного слоя в значительно большей степени, чем по всему объему тела. Этот слой формируется в результате разнообразных механических процессов, которые не только придают необходимую форму поверхности, но и изменяют физико-химические и прочностные свойства материала [3].

Поверхностный слой твердого тела имеет избыточную энергию, вследствие чего он обладает повышенной активностью. Внутри твердого тела каждый атом кристалла окружен другими атомами и связан с ними прочно по всем направлениям, а у атомов, расположенных на поверхности, с внешней стороны нет «соседей» в виде таких же атомов [4]. В связи с этим у атомов поверхностного слоя остаются свободными связи, наличие которых создает вблизи поверхности атомное (молекулярное) притяжение. Чтобы при таком несимметричном силовом поле атом кристалла находился в равновесии, необходимо иное, чем внутри кристалла, расположение атомов самого верхнего слоя. Поэтому физико-механические параметры поверхностного слоя, его структура и напряженное состояние, как правило, сильно отличаются от свойств всего объема материала [5].

Воздействуя на перечисленные процессы, можно многократно повысить прочность поверхностного слоя, износостойкость, а следовательно – долговечность. Существующие методы для повышения износостойкости обеспечивают надежную (безотказную) работу

тяговых редукторов электровозов только при работе в смазке. При отсутствии смазки (например, при повреждении кожуха зубчатой передачи) выходят из строя как зубчатая передача (малая шестерня и большое зубчатое колесо), так и подшипники (опорные подшипники и подшипники малой шестерни). Можно ли этого избежать? Как сделать, чтобы в случае потери смазки из кожуха зубчатой передачи, локомотив нормально работал бы до следующего планового захода в депо?

Одним из эффективных методов, разработанных в последнее время и реализуемых с помощью несложного оборудования, является обработка трущихся поверхностей триботехническим составом НИОД («нанесение ионного покрытия на детали» или «наружное ионное обменное действие»). В основе метода лежит процесс направленной диффузии, давший название применяемому при его реализации веществу – ТС НИОД. Это твердое вещество, параметры кристаллической решетки которого очень близки к аналогичным параметрам одной из фазовых составляющих стали, что позволяет ему, при определенных условиях, диффундировать в глубину поверхностного слоя, вызывая эффект «прирабочной пасты» [6].

При обработке ТС НИОД: обеспечивается высокая адгезия покрытия к подложке за счет хорошей очистки и высокой энергии конденсирующихся частиц (способствующей необходимой активации поверхностного слоя); осуществляется «залечивание» поверхностных дефектов (микротрещин, зон предразрушения и т. п.), неизбежно образующихся при механической обработке; имеется возможность варьирования состава и свойств покрытий в широчайших пределах; обеспечивается повышение износостойкости, а самое главное – повышение надежности трущихся сопряжений подшипников и зубчатой передачи [7].

В микрообъеме пятна контакта зубчатой пары возникает давление до 100 МПа. Попадая в зону контакта, находящиеся как в носителе в смазке мелкодисперсионные частицы ТС НИОД воспринимают энергию этого давления, активируются и начинают диффундировать в кристаллическую решетку металла. Одновременно происходит процесс микрошлифования поверхностей соприкасающихся зубьев кристаллами ТС НИОД, приводящий к существенному уменьшению шероховатости их поверхности. Так протекает первая фаза процесса, продолжающаяся до насыщения поверхностного слоя. По ее завершении остаток ТС НИОД удаляют из редуктора и начинается вторая фаза процесса. Внедрившийся в поверхность стали ТС НИОД под воздействием контактных нагрузок диффундирует в поверхностные слои подшипников и зубчатой передачи [8].

Характерной особенностью процесса является его способность к саморегулированию, обусловленная тем, что он происходит одновременно в обеих контактирующих поверхностях под воздействием одной и той же нагрузки, при этом диффузия ТС НИОД в более твердую поверхность происходит медленнее. Одинаковая микротвердость контактирующих поверхностей в сочетании с низкой шероховатостью поверхностей приводит к возникновению уникального антифрикционного эффекта [9].

На стационарной машине трения СМТ-1 испытанию подвергались пары трения: 1 – не обработанная ТС НИОД со смазкой ТАД-17И, 2 – обработанная ТС НИОД со смазкой ТАД-17И, 3 – пара трения, обработанная ТС НИОД без смазки. Нагрузка варьировалась от минимальной рабочей до запредельной (от 35 до 500 кгс/мм<sup>2</sup>). Твердость измерялась на твердомере Роквелла, микротвердомере ПМТ-3. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе [10].

Во всем диапазоне рабочих нагрузок (от 45 до 300 кгс/мм<sup>2</sup>) отмечено позитивное влияние ТС НИОД как на время приработки пар трения и уменьшение температуры образцов и моментов трения, так и на изменение микроструктуры поверхностного слоя и триботехнические качества поверхности [11]. Обработанные ТС НИОД поверхности эффективно удерживают смазку в зоне трения. В начальный момент ТС НИОД адсорбируется на твердой поверхности в виде пленки, представляющий собой мономолекулярный или близкий к нему слой. Способность к саморегулированию

открывает широкие перспективы в применении ТС НИОД, его использование позволяет эксплуатировать и далее уже изношенные зубчатые передачи. Высокие антифрикционные свойства образующихся поверхностей позволяют снизить энергозатраты, а в отдельных случаях эксплуатировать тяговую передачу без смазки [12].

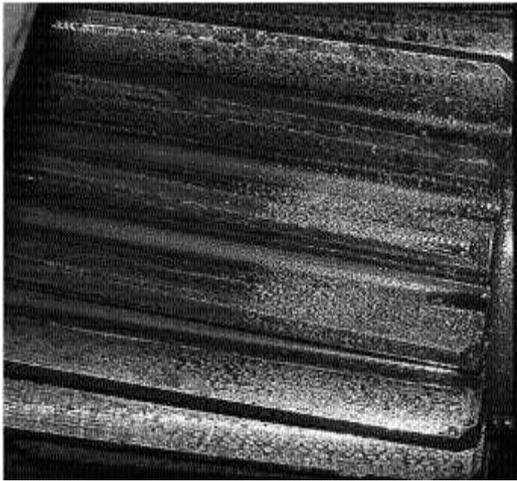
В локомотивном депо Свердловск-Пассажи́рский была произведена обработка составом НИОД 300 редукторов 85 электровозов серии ЧС2, что составляет около 50 % парка. При обработке редукторов с общей системой смазки одновременно происходила обработка двух опорных подшипников, двух подшипников малой шестерни, зубьев малой шестерни и большого зубчатого колеса. Экспериментальные исследования работы тяговых редукторов электровозов ЧС2 проводились как с обработанными, так и с необработанными агрегатами. После обработки наблюдалось уменьшение коэффициента трения в узлах и увеличение ресурса обрабатываемых узлов.

Данные, полученные при помощи диагностической Австрийской аппаратуры фирмы Брюль и Кьер, установленной в локомотивном депо Свердловск-Пассажи́рский для диагностики колесно-редукторного узла электровозов, показывают, что слабые и средние дефекты таких неисправностей как раковины, сколы, износ, на телах качения, внутренних и наружных кольцах устраняются полностью. На электровозах ЧС2 №№ 213, 610, 815 после обработки ТС НИОД при повторной диагностике указанных выше дефектов не наблюдалось. На электровозах ЧС2 №№ 209, 273 слабые и средние дефекты (раковины на внутреннем кольце, износ тел качения и сепаратора, раковины, сколы на телах качения) устранились полностью. Уровень шума колесно-редукторных узлов снизился и после пробега 200 тыс. км не превышает максимально допустимых значений. Необходимо отметить, что на сегодняшний день вышло из стоя 57 тяговых редукторов (8,3 % от находящихся в эксплуатации), в том числе 7 из них подвергались обработке ТС НИОД (из 7 редукторов 6 заведомо были обработаны с наличием значительных дефектов).

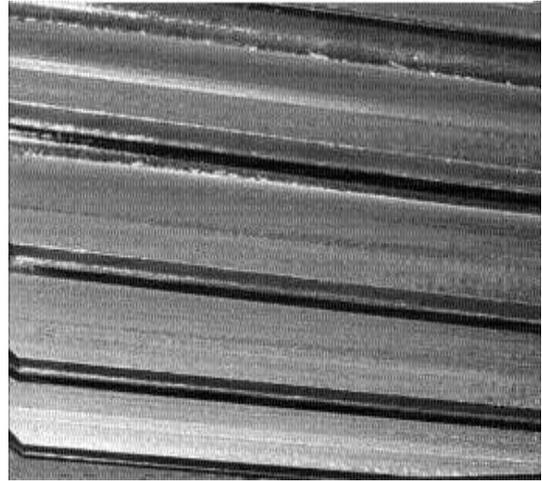
На основе экспериментальных данных можно утверждать, что при малых и средних дефектах обработка ТС НИОД уменьшает их количество и величину, в то же время отдельные большие дефекты также устраняются [13].

По опыту работы Свердловской железной дороги минимальное увеличение ресурса работы агрегатов составляет не менее 30 %. Необходимо также отметить, что для ликвидации дефектов которые могли бы возникнуть в случае не обработки редукторов ТС НИОД потребовалось бы вывести электровозы из эксплуатации на одну – две недели с постановкой локомотива на неплановый вид ремонта, тогда как в настоящее время это полностью исключено. Применение обработки узлов электровозов ТС НИОД можно считать одним из перспективных и экономичных способов увеличения ресурса техники, повышения их надежности. Несомненно, при обработке этим составом всех тяговых редукторов электровозов на Свердловской железной дороге будет получен большой экономический эффект, что, конечно же, приведет к сокращению эксплуатационных расходов [14].

В сентябре 2011 года на магнитогорском металлургическом комбинате был обработан ТС НИОД стационарный редуктор с одной стороны. Вторая сторона для сравнения результатов не обрабатывалась. До обработки состояние редукторов было одинаковым. В октябре 2011 г. были зафиксированы изменения. Сравнение состояния зубчатой передачи, обработанной составом и работающей в штатных условиях, приведено на рис. 1 и 2.



**Рис. 1 – Состояние зубчатого колеса редуктора, до обработки ТС НИОД**



**Рис. 2 – Состояние зубчатого колеса редуктора, после обработки ТС НИОД**

Таким образом, на основе выполненных экспериментов можно выделить основные моменты:

1) ТС НИОД можно применять с высокой эффективностью для увеличения ресурса пар трения, имеющихся в тяговом приводе электровозов;

2) поскольку состав НИОД контактирует с поверхностями трения, будучи разведенным в масле или ином смазочном материале, его можно ввести в редуктор при выполнении текущего ремонта электровоза при смене масла;

3) за счет изменения кристаллических решеток металла поверхностных слоев шестерни и зубчатого колеса произойдет наращивание рабочих поверхностей, что при выполнении требования на соблюдение временных ограничений, приведенного ниже, позволит добиться оптимального рабочего профиля зуба при сохранении твердости наружного слоя на прежнем уровне или некоторого ее увеличения.

Также имеется ряд требований и технологических норм, которые должны выполняться при обработке тягового редуктора составом НИОД:

1) шестерня и зубчатое колесо не должны иметь развитых усталостных трещин, выломанных зубьев, значительных сколов по краям или у основания. Определение состояния тяговой передачи перед обработкой осуществляется с помощью методов вибродиагностики в условиях локомотивного депо;

2) для предотвращения заклинивания редуктора после введения состава НИОД в результате чрезмерного увеличения габаритных размеров зубьев были введены следующие временные ограничения на проведение технологических операций: после заливки смазки с составом НИОД произвести прокрутку редуктора в течение не менее 5 минут; время между заливкой смазки с ТС НИОД и началом эксплуатации локомотива не должно превышать 4 часов; слив смазки с ТС НИОД и ее замена на штатное редукторное масло производится на втором ТО-2, пробег локомотива между заливкой смазки с НИОД и вторым ТО-2 не должен превышать 1500–2000 км.

### Список литературы:

1. Горский А.В., Буйносов А.П. Анализ износа бандажей // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 46–47.
2. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава / Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2010. 244 с.
3. Буйносов А.П. Влияние твердости колеса и рельса на их износ / Локомотив. 1995. № 3. С. 31–32.
4. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения / Научное издание. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
5. Горский А.В., Буйносов А.П. Повысить ресурс бандажей (Опыт Свердловской дороги) // Локомотив. 1989. № 11. С. 10–11.
6. Буйносов А.П., Кузьмин К.А. Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25–26.
7. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266–274.
8. Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85–91.
9. Буйносов А.П., Худояров Д.Л. Влияние упрочнения на ресурс бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 63–68.
10. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Автореф. дис. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 44 с.
11. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов / Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 284 с.
12. Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П. Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8–10.
13. Буйносов А.П. Снизить интенсивность износа гребней // Локомотив. 1995. № 6. С. 31–32.
14. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Результаты применения триботехнического состава для уменьшения износа гребней колесных пар электроподвижного состава // Вестник ВЭЛНИИ. 2011. № 2(62). С. 114–125.

**К. И. Бушмелева д.т.н., А. Н. Васильчук**

Сургутский государственный университет (СурГУ)  
факультет информационных технологий  
кафедра «Автоматизированных систем обработки информации и управления»  
Россия, г. Сургут  
bkiya@yandex.ru, alex.hack89@mail.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В статье рассмотрена актуальность и практическая значимость применения онтологического подхода в геоинформационных системах. Приведены основные теоретические понятия. Представлена информация о преимуществах использования онтологического подхода.

*Ключевые слова:* геоинформационные системы, онтология, семантика, нефтегазовая отрасль.

### **Введение**

Добыча углеводородного сырья всегда была приоритетным направлением экономики нашей страны. Имея огромные запасы нефти и газа, мы можем не только покрывать потребности внутреннего рынка, но и обеспечивать в достаточной мере данными полезными ископаемыми рынок внешний, извлекая при этом немалые прибыли. Не секрет, что бюджет всего государства в очень большой мере зависит от состояния дел в нефтегазовой отрасли, а эффективность функционирования оной напрямую влияет на эффективность всей экономики в целом.

В наше время данный показатель напрямую зависит от степени информатизации предприятий и организаций отрасли. Не случайно нефтяные и газовые компании повсеместно внедряют в своих структурах СУБД, ERP, ГИС и т.п.

При этом ГИС (географические информационные системы) занимают довольно существенную (если не главную) роль в информационном обеспечении предприятий отрасли.

Основными направлениями применения ГИС в нефтегазовом комплексе являются [1]: геология, разведка и управление жизненным циклом месторождений; кадастр, оценка и управление лицензиями, землеотводами, экологическими платежами; мониторинг и пространственный анализ динамики добычи для максимизации нефтеотдачи; логистика, планирование перевозок и управление парком транспортных средств; маркетинг, конкурентный анализ зон сбыта и оптимизация системы распределения; оценка внутренней конкуренции в холдинговых компаниях, планирование развития; интеграция аэрокосмических съемок и GPS-измерений в бизнес-процессы предприятия; чрезвычайные ситуации: оперативное управление и оценка экологического ущерба; диагностика и мониторинг технического состояния трубопроводов.

В настоящее время использование ГИС в Web является одним из наиболее активно и быстро развивающихся направлений информационных технологий. Web – идеальная платформа для ГИС. Данная технология позволяет размещать ГИС-приложения на сервере и использовать стандартный Web-браузер в качестве интерфейса для взаимодействия с пользователем. Прелесть такого подхода в том, что на компьютеры пользователей не нужно устанавливать никакого программного обеспечения ГИС

(достаточно операционной системы и браузера), а доступ к ней возможен из любой точки, где есть Интернет (интранет).

Преимущества использования ГИС в Web очевидны: значительно упрощается администрирование системы в целом (все обновления делаются на сервере, и администраторам не нужно ходить или ездить по отделам, филиалам и т.п.), расширяется круг пользователей (главным образом за счет менеджеров и других специалистов, не являющихся профессиональными пользователями ГИС), руководство компании получает легкое в использовании средство наглядного картографического представления текущей ситуации и результатов деятельности предприятий прямо на своем компьютере.

Современные геоинформационные системы используют геореляционную модель данных. При использовании Web-ориентированной ГИС возникает необходимость в новых способах организации данных, что является актуальной задачей.

### **Основные понятия**

*Семантика* – свойство, определяющее смысл информации как соответствие сигнала реальному миру. Семантика может рассматриваться как некоторое соглашение, известное потребителю информации, о том, что означает каждый сигнал (так называемое правило интерпретации).

*Синтаксис* – свойство, определяющее способ представления информации на носителе (в сигнале). К характеристикам синтаксического свойства относят такие параметры представления информации, как тип кода (символьный, числовой), вид данных (текстовые, изображения, аудио, видео), характеристики данных заданного типа и вида применительно к стандартным устройствам ввода-вывода-визуализации и т.д.

*Прагматика* – свойство, определяющее влияние информации на поведение потребителя. Различные по синтаксису сигналы могут иметь одинаковую семантику.

*Содержательность* – семантическая емкость информации.

*Онтология* – это попытка всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из иерархической структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила (теоремы, ограничения), принятые в этой области. Онтологии применяются в искусственном интеллекте, Semantic Web и технологии программирования как форма представления знаний о реальном мире или его части. Типы онтологий в точных науках:

- *мета-онтологии* - описывают наиболее общие понятия, которые не зависят от предметных областей;

- *онтология предметной области* - формальное описание предметной области, обычно применяется для того, чтобы уточнить понятия определённые в мета-онтологии (если используется) и/или определить общую терминологическую базу предметной области;

- *онтология конкретной задачи* - онтология, определяющая общую терминологическую базу задачи, проблемы;

- *сетевые онтологии* часто используют для описания конечных результатов действий, выполняемых объектами предметной области или задачи.

### **Элементы онтологии**

В большинстве своем, онтологии строятся независимо от языка написания. Но в общем виде любую онтологию можно представить следующей совокупностью:

$$O = \{C, R, A\},$$

где  $O$  – онтология,  $C$  – совокупность классов (категорий, понятий) этой онтологии,  $R$  – совокупность отношений между классами,  $A$  – набор аксиом – правил, которые связывают классы и отношения.

*Экземпляры (индивиды)* являются основными компонентами нижнего уровня онтологии и могут быть как физическими объектами, так и абстрактными. Онтология группирует такие объекты в *классы (понятия)* – абстрактные группы объектов, объединенные на основании наличия общих свойств. Они могут включать в себя экземпляры, другие классы, а так же их сочетания. Классы являются общими категориями, которые могут быть упорядочены иерархически.

*Атрибуты (свойства)* характеризуют объекты онтологии. Они используются для хранения информации об объекте. Каждый атрибут в обязательном порядке имеет уникальное имя (в пределах одного объекта), а также связанное с ним значение – количественную или качественную характеристику атрибута.

Важная роль атрибутов заключается в том, чтобы определять *отношения (зависимости)* между объектами онтологии. Обычно отношением является атрибут, значением которого является другой объект. Важную роль имеет понятие «отношение наследования», которое определяет один объект, как наследник другого. При наследовании сохраняются свойства наследуемого объекта, а так же добавляются новые качества и характеристики, не присущие такому объекту. Отдельным видом отношений являются функции, которые через  $n$  элементов однозначно определяют элемент  $n+1$ . Отношения связывают воедино классы и описывают их. Самым распространенным типом отношений во всех онтологиях является отношение категоризации, т. е. отнесение к определенной категории (так же называется таксономическим, родовым отношением).

Понятия и отношения связываются между собой аксиомами. На основе аксиом выводятся другие утверждения в онтологии. Аксиомы позволяют выразить ту информацию, которая не может быть отражена в онтологии посредством построения иерархии понятий и установки различных отношений между понятиями. Они могут снабжать исследователей информацией о правилах, позволяющих автоматически добавлять информацию.

### **Языки описания онтологий**

Ключевым моментом в проектировании онтологии является выбор соответствующего языка спецификации онтологий (Ontology specification language). Цель таких языков – дать возможность указывать дополнительную машинно-интерпретируемую семантику ресурсов, сделать машинное представление данных более похожим на положение вещей в реальном мире, существенно повысить выразительные возможности концептуального моделирования слабо структурированных Web-данных.

*Язык RDF.* В рамках проекта семантической интерпретации информационных ресурсов Интернет (Semantic Web) был предложен стандарт описания метаданных о документе Resource Description Framework, использующий XML-синтаксис. RDF использует базовую модель данных «объект – атрибут – значение» и способен сыграть роль универсального языка описания семантики ресурсов и взаимосвязей между ними. Ресурсы описываются в виде ориентированного размеченного графа – каждый ресурс может иметь свойства, которые в свою очередь также могут быть ресурсами или их коллекциями. Все словари RDF используют базовую структуру, описывающую классы ресурсов и типы связей между ними. Это позволяет использовать разнородные децентрализованные словари, созданные для машинной обработки по разным принципам и методам.

*DAML+OIL* – семантический язык разметки Web-ресурсов, расширяющий стандарты RDF и RDF Schema за счет более полных примитивов моделирования. Последняя версия DAML+OIL обеспечивает богатый набор конструкций для создания онтологии и разметки информации таким образом, чтобы их могла читать и понимать машина.

*OWL (Web Ontology Language)* – язык представления онтологий, расширяющий возможности XML, RDF, RDF Schema и DAML+OIL. Этот проект предусматривает создание мощного механизма семантического анализа. Онтологии OWL – это последовательности аксиом и фактов, а также ссылок на другие онтологии. Они содержат компоненту для записи авторства и другой подробной информации, являются документами Web, на них можно ссылаться через URI [2].

#### **Применение онтологического подхода**

Использование онтологического подхода при разработке ГИС в нефтегазовой отрасли имеет следующие преимущества [3]:

- позволяет представить естественно-языковой текст в таком виде, что он становится пригодным для автоматической обработки. Потребность в онтологиях связана с некачественной автоматической обработкой естественно-языковых текстов существующими средствами. Поэтому необходимо иметь детальное описание проблемной области с множеством логических связей, которые показывают отношения между терминами;

- накопление ценной информации о функционировании сложных систем. Такой анализ начинается с составления словаря терминов, а также создания системы точных определений этих терминов. Документируются основные логические взаимосвязи между соответствующими терминами и понятиями. Результатом этого анализа является словарь терминов и их точные определения, взаимосвязи между ними;

- формирование целостного взгляда на предметную область, возможность восстановить недостающие логические связи во всей их полноте. Материал, представленный в единой форме, гораздо лучше воспринимается и воспроизводится.

#### **Выводы**

ГИС – это географическая база данных (БД), которая связывает позиционную (координаты и форма объекта) и семантическую (характеристика объекта) информацию об объектах.

Недостатком геореляционной модели данных (интегрирующей ГИС и реляционную СУБД) является непригодность реляционных таблиц для семантического анализа и полнотекстового поиска в распределённых атрибутивных БД ГИС. Для решения данных задач необходимо использовать новые способы организации данных.

Необходимо разработать онтологии географического пространства, т.е. представить системное описание структуры географических сущностей, их свойств и связей между ними – онтологическая модель географического пространства.

#### ***Список литературы:***

1. Российские нефтегазовые технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rogtectmagazine.com/>.
2. 2.Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. Онтологии в корпоративных системах Часть 2 [Электронный ресурс]: <http://sergeiseleznev.blogspot.com/2010/07/2.html>.
3. 3.Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. Онтологии в корпоративных системах Часть 1 [Электронный ресурс]: <http://sergeiseleznev.blogspot.com/2010/07/1.html>.

**Т. А. Вокуева**

Ухтинский государственный технический университет  
факультет информационных технологий  
кафедра прикладной математики и информатики  
Россия, г. Ухта  
tvok@mail.ru

## **АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ МАТРИЦЫ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ**

Приведено определение когнитивных карт и когнитивных карт Силова в связи с их применением в моделировании социальных систем. Рассмотрен алгоритм Силова для вычисления матрицы взаимовлияния когнитивной карты и приведены его недостатки. Для их исправления предложен альтернативный алгоритм. Проведено сравнение матриц взаимовлияния, получаемых с помощью алгоритма Силова и предложенного алгоритма.

*Ключевые слова:* нечеткие когнитивные карты, нечеткая логика, теория графов, моделирование социальных систем, статический анализ.

### **Введение**

Сложность процесса управления в социальных системах обусловлена рядом присущих им особенностей:

–многофакторностью происходящих в них процессов (экономических, социальных и т. п.) и их взаимосвязанностью, из-за чего невозможно вычленение и детальное исследование отдельных явлений – все происходящие в них события должны рассматриваться в совокупности;

–отсутствием достаточной количественной информации о динамике процессов, что вынуждает переходить к качественному анализу таких процессов;

–изменчивостью характера процессов во времени и т. д.

В силу указанных особенностей социальные системы называются слабоструктурированными системами. Для моделирования систем такого типа хорошо себя зарекомендовал когнитивный подход [1,2], который заключается в построении и анализе когнитивной карты ситуации.

Когнитивная карта представляет собой причинно-следственную сеть, имеющую вид:

$$G = \langle E, W \rangle,$$

где  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  – множество факторов (называемых концептами),  $W$  – бинарное отношение на множестве  $E$ , которое задаёт набор связей между его элементами [2].

Элементы  $e_i$  и  $e_j$  считаются связанными отношением  $W$ , если изменение значения концепта  $e_i$  (причины) приводит к изменению значения концепта  $e_j$  (следствия). При этом говорят, что концепт  $e_i$  оказывает влияние на концепт  $e_j$  (обозначается  $w(e_i, e_j)$ ). Если увеличение значения концепта-причины приводит к увеличению значения концепта-следствия, то влияние считается положительным («усиление»), если же значение уменьшается – отрицательным («торможение»). Сами концепты могут задаваться как качественными показателями, такими как востребованность специалистов, так и количественными – средний балл поступающих, численность студентов. Когнитивная карта строится экспертами предметной области. В силу этого карта в большой мере отражает субъективный взгляд эксперта на ситуацию, несмотря на то, что некоторые связи могут быть подтверждены статистическими данными. Однако сам процесс её

построения и последующий анализ в значительной мере помогают структурировать и наглядно представить накопленные экспертами знания.

Определенная таким образом когнитивная карта называется классической и имеет ограниченное применение в силу того, что не позволяет различать интенсивность взаимовлияния между концептами. Для учета данного обстоятельства используется нечёткая когнитивная карта Силова (см. Рисунок 1). Она представляет собой расширение классического понятия когнитивной карты, в которой вводится показатель интенсивности влияния, и вместо «обычного» (классического) отношения используется нечёткое отношение  $W$ , элементы  $w_{ij}$  которого характеризуют направление и степень интенсивности (вес) влияния между концептами  $e_i$  и  $e_j$ :

$$w_{ij} = w(e_i, e_j),$$

где  $w$  – нормированный показатель интенсивности влияния (характеристическая функция отношения  $W$ ), обладающий следующими свойствами [2]:

1.  $1 \leq w_{ij} \leq 1$ ;
2.  $w_{ij} = 0$ , если  $e_i$  не зависит от  $e_j$  (влияние отсутствует);
3.  $w_{ij} = 1$ , при максимальном положительном влиянии  $e_i$  на  $e_j$ ;
4.  $w_{ij} = -1$ , при максимальном отрицательном влиянии  $e_i$  на  $e_j$ ;
5.  $w_{ij}$  принимает значения из интервала  $(-1, 1)$  при промежуточной степени положительного или отрицательного влияния  $e_i$  на  $e_j$ .

При анализе ситуаций, опирающемся на модели когнитивных карт, решаются два типа задач: статические и динамические. Статический анализ – это анализ текущей ситуации, включающий исследование влияний одних факторов на другие, исследование устойчивости ситуации в целом и поиск структурных изменений для получения устойчивых структур. Динамический анализ – это генерация и анализ возможных сценариев развития ситуации во времени. Математическим аппаратом анализа является теория знаковых графов и нечетких графов.

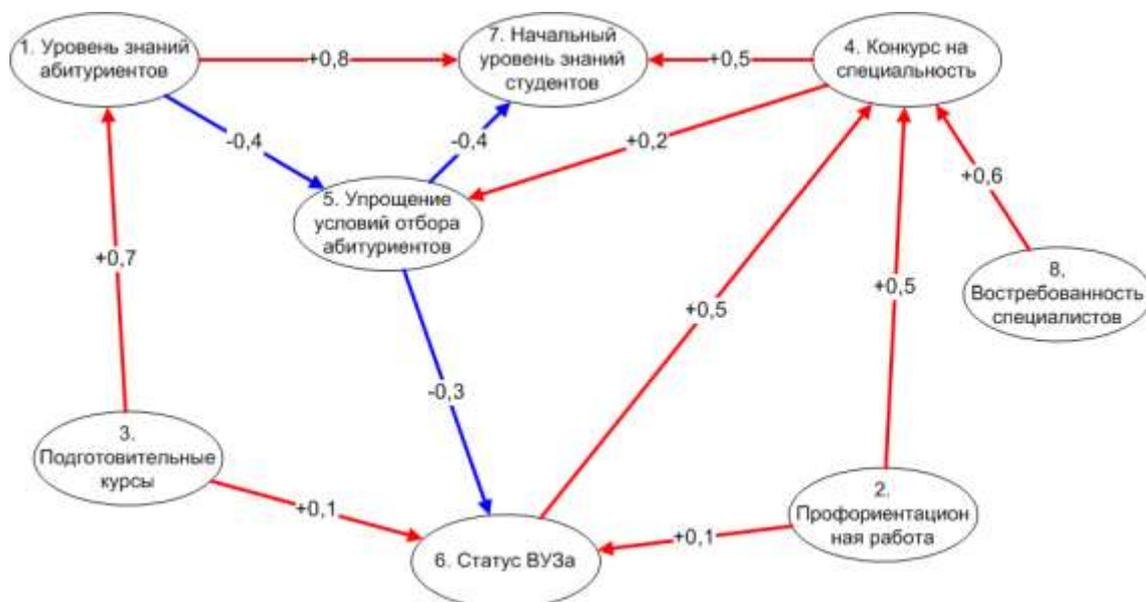
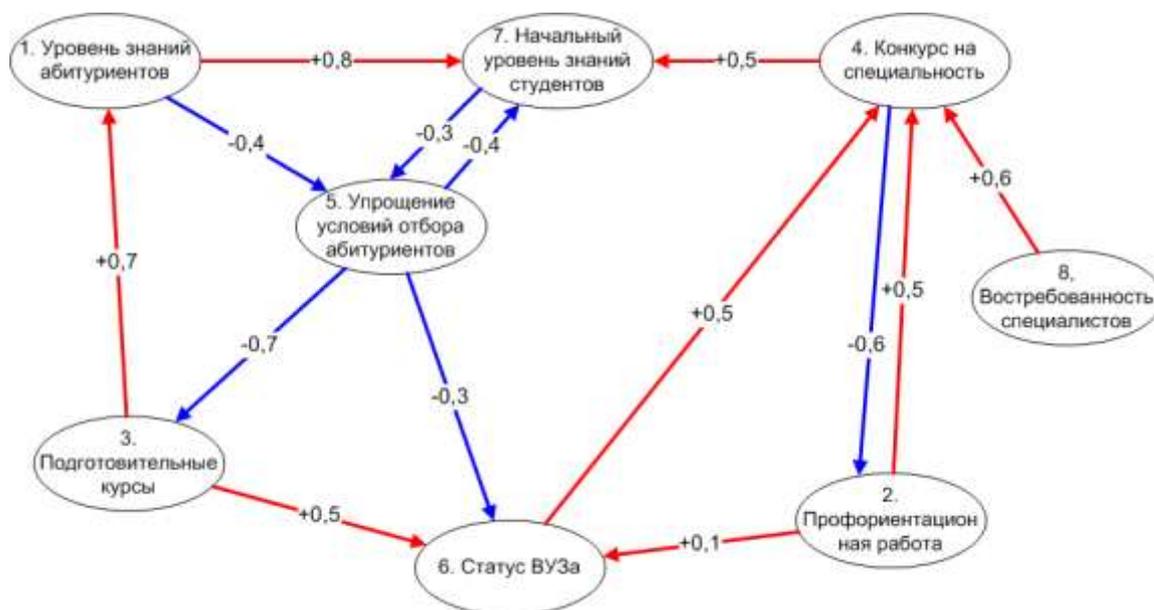


Рис. 1 - Нечеткая когнитивная карта приемной кампании ВУЗа (слабо-связная).



**Рис. 2 - Нечеткая когнитивная карта приемной кампании ВУЗа (сильно-связная).**

Статический анализ когнитивных карт Силова состоит из нескольких этапов:

1. Определение итогового (совокупного) взаимовлияния факторов друг на друга, учитывая как прямое влияние, так и опосредованное, когда один фактор влияет на другой через цепочку промежуточных факторов. Строится матрица взаимовлияния.

2. По матрице итогового взаимовлияния рассчитываются системные показатели когнитивной карты, такие как влияние концепта на систему, влияние системы на концепт. Полный список показателей приведен в [2,3].

3. По полученным показателям проводится анализ взаимовлияния факторов друг на друга, анализ устойчивости карты.

Таким образом, статический анализ когнитивной карты основывается на матрице взаимовлияний.

#### **Определение матрицы взаимовлияния концептов**

Задача нахождения итогового взаимовлияния концептов заключается в определении совокупного причинного эффекта от концепта  $e_i$  до концепта  $e_j$  ( $e_i \rightarrow e_{k_1} \rightarrow \dots \rightarrow e_{k_n} \rightarrow e_j$ ) на графе соответствующей когнитивной карты, задаваемой нечёткой матрицей. Формально причинно-следственный путь определяется следующим образом:

$$e_i \rightarrow e_j: (i, k_1^r, k_2^r, \dots, k_n^r, j) = P_r, \\ r = \overline{1, m}.$$

Для нахождения причинно-следственного пути можно использовать операции T-нормы и S-нормы [1], моделирующие соответственно связки «И» и «ИЛИ» в нечеткой логике. Обозначим через  $w'(e_i, e_j)$  совокупное взаимовлияние концептов  $e_i$  и  $e_j$ , тогда оно вычисляется по формуле:

$$w'(e_i, e_j) = S_{r=1}^m T_{p \in P_1} w(e_p, e_{p+1}), \quad (1)$$

где S – оператор S-нормы (аналог логического «ИЛИ»),

T – оператор T-нормы (аналог логического «И»).

Во всех рассмотренных нами работах в качестве T-нормы принимается либо оператор MIN, либо PROD (произведение составляющих), а в качестве S-нормы – оператор MAX. По мнению автора это объясняется тем, что непосредственно для расчета итогового взаимовлияния применяется предложенный Силовым В. Б. алгоритм (более подробно алгоритм описан в [2,3]). Ограничительной особенностью алгоритма Силова является то, что для расчета используются нечёткие матричные операции [2], вследствие чего по нему можно определить только один причинно-следственный путь между

концептами. Поэтому определяются максимальные отрицательные и положительные причинно-следственные пути между всеми концептами ( $a_{i,j}$  и  $b_{i,j}$  соответственно), затем вычисляется итоговое взаимное влияние факторов друг на друга (матрица P):

$$p_{i,j} = \text{sign}(a_{i,j} + b_{i,j}) * \max(|a_{i,j}|, |b_{i,j}|), \quad (2)$$

где  $a_{i,j}$  – положительное влияние фактора  $i$  на  $j$ ,

$b_{i,j}$  – отрицательное влияние фактора  $i$  на  $j$ ,

$p_{i,j}$  – итоговое влияние фактора  $i$  на  $j$ .

Таким образом, в качестве итогового влияния между факторами принимается максимальное по модулю влияние. Так как при этом мы пренебрегаем остальными влияниями, то вычисляется уровень доверия (или консонанс) для полученных значений:

$$c_{i,j} = \frac{a_{i,j} + b_{i,j}}{|a_{i,j}| + |b_{i,j}|},$$

где  $c_{i,j}$  – консонанс влияния фактора  $i$  на  $j$ .

### **Модификация алгоритма расчета матрицы взаимовлияния**

Алгоритм Силова В. Б. имеет несколько существенных недостатков:

При вычислении итогового взаимовлияния и консонанса используются только максимальные по модулю взаимовлияния между концептами, при этом не учитываются все остальные взаимовлияния (которых в большой и сильно-связной когнитивной карте может быть довольно много). Поэтому автором было предложено в формуле (1) в качестве T-нормы использовать оператор PROD (алгебраическое произведение), а вместо оператора MAX для S-нормы использовать оператор алгебраической суммы, который вместе с оператором PROD образует дуальную пару [1]. Тогда нормы будут следующими:

$$T(x,y) = xy;$$

$$S(x,y) = x + y - xy.$$

Понятно, что при применении данных норм будут использоваться все причинно-следственные пути между концептами, что в итоге даст матрицу взаимовлияния, более соответствующую связям когнитивной карты.

Не учитывается запаздывание влияния концепта-причины на концепт-следствие вследствие длины пути (под длиной пути в данном случае понимается количество промежуточных концептов). Поэтому для определения веса причинно-следственного пути предлагается использовать следующую формулу:

$$w^*(e_i, e_j) = \lambda^n w(e_i, e_j),$$

где  $\lambda$  – коэффициент запаздывания влияния, подбираемый экспертом для когнитивной карты,  $0 < \lambda < 1$ . Он зависит от того, насколько моментально в среднем распространяется влияние от концепта к концепту;

$n$  – количество промежуточных концептов в причинно-следственном пути;

$w(e_i, e_j)$  – вес пути, рассчитанный по формуле (1).

Кроме того, использование коэффициента запаздывания влияния позволит ограничить рост итогового взаимовлияния между концептами, который в среднем будет больше аналогичного значения, вычисленного по алгоритму Силова. Это объясняется тем, что выбранный оператор S-нормы (оператор алгебраической суммы) в среднем дает более высокие значения, чем оператор максимума [6].

Таким образом будет вычисляться совокупное положительное и отрицательное влияния концептов друг на друга, а итоговое влияние по-прежнему будет определяться по формуле (2).

### **Экспериментальная часть**

Автором был разработан алгоритм для расчета совокупного положительного и отрицательного взаимовлияния между концептами по выбранным нормам, заключающийся в расчете всех причинно-следственных путей между концептами и применении к ним вышеуказанных операторов S и T-норм. Данный алгоритм и алгоритм Силова были реализованы в среде программирования Visual Studio 2010 на языке C#.

Полученная программа использовалась для проведения эксперимента, целью которого являлось сравнение матриц итоговых взаимовлияний, полученных двумя вышеприведенными способами.

Для проведения эксперимента были выбраны две когнитивные карты приёмной кампании ВУЗа – слабо-связная и сильно-связная. Карты состоят из одинаковых наборов концептов, но отличаются по количеству связей между концептами (см. Рисунок 1 и Рисунок 2). Коэффициент запаздывания влияния был принят равным 0,8. На рисунках 3-4 представлены полученные матрицы взаимовлияния для сильно-связной когнитивной карты.

Как и ожидалось, для слабо-связной когнитивной карты результаты вычислений по алгоритму Силова и по предложенному алгоритму слабо отличаются. Максимальное отличие составляет -0,06 для концептов Подготовительные курсы (причина) и Упрощение условий отбора (следствие).

В то же время для сильно-связной когнитивной карты матрицы взаимовлияний различаются не намного сильнее (см. Рисунок 3 и 4). Максимальное отличие составляет -0,19 для концептов Упрощение условий отбора (причина) и Начальный уровень знаний студентов (следствие).

Рассмотрим влияние концепта Конкурс на специальность на Статус ВУЗа. Мы получили, что итоговое влияние по алгоритму Силова получилось отрицательным (-0,6), а по предложенному алгоритму – положительным (0,6). Это объясняется тем, что положительных причинно-следственных путей между этими концептами несколько (4→7→5→6, 4→7→5→3→6 и т.д.), а отрицательный только один (4→2→6). А так как отрицательный путь самый короткий и имеет самый большой вес, то уменьшив значение коэффициента запаздывания влияния до 0,7, мы и по предложенному алгоритму получаем отрицательное итоговое влияние. Это говорит о том, что уровень доверия полученному значению итогового влияния концепта Конкурс на специальность на Статус ВУЗа низкий, на что указывает малое значение консонанса (0,09).

	Уровень знаний абитуриентов	Профор. работа	Подг. курсы	Конкурс на специальность	Упроще условий отбора	Статус ВУЗа	Нач. уровень знаний студент	Востреб. специал	Система-элемент	Элемент-система
Уровень знаний абитуриентов	0,20	-0,04	0,28	0,07	-0,40	0,14	0,80	-	0,13	0,01
Профор. работа	0,04	-0,30	0,05	0,50	-0,08	0,10	0,25	-	0,07	-0,05
Подг. курсы	0,70	-0,15	0,20	0,25	-0,28	0,50	0,56	-	0,22	0,01
Конкурс на специальность	0,07	-0,60	0,11	-0,30	-0,15	-0,06	0,50	-	-0,05	0,08
Упрощение условий отбора	-0,49	0,11	-0,70	-0,18	0,20	-0,35	-0,40	-	-0,23	-0,01
Статус ВУЗа	0,04	-0,30	0,05	0,50	-0,08	-0,03	0,25	-	0,05	0,00
Нач. уровень знаний студентов	0,15	-0,03	0,21	0,05	-0,30	0,11	0,12	-	0,04	0,04
Востребованность специалистов	0,04	-0,36	0,06	0,60	-0,09	-0,04	0,30	-	0,07	-

Рис. 3 – Матрица взаимовлияния сильно-связной когнитивной карты, рассчитанная по алгоритму Силова.



**П. А. Волков**

Дальневосточный федеральный университет  
Россия, г. Владивосток  
volkk100@mail.ru

## **РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ЖИДКОСТНЫХ ЛИНЗОВЫХ АНТЕНН**

В статье рассматриваются практические проблемы синтеза фокусирующих систем и экспериментальная проверка рассчитанных антенн. Методы исследований базируются на математическом аппарате теории функций Грина для волновых уравнений.

*Ключевые слова:* волновые поля, синтез антенн, линзовая антенна, диаграмма направленности, функции Грина.

Синтез волновых полей является одной из актуальных прикладных задач физики, так как часто возникает необходимость синтеза антенн внутри и вне замкнутых объемов (областей) в океанологии, подводной и подземной связи.

Под волновыми полями понимаются поля, которые с достаточной степенью точности можно описать с помощью волновых уравнений. В настоящей работе рассматриваются акустические и электромагнитные поля с гармонической зависимостью от времени.

Под задачами синтеза понимаются задачи конструирования антенн исходя из известных значений создаваемого волнового поля. Существуют следующие типы акустических антенных систем: вибраторные антенны, щелевые антенны, апертурные антенны, непрерывные, дискретные и линзовые системы. Для целей нашего исследования представляют интерес линзовые антенны.

В настоящее время линзовые и рефлекторные системы получили широкое распространение, как в гидроакустике, так и в области фокусирования ультразвука. Тем не менее, в то время как достаточно большое количество работ освещает вопрос анализа полей в фокальной области линзовых и рефлекторных систем, значительно меньше исследований посвящено анализу акустических линзовых антенн [2].

Линзовая антенна – антенна, диаграмма направленности которой формируется за счёт разности фазовых скоростей распространения акустической волны в воде и в материале линзы.

В настоящее время линзовые антенны применяются в ультразвуковой технике для создания мощных полей излучения, а также узких диаграмм в дальнем поле. Этой теме посвящены следующие работы: диссертация Кузнецова А.В., диссертация Шевкуна С.А. [4].

Акустические линзовые антенны, используемые для формирования диаграмм направленности, могут быть классифицированы следующим образом. Все линзовые антенны могут, разбиты на две большие группы: 1-линзы из однородного материала и 2-линзы из неоднородного материала. В линзах из однородного материала преобразование сферически расходящейся или плоской волны, излучаемой облучателем, в волну с заданной формой фазового фронта достигается за счет придания поверхности линзы того или другого профиля.

Практические проблемы, которые могут привести к задачам синтеза фокусирующих систем, состоят в следующем. Требуется сфокусировать звуковое поле в небольшом объеме, заранее удовлетворяя требования по форме и распределению интенсивности звука

в фокальном объеме. Также необходимо сконструировать линзу или рефлектор, которые с заданной погрешностью создадут вблизи нужное поле с фокальной областью на поверхности.

В методологическом плане для рассматриваемой физической модели предложена адекватная ей математическая модель, основанная на методе функций Грина для волновых уравнений и обобщенных законах отражения и преломления сферических волн от криволинейной границы раздела двух сред. Физической моделью задачи является совокупность точечных источников с плотностью распределения  $q$ , расположенных в области, ограниченной поверхностью  $S$ , которые создают некое распределение потенциала  $\Phi$  на поверхности  $S$  (рис. 1); источники размещены в общем случае в неоднородной среде, в том смысле, что скорость распространения продольных волн  $c$  в среде меняется с изменением координат (считается, что поперечные волны в среде отсутствуют), а также возможно наличие границ раздела.

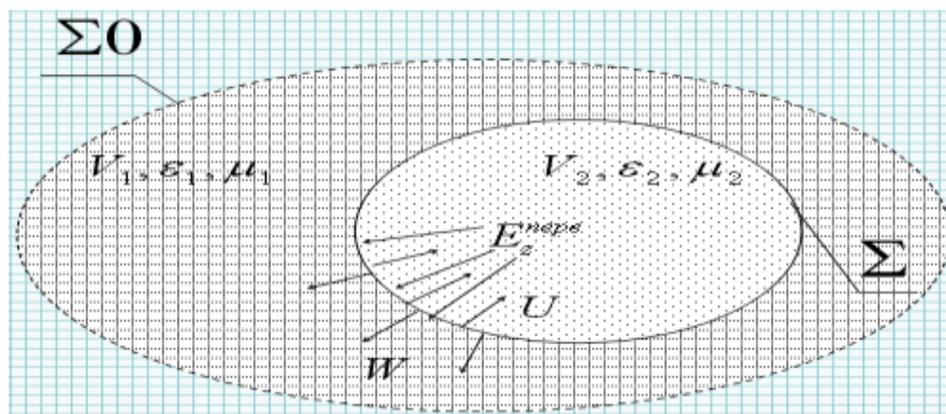


Рис.1.- Физическая модель задачи

Математическая модель задачи записывается в виде неоднородного уравнения Гельмгольца (1), решение которого должно удовлетворять соответствующим условиям на границе:

$$\Delta\Phi + k(\bar{r})^2 \cdot \Phi = -4 \cdot \pi \cdot q(\bar{r}_0) \quad (1)$$

здесь  $q(\bar{r}_0)$  -плотность распределения источников,  $\Phi$ -потенциал колебательной скорости в точке наблюдения ,

$$k(\bar{r}) = \frac{\omega}{c(\bar{r})} - \text{волновое число для данной среды} - \text{зависит от координат.}$$

Задача анализа для рассматриваемой антенны может быть сформулирована как нахождение поля, создаваемого исследуемой совокупностью источников в точке наблюдения. В этом случае поле потенциала определяется следующей формулой:

$$\Phi(\bar{r}) = \int_V q(\bar{r}_0) \cdot G^{(+)}(\bar{r}_0, \bar{r}) dV \quad (2)$$

где  $G^{(+)}(\bar{r}_0, \bar{r})$ - функция Грина, т.е. поле точечного источника расположенного в рассматриваемой среде в точке, на которую указывает радиус-вектор  $\bar{r}_0$  (знак «+» указывает на расходящиеся волны),

$\bar{r}$  - указывает на точку наблюдения,

$V$ - объем, в котором находятся источники.

Задача синтеза антенны состоит в отыскании такой плотности распределения источников  $q$ , с помощью которого возможно формирование заданного распределения потенциала на поверхности  $S$ . При решении задачи синтеза с помощью уравнения (2),

задача синтеза сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода, и является некорректной задачей математической физики ( в смысле Ж. Адамара).

В настоящее время для задач синтеза используются приближенные методы решений. Одно из таких приближений – использование приближения плоских волн, распространяющихся в однородной среде, т.е. синтезируется диаграмма направленности. Известны методы парциальных диаграмм, метод собственных функций, метод интеграла Фурье и т.д.

Сущность исследуемого метода заключается в использовании гипотезы, высказанной в [1], и заключающейся в том, что плотность распределения источников  $q$  находится по формуле:

$$q(\bar{r}_0) = \int_S \Phi(\bar{r}) \cdot G^{(-)}(\bar{r}_0, \bar{r}) dW \quad (3)$$

где  $G^{(-)}(\bar{r}_0, \bar{r})$  - функция Грина, т.е. поле точечного источника расположенного в рассматриваемой среде в точке, на которую указывает радиус-вектор  $\bar{r}_0$  (знак «-» указывает на сходящиеся волны),

$\bar{r}$  - указывает на точку наблюдения,

$S$  – поверхность, на которой задается распределение потенциала.

В этом случае задача синтеза сводится к корректной задаче математической физики. Преимущество данного метода заключается в том, что он позволяет синтезировать антенны, создающие распределение потенциала (а не только характеристику направленности) на некоторой произвольной поверхности  $S$ , расположенной на любом расстоянии от источников; основное же преимущество – возможность синтезировать антенны, создающие заданное распределение потенциала, с учетом неоднородностей среды, используя соответствующую функцию Грина.

Для практических применений, когда антенна должна представлять собой достаточно простую конструкцию, возможно нахождение необходимого распределения  $q$  по рабочей поверхности антенны, так если антенна – прямолинейная (вдоль координаты  $x$  в декартовой системе координат), то интеграл (3) примет вид однократного интеграла по  $dx$ . Однако в данном случае антенна будет точно формировать точно не всякое заданное распределение потенциала, а лишь описываемое определенными закономерностями (в зависимости от геометрии антенны), и чем большие волновые размеры имеет антенна, тем точнее получаемое приближенное распределение к заданному [3].

Экспериментальная проверка синтезированной антенны проводилась в гидроакустическом бассейне в импульсном режиме с использованием временной селекции прямого и отраженного сигналов. Временная селекция сигналов позволяет регистрировать только прямой сигнал. Для отраженных сигналов, время прихода которых больше, чем по прямому пути, схема закрыта:

Технические характеристики излучателя определяются при исследовании акустических свойств измерительного бассейна.

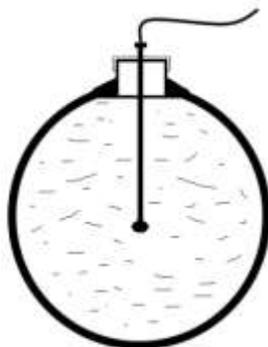
В качестве приемника акустических колебаний используется ненаправленный гидрофон.

При выполнении данной работы рассматривалась сферическая линзовая антенна диаметром 30 см с размещением в ней одиночного излучателя. Оболочка антенны изготовлена из резины. Измерения проводились в воде, где  $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды,  $C_v = 1500 \text{ м/с}$  – скорость звука в воде.

Для наполнителя линзы использовалось машинное масло GS Oil SuperDynamic 15w40 со следующими параметрами:  $\rho_m = 879 \text{ кг/м}^3$  – плотность масла,  $C_m = 1340 \text{ м/с}$  – скорость звука в масле.

В качестве одиночного излучателя применялся излучатель сферических волн с рабочей частотой 80 кГц. Снятие характеристик проводилось для трёх позиций излучателя внутри сферы.

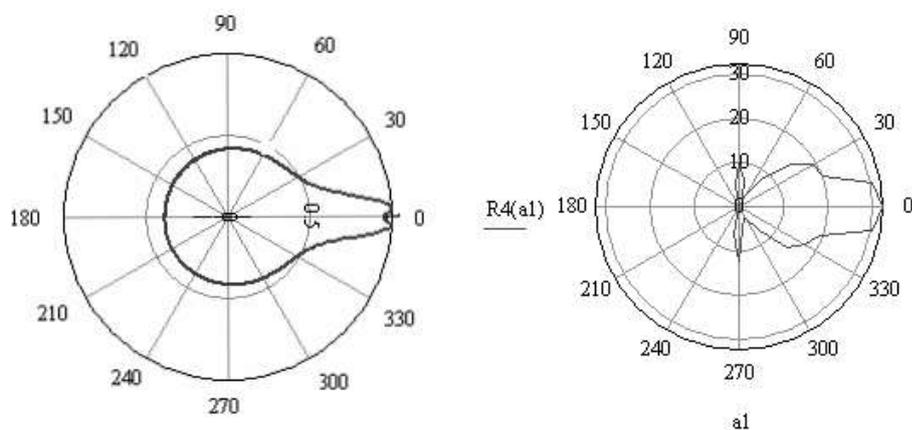
Шар, выполненный из резины, заполняется машинным маслом. В центр шара помещается точечный акустический излучатель сферических волн.



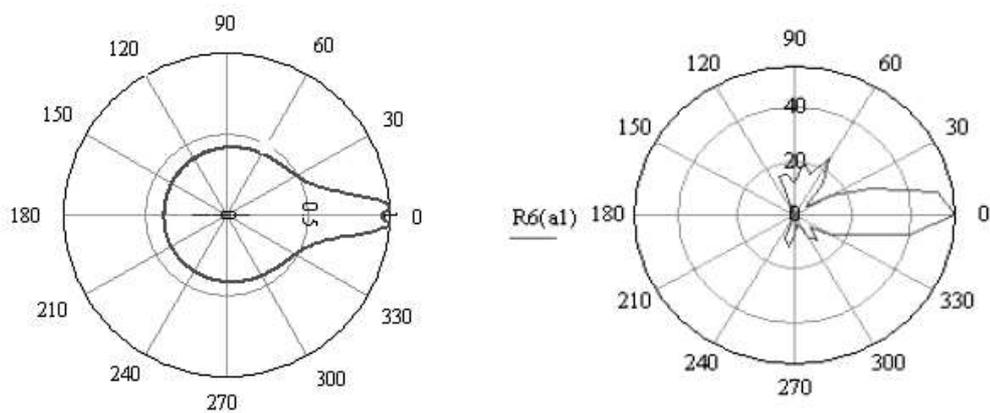
**Рис. 2.- Конструкция антенны**

Вся конструкция погружается в воду в заглушенный бассейн. Антенну поворачивают вокруг оси крепления, с углом поворота 5 градусов. Для каждой фиксированной точки были сняты характеристики излучающего поля.

Эксперимент проводился для 3 разных точек расположения излучателя внутри сферической оболочки: точка 1 – в центре сферы, точка 2 – на расстояние 2/3 от границы, точка 3 – возле границы. Расстояние между приемником и излучателем составляло 6 м, что соответствует излучению в дальнем поле. На рисунка 3,4 представлены диаграммы направленности антенны на двух частотах.



**Рис. 3. - Диаграмма направленности линзовой антенны (излучатель находится у границы сферической оболочки, частота излучателя 60 кГц)**



**Рис. 4. - Диаграмма направленности линзовой антенны (излучатель находится у границы сферической оболочки, частота излучателя 87 кГц).**

В ходе эксперимента было доказано, что при смещении излучателя к границам сферической оболочки, диаграмма направленности сужается, и уменьшаются боковые лепестки, что качественно совпадает с теоретическими методами нахождения поля линзовых антенн. Погрешность измерения в основном лепестке 11%, а в боковых – 20%.

#### *Список литературы:*

1. *Короченцев, В.И.* Волновые задачи теории направленных и фокусирующих антенн. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 192 с.
2. *Короченцев, В.И., Шевкун С.А.* Некоторые возможности метода синтеза антенн в неоднородных средах // Проблемы и методы разработки и эксплуатации вооружений и военной техники ВМФ: Сборник статей. Специальные вопросы прикладной гидроакустики. – Владивосток: Изд-во ТОВМИ им. С.О. Макарова, 2001. – С. 173-175.
3. *Короченцев В.И., Шевкун С.А.* Расчёт поля точечного излучателя, расположенного в замкнутом объеме // Доклады IX научной школы-семинара академика Л.М. Бреховских «Акустика океана», совмещенной с XII сессией Российского акустического общества. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 152-156.
4. *Шевкун С.А.* Разработка методов анализа волновых полей в замкнутых объёмах : дис. ... канд. ф.-м. наук : 05.08.06. – Владивосток, 2006. – 186 с.

**А. Г. Горюнов к.т.н.<sup>1,2</sup>, К. А. Козин к.т.н.<sup>1,2</sup>, В. А. Курочкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
физико-технический институт  
кафедра электроники и автоматики физических установок  
Россия, г. Томск  
alex1479@tpu.ru

<sup>2</sup> ООО «ОСТом»  
Россия, г. Томск

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007-2013 годы».*

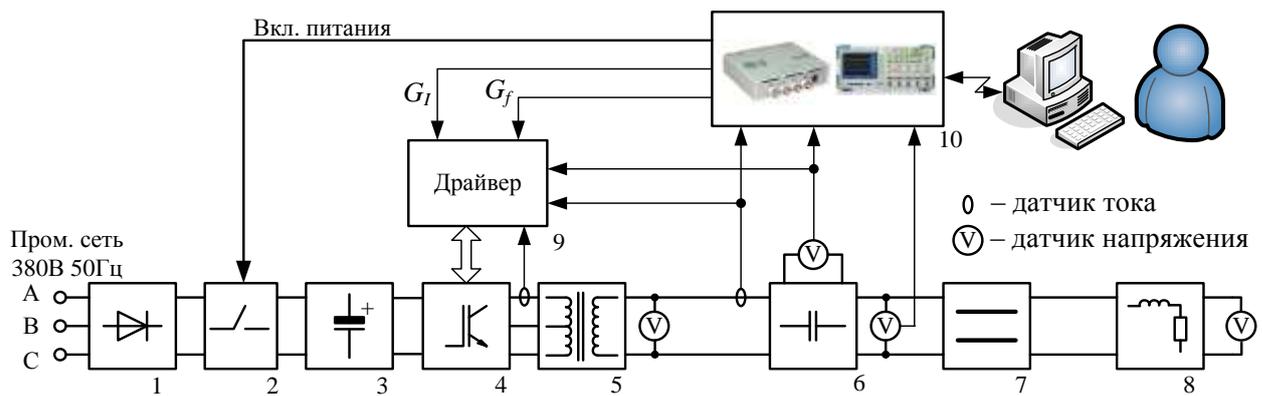
## **МАКЕТ ИСТОЧНИКА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВА КРЕМНИЕВЫХ СТЕРЖНЕЙ SIEMENS-РЕАКТОРА**

Приведены технические решения для снижения внутреннего градиента температуры кремниевых стержней. Представлен макет источника переменного тока. Выполнено математическое моделирование возможных систем управления источником, включающих экстремальные позиционный, пропорционально-интегральный- и нечеткий регуляторы.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, источник переменного тока, система автоматического управления, Siemens-реактор

На сегодняшний день Siemens-процесс остается превалирующей технологией получения высокочистого поликристаллического кремния – базового материала микроэлектроники и фотовальтаики. Центральным аппаратом технологии является реактор химического парагазового осаждения кремния на разогреваемых электрическим током кремниевых стержнях-основах – Siemens-реактор [1]. По мере роста диаметра стержней остро стоит проблема снижения величины возрастающего в них внутреннего градиента температуры [2,3], существенно влияющего на эффективность Siemens-технологии, вплоть до ее ограничения. Одним из способов решения проблемы, без включения конструктивных изменений в Siemens-реактор, является применение переменного тока. Разработка необходимых высокоэффективных мощных источников требует решения вопросов выбора формы тока и практической его реализации. Так компания AEG в 2009г. представила [4] высокочастотный источник питания [5], обеспечивающий формирование в нагрузке (кремниевом стержне) переменного напряжения, представленного суперпозицией основного напряжения частоты сети питания (50/60 Гц) и напряжения повышенной частоты с меньшей амплитудой. С другой стороны результаты исследований [2,3,6] формирования радиального профиля температуры внутри кремниевых стержней показывают наибольшую эффективность токов гармонической формы частотой более 50 кГц. Таким образом, заявленное в решении AEG существенное снижение внутреннего градиента температуры весьма сомнительно, и требует рассмотрения практически реализуемых эффективных форм токов близких к гармонической, а именно – биполярной импульсной формы.

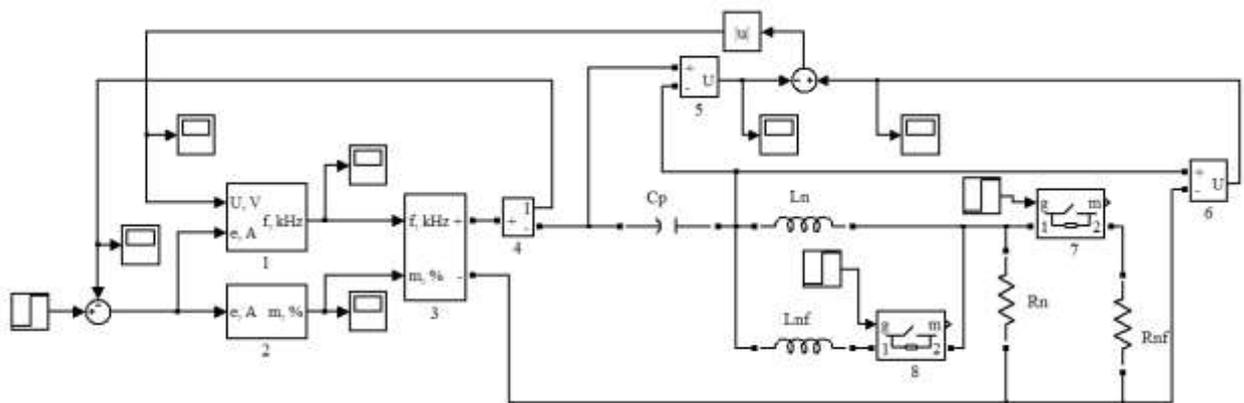
С целью исследования возможности реализации источника импульсного биполярного тока был разработан макет, представленный на рис. 1.



**Рис. 1. Структурная схема макета источника переменного тока:**  
**1 – выпрямительный диодный мост; 2 – автоматический выключатель и схема заряда конденсаторной батареи; 4 – силовая часть транзисторного инвертора;**  
**5 – согласующий силовой импульсный трансформатор;**  
**6 – резонансный малоиндуктивный силовой конденсатор; 7 – силовая шина;**  
**8 – эквивалент нагрузки; 9 – схема управления инвертором;**  
**10 – модуль быстродействующего аналого-цифрового ввода-вывода.**

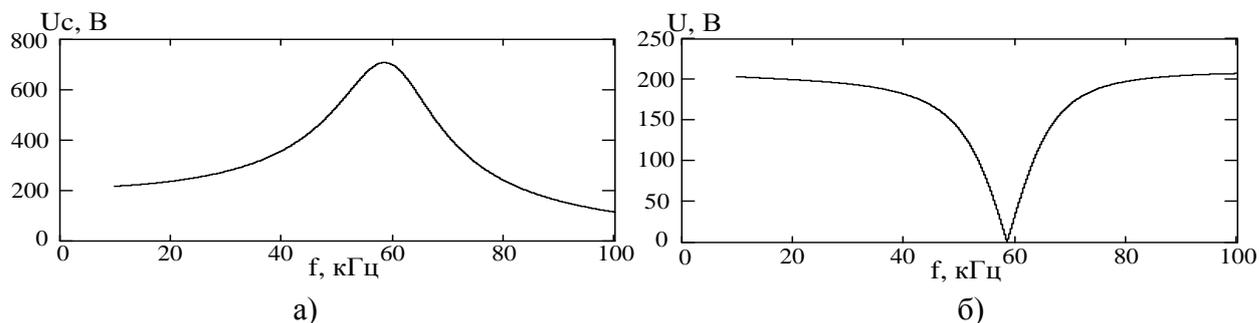
В схеме источника использован резонансный инвертор с применением современных IGBT-транзисторов и малоиндуктивных конденсаторов, что позволит достичь частот тока до 100 кГц. В соответствии со спадающим видом вольтамперной характеристики нагрузки источник обеспечивает действующее значение тока от 0 до 1 кА, и напряжение от 1 кВ до 200 В. Предельная мощность источника 200 кВт. На практике активное сопротивление нагрузки изменяется от 10 Ом до 0,1 Ом, а индуктивность от 4 мкГн до 0,9 мкГн, при изменении диаметра стержней от 10 мм до 200 мм.

С целью структурного синтеза системы автоматического управления (САУ) источником тока, включающей двухканальную САУ частотой и действующим значением переменного тока, было проведено моделирование его схемы в программном комплексе MATLAB/Simulink с применением библиотеки SimPowerSystems (см. рис. 2).



**Рис. 2. Математическая модель источника тока в пакете Simulink:**  
**1 – регулятор частоты; 2 – регулятор тока; 3 – модель инвертора напряжения (импульсный источник ЭДС с заданной частотой  $f$  и длительностью биполярных импульсов  $m$ ), 4 – датчик действующего значения тока;**  
**5, 6 – датчики действующего значения напряжения; 7, 8 – коммутаторы.**

В модели были заданы параметры нагрузки –  $R_n = 0,17$  Ом,  $L_n = 1,5$  мкГн, емкость резонансного конденсатора  $C_p = 4,7$  мкФ, обеспечивающие по оценке резонансную частоту для гармонического тока в области 60 кГц (см. рис. 3).

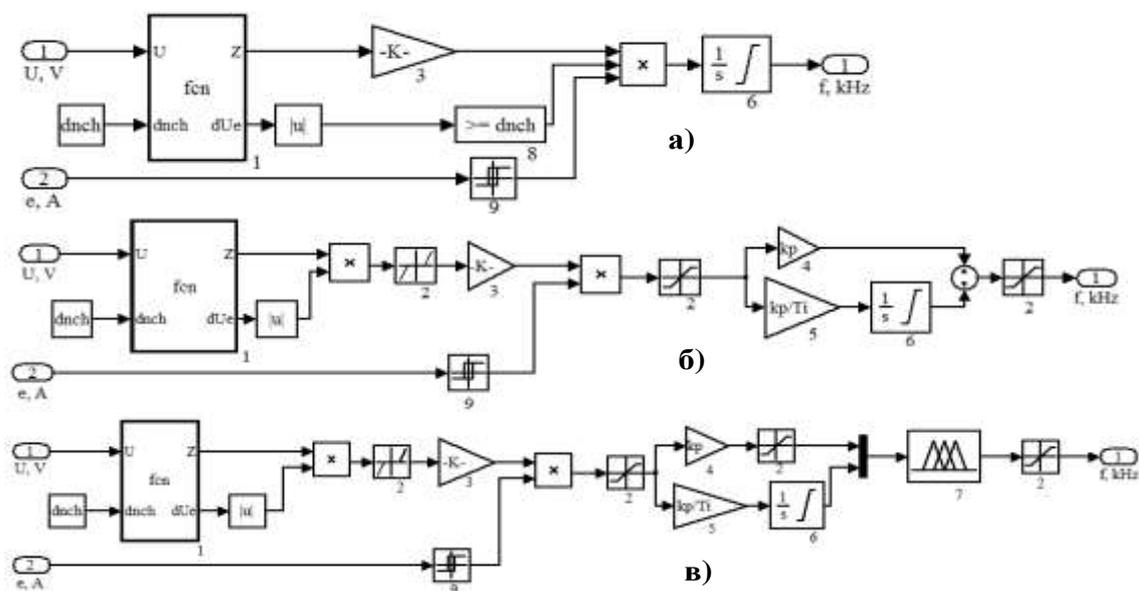


**Рис. 3.** Амплитудно-частотная характеристика резонансной цепи:  $U_c$  – действующее напряжение на резонансном конденсаторе  $C_p$  (см. рис. 2);  $U$  – модуль разности  $U_c$  и напряжения на нагрузке  $U_n$ .

Таким образом, для вывода источника тока на резонансную частоту наиболее выгодно использовать экстремальный регулятор напряжения  $U$ .

Инерционность контура тока составляет порядка 0,1 мс, что требует высокого быстродействия регулятора тока и его реализации в драйвере инвертора, поэтому был выбран пропорционально-интегральный (ПИ) закон управления.

Исследованные варианты экстремальных регуляторов в составе модели (рис. 2) представлены на рис. 4.



**Рис. 4.** Структурные схемы регуляторов:

- а – 3-х позиционный экстремальный регулятор с запоминанием экстремума;
- б – «экстремальный ПИ-регулятор»; в – экстремальный нечеткий регулятор;
- 1 – блок поиска экстремума; 2 – зона нечувствительности;
- 3 – масштабирующий блок;
- 4, 5 – пропорциональный и интегральный коэффициенты; 6 – интегратор;
- 7 – блок нечеткого вывода; 8 – блок включения позиции «0»; 9 – реле блокировки поиска экстремума при отклонениях тока нагрузки выше номинальных ( $e$ );
- $dnch$  – блок нечувствительности.

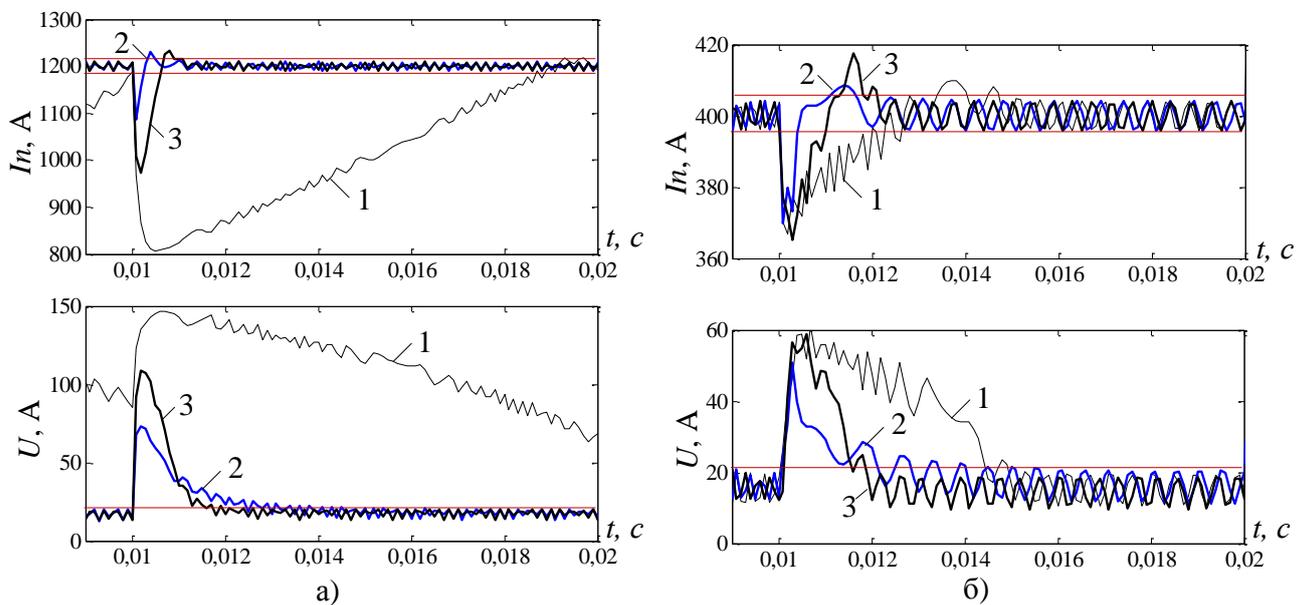
Блок поиска экстремума описывается выражением:

$$\begin{cases} dU = U - U_3, dUe = 0 - U \\ U_3 = U, \text{ при } |dU| > dnch \\ Z_i = -Z_{i-1} \cdot \text{sign}(dU), \text{ при } |dU| > dnch \end{cases}, \quad (2)$$

где  $Z_i = \pm 1$  – направление поиска экстремума,  $dUe$  – отклонение от экстремума по напряжению  $U$ , В.

В блоке нечеткого вывода (см. рис. 4в) для каждой переменной созданы 6 функций принадлежности треугольного типа и использовано 6 правил типа «ИЛИ» посредством Simulink Fuzzy logic Toolbox.

Результаты моделирования при ступенчатом увеличении индуктивности нагрузки на 70% приведены на рис. 5.



**Рис. 5. Переходные процессы источника тока с нагрузкой:  
а –  $R_n = 0,17$  Ом,  $L_n = 1,5$ ; б –  $R_n = 0,5$  Ом,  $L_n = 2$  мкГн;**

САУ с экстремальным 3-х позиционным регулятором частоты импульсов (см. рис. 5, кривая 1) обеспечила наихудшее качество управления по сравнению с системой на основе экстремального ПИ (кривая 2) и нечеткого (кривая 3) регуляторов. При этом последние обладают достаточной грубостью.

Таким образом, САУ источником питания, включающие экстремальные нечеткий и ПИ регуляторы частоты импульсов, обеспечили сопоставимое качество управления и выбраны к испытаниям на макете источника тока.

### *Список литературы:*

1. Pizzini S. Bulk solar grade silicon: how chemistry and physics play to get a benevolent microstructured material // *Applied Physics A. Materials Science & Processing*. – 2009. – V. 96. – P. 171–188.
2. Del Coso G., Tobias I., Canizo C., Luque A. Temperature homogeneity of polysilicon rods in a Siemens reactor // *Journal of Crystal Growth*. – 2007. – V. 299. – P. 165–170.
3. Li M., Mitrasinovic A., Utigard T., Plascencia G., Warczok A. Silicon rod heat generation and current distribution // *Journal of Crystal Growth*. – 2009. – V. 312. – P. 141–145.
4. AEG Power Solutions marks Technological Breakthrough in Polysilicon Production Efficiency // Официальный сайт компании AEG. 2010. URL: [http://www.aegps.com/aeg/export/sites/aegpowersolutions/en/service/news/Downloads/PRESS\\_RELEASE\\_Thyrobox\\_PI\\_EN\\_07\\_09\\_2010.pdf](http://www.aegps.com/aeg/export/sites/aegpowersolutions/en/service/news/Downloads/PRESS_RELEASE_Thyrobox_PI_EN_07_09_2010.pdf) (дата обращения: 12.03.2011).
5. Pat. 2009/0229991 A1 США, Int.Cl. C25C 1/00, C25C 7/00. Device and method for producing л uniform temperature distribution in silicon rods during a precipitation process / Wallmeier P. (US); Published. 17.09.2009 – 12р., 6р. fig.
6. Козин К.А., Горюнов А.Г., Сачков С.А. Влияние параметров тока пульсирующей формы на резистивный нагрев стержней Siemens-реактора // *Известия высших учебных заведений. Физика*. Т. 53. №11/2. – Томск: ТГУ, 2010 – С. 219–222.

А. М. Долганов<sup>1</sup> к.т.н., В. А. Жуланов<sup>1</sup>, Т. Н. Иванова<sup>2</sup> к.т.н., Ф. В. Юрков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Чайковский филиал  
Пермского национального исследовательского политехнического университета  
кафедра автоматизации, информационных и инженерных технологий  
Россия, г. Чайковский  
rsg078829@mail.ru

<sup>2</sup>Удмуртский государственный университет  
Россия, г. Ижевск

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

В поверхностном слое в зависимости от интенсивности теплообразования возникают напряжения, влияющие на структурные превращения и напряжённое состояние детали. Разработанная графическая и аналитическая методика определения остаточных напряжений позволяет управлять тепловой деформацией деталей из труднообрабатываемых материалов и тонких пластин, и регулировать распределение остаточных напряжений в поверхностном слое деталей.

*Ключевые слова:* остаточные напряжения, шлифование, тепловая деформация.

Окончательное напряжённое состояние тонкого поверхностного слоя формируется, главным образом, на операции чистовой обработки – шлифования. Возникающие в процессе шлифования температурное и силовое поле обуславливает величину, знак и характер распределения по глубине поверхностного слоя остаточных напряжений первого рода. Если возникающее силовое воздействие является преобладающим фактором – появляются остаточные напряжения сжатия, если же преобладает фактор теплового воздействия – в поверхностном слое формируются остаточные напряжения растяжения. В зависимости от условий шлифования величина, знак, характер распределения остаточных напряжений различны. В поверхностном слое в зависимости от интенсивности теплообразования возникают напряжения, которые влияют на геометрическую точность тонких пластин и деталей из труднообрабатываемых материалов, обуславливают различные виды структурных превращений, напряжённого состояния и т.д. Характер этих изменений указывает на преобладающую роль тепловых процессов в формировании свойств поверхностного слоя при шлифовании. Поэтому исследования распределения температурных напряжений с учетом подачи смазочно-охлаждающей жидкости, времени действия теплового источника и физико-механических характеристик обрабатываемого материала при шлифовании труднообрабатываемых материалов и тонких пластин являются актуальными.

Два основных фактора вызывают возникновение остаточных напряжений – пластическая деформация при силовом воздействии и нагревание поверхностных слоев. Рассмотрим процесс шлифования (*период нагревания*) детали. Если нагреть деталь на температуру  $t$ , то в нем возникнут температурные напряжения

$$\sigma = -E\varepsilon_i, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_i$  – температурная деформация

$$\varepsilon_t = \int_0^t \alpha^*(t_1) dt_1 \quad (2)$$

где  $\alpha^*(t_1)$  – истинный коэффициент линейного расширения при температуре  $t_1$  ( $t_1$  – текущая температура,  $0 \leq t_1 \leq t$ ).

$$\alpha * (t_1) = \frac{d\varepsilon_t}{dt} t_1 \quad (3)$$

При расчетах принимаем среднее значение коэффициента линейного расширения  $\alpha(t)$  при нагреве от  $0$  до  $t$ , так что

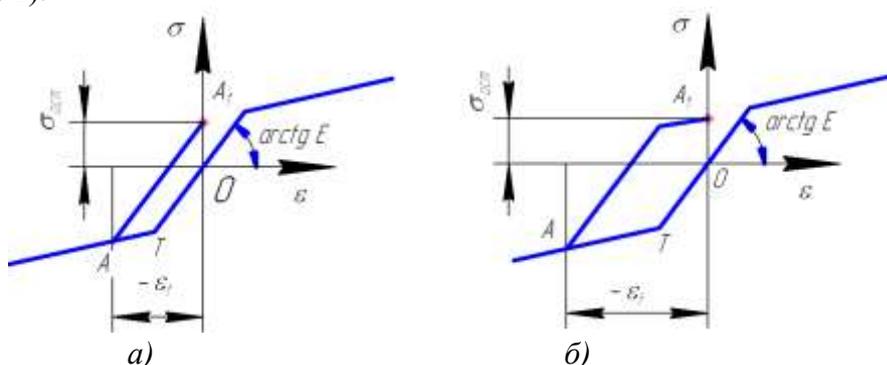
$$\varepsilon_t = \int_0^t \alpha^*(t_1) dt_1 = \alpha(t) \cdot t \quad (4)$$

Используя равенство (4), можно получить соотношение между истинным и средним значениями коэффициента линейного расширения при температуре  $t$ :

$$\alpha^*(t) = \alpha(t) + t \quad (5)$$

При значении модуля упругости для стали  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $t = 100$  °С коэффициент линейного расширения будет  $\alpha(t) = 11 \cdot 10^{-6}$  °С<sup>-1</sup>, тогда остаточное напряжение составит  $\sigma = -220$  МПа.

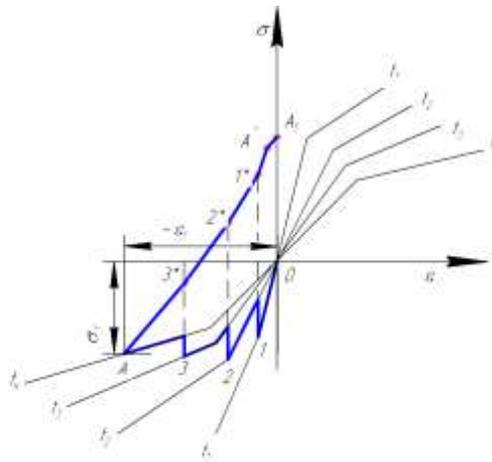
Если температурные напряжения в процессе нагрева будут выше предела текучести материала, то после снятия нагрева в детали останутся остаточные напряжения. Здесь возможны два случая определения остаточных напряжений: когда механические свойства обрабатываемой детали в процессе нагрева остаются постоянными либо изменяются. Если механические свойства обрабатываемой детали в процессе нагрева остаются постоянными (для углеродистых сталей нагрев до 250°С, для жаропрочных сплавов – до 450°С), то графическим методом можно определить остаточные напряжения после нагрева (рис. 1).



**Рис. 1. Образование остаточных напряжений при нагреве детали: а – остаточные напряжения образуются при упругих деформациях; б – остаточные напряжения образуются при наличии вторичных пластических деформаций.**

По оси абсцисс откладывается значение температурной деформации, с обратным знаком. Точка  $A$  характеризует напряжение в детали в конце нагрева. При снятии нагрева деформации и напряжения изменяются по прямой  $AA_1$ ; отрезок  $OA_1$  выражает искомые остаточные напряжения. При больших значениях  $\varepsilon_1$  (рис. 1, б) в процессе разгрузки образуются повторные пластические деформации.

Если в процессе нагрева и охлаждения механические свойства обрабатываемого материала изменяются, то определение остаточных напряжений после нагрева будет следующим. Пусть нагрев осуществляется от температуры  $t_1$  до  $t_k$  (рис. 2), то вначале рост температурных напряжений идет вдоль кривой  $01$ , при дальнейшем повышении температуры осуществляется «перескок» на кривую  $02$ . Температурное напряжение после нагрева численно равно ординате точки  $A$ .



**Рис. 2. Определение температурных напряжений в процессе нагрева с учетом изменения механических свойств материала.**

Для аналитического решения задачи определения остаточных напряжений при нагреве должно быть известно уравнение семейства кривых деформирования при различных температурах  $\sigma = f(\varepsilon; t)$ . Тогда

$$\sigma_t = - \int_{t_1}^{t_k} \frac{d\sigma}{d\varepsilon}(\varepsilon; t) d\varepsilon = \int_{t_1}^{t_k} \frac{d\sigma}{d\varepsilon}(\varepsilon; t) \alpha^*(t) dt \quad (6)$$

В этом равенстве деформация равна температурной деформации

$$\varepsilon = \int_{t_1}^t \alpha^*(t) dt \quad (7)$$

где  $\alpha^*(t)$  – относительное изменение линейных размеров, вызванное не только температурным расширением, но и фазовыми, структурными и другими процессами, связанными с температурой.

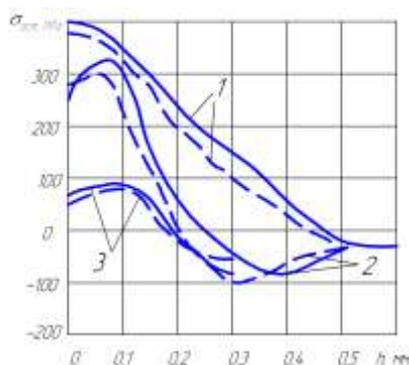
При отрицательном переднем угле зерна абразивного круга и больших скоростях резания ( $v > 30$  м/с) возникают сжимающие остаточные напряжения у поверхности. У легированных сталей, хорошо воспринимающих закалку, в поверхностном слое наблюдается переход аустенита в мартенсит. Такой переход, сопровождающийся увеличением объема, способствует также образованию сжимающих остаточных напряжений и компенсирует влияние теплового фактора. В поверхностном слое в процессе алмазного шлифования возникают сжимающие температурные напряжения. Указанные напряжения превосходят предел текучести материала и вызывают пластическую деформацию сжатия. После окончания процесса шлифования эта деформация сохраняется, что приводит к растяжению поверхностного слоя со стороны внутренних слоев, т.е. к образованию в нем растягивающих остаточных напряжений.

Следует отметить, что для высоколегированных сталей при охлаждении образуется поверхностный белый мартенситный слой толщиной 0,01 ÷ 0,3 мм. Мартенситное превращение происходит при увеличении объема обрабатываемого материала, что может компенсировать уменьшение объема при пластической деформации сжатия. Указанное обстоятельство может привести к образованию остаточных напряжений сжатия. Однако в практике шлифования влияние температурных деформаций сказывается больше, и после шлифования в поверхностном слое наблюдаются растягивающие остаточные напряжения.

Таким образом, в процессе шлифования (периоде нагрева) создаются температурные напряжения сжатия, превосходящие предел текучести материала (температурная деформация, превышающая упругую). В результате в обрабатываемом материале образуется остаточная пластическая деформация сжатия. После снятия нагрева размеры детали возвращаются к прежним, но наличие остаточной деформации сжатия вызывает появление остаточных напряжений растяжения.

Рассмотрим процесс шлифования детали при действии смазочно-охлаждающей жидкости (период охлаждения). При уменьшении температуры от  $t_K$  до  $t_3$  температурные напряжения будут уменьшаться по прямой  $A3^*$ , параллельной начальному участку кривой  $OA$  (рис. 2). При понижении температуры от  $t_3$  до  $t_2$  напряжение изменяется по прямой  $3^*2^*$ , параллельной начальному участку кривой  $O3$ . В точке  $A'$  остаточные напряжения достигают предела текучести и дальнейший рост остаточных напряжений становится небольшим.

Аналитические исследования процесса формирования остаточных напряжений при шлифовании показали, что инструментами нельзя полностью устранить растягивающие напряжения на обрабатываемой поверхности, но можно заметно их уменьшить. Для этого необходимо в процессе обработки снизить температуру в зоне контакта. При плоском торцовом шлифовании это может быть достигнуто уменьшением интенсивности теплового источника, повышением теплоотдачи в окружающую среду и инструмент. Экспериментально нами установлено, что при использовании алмазных шлифовальных инструментов с прерывистой режущей поверхностью температура в зоне резания значительно ниже по сравнению с абразивными кругами со сплошной режущей поверхностью. Это объясняется высокой режущей способностью и лучшей теплопроводностью алмазных инструментов. На рис. 3 показаны остаточные напряжения после шлифования стали ХВГ. Сплошные линии – шлифование кругом с прерывистой режущей поверхностью, штриховые линии – моделирование остаточных напряжений. Погрешность результатов аналитической методики и экспериментальных исследований остаточных напряжений находится в пределах 5 – 7%.



**Рис. 3. Эпюры распределения остаточных напряжений по глубине стали ХВГ. 1 –  $t = 0,1$  мм,  $v_d = 2$  м/мин,  $v_{кр} = 35$  м/с; 2 –  $t = 0,02$  мм,  $v_d = 1,5$  м/мин,  $v_{кр} = 25$  м/с; 3 –  $t = 0,06$  мм,  $v_d = 3$  м/мин,  $v_{кр} = 30$  м/с.**

Таким образом, в результате проведенных исследований определения остаточных напряжений при шлифовании доказано:

- в процессе шлифования (периода нагрева) создаются температурные напряжения сжатия, превосходящие предел текучести материала, в обрабатываемом материале образуется остаточная пластическая деформация сжатия. После снятия нагрева, размеры детали возвращаются к прежним, но наличие остаточной деформации сжатия вызывает появление остаточных напряжений растяжения;

- в процесс шлифования детали при действии смазочно-охлаждающей жидкости (периода охлаждения) остаточные напряжения достигают предела текучести, и дальнейший рост остаточных напряжений становится небольшим.

Разработанная графическая методика определения и теоретическая модель прогнозирования остаточных напряжений позволяет управлять тепловой деформацией деталей из труднообрабатываемых материалов и тонких пластин, и регулировать распределение остаточных напряжений в поверхностном слое деталей.

**М. А. Донченко к.т.н., Ю. Н. Журавлёв д.т.н., А. Н. Иванов, С. Н. Семёнов**

Псковский государственный университет

Россия, г. Псков

kvant93@rambler.ru, iwanbl4@list.ru, donchenko2005@rambler.ru

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ВОЗБУЖДАЕМЫЕ КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ОДНОМОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ РЛДВПТ С РЫЧАЖНО-КУЛАЧКОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДВИЖЕНИЯ**

Приведённый к выходному валу момент инерции РЛДВПТ зависит от угла поворота вала, т. е. является переменным параметром. Хорошо известно, что движение такой системы при некотором сочетании параметров может оказаться неустойчивым. Данная статья посвящена выявлению условий возникновения областей параметрической неустойчивости агрегатов в одномодульной конструкции РЛДВПТ.

*Ключевые слова:* параметрически возбуждаемые крутильные колебания, область параметрической неустойчивости, РЛДВПТ, рычажно-кулачковый преобразователь движения.

### **Введение**

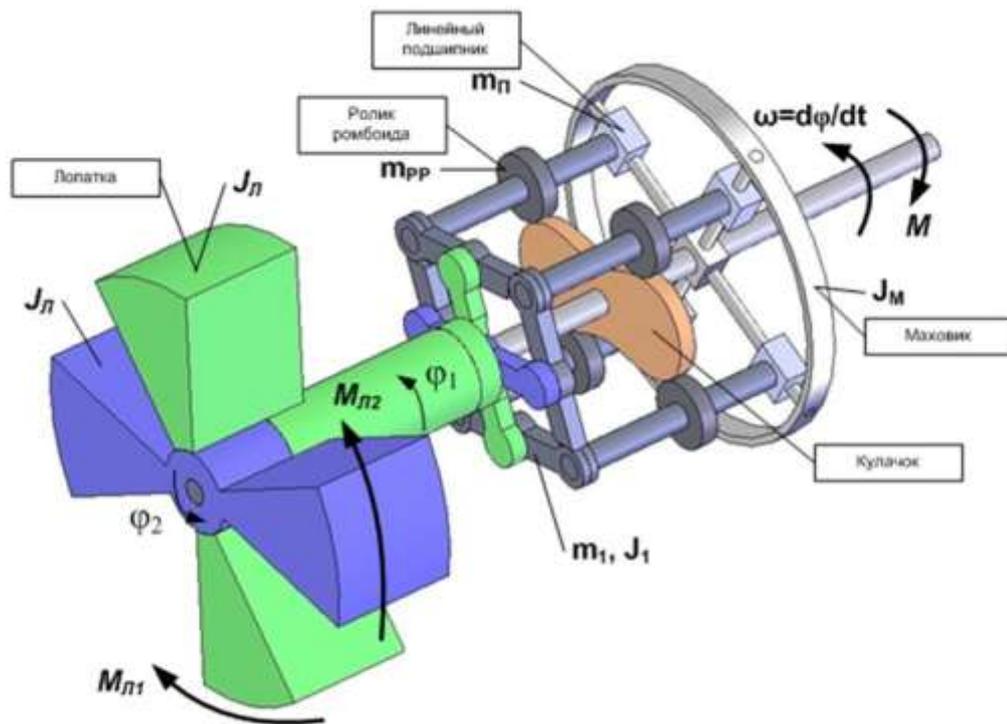
Параметрические колебания часто встречаются в задачах динамики механизмов и машин. В отличие от вынужденных колебаний, параметрически возбуждаемые колебания поддерживаются за счёт изменения инерционного или жёсткостного параметра системы. В пространстве параметров образуются области параметрической неустойчивости системы, отстройка от которых необходима уже на стадии проектирования механизма.

Сотрудниками Псковского государственного университета Ю.Н. Лукьяновым, М.А. Донченко и др. [1,2] был предложен новый тип теплового двигателя: роторно-лопастной двигатель с внешним подводом теплоты (в дальнейшем РЛДВПТ). Такой двигатель может быть в одномодульном и двухмодульном исполнениях. В настоящей статье исследуются параметрические колебания в агрегатах, исполнительный механизм которых приводится во вращение одномодульной конструкцией РЛДВПТ.

Модуль состоит из двух основных узлов: роторно-лопастная группа и рычажно-кулачковый преобразователь движения. Роторно-лопастная группа состоит из цилиндрического корпуса, в котором соосно установлено два ротора с двумя лопатками каждый. Между лопатками образуются четыре рабочие полости переменного объёма, в которых одновременно происходят четыре рабочих такта: сжатие рабочего тела (газа), подвод теплоты и расширение, выпуск рабочего тела, впуск рабочего тела.

Вращательно-колебательное движение роторов с лопатками преобразуется в однонаправленное движение выходного вала с помощью механизма преобразования, состоящего из четырёхзвенного ромбоида и неподвижного кулачка. Ролики, установленные в вершинах ромбоида, двигаются по кулачку, и их движение через линейные подшипники передаётся на выходной вал.

Кулачок с профилем,  $\rho(\varphi) = 2l \sin(a + b \cos 2\varphi)$  обеспечивает изменение угла между осями лопаток  $\psi$  и углов поворота лопаток  $\psi_1$  и  $\psi_2$  по гармоническому закону:  $\psi = 2(a + b \cos 2\varphi)$ ,  $\psi_1 = \varphi + 3\pi/4 + b \cos 2\varphi$ ,  $\psi_2 = \varphi + \pi/4 - b \cos 2\varphi$  [1]. Здесь  $\rho$  – полярный радиус;  $\varphi$  – полярный угол (он же угол поворота выходного вала);  $2l$  – длина звена ромбоида;  $a = \pi/4$ ;  $b = \pi/4 - \psi_{min}/2$ ;  $\psi_{min}$  – минимальный угол между осями лопаток.



**Рис.1. Динамическая схема одномодульного двигателя:**

$J_{л}$  – момент инерции одного ротора с лопатками;  $J_{М}$  – момент инерции маховика;  $m_{1}$  и  $l_{1}$  – масса и момент инерции одного звена ромбоида;  $m_{рр}$  – масса ролика ромбоида;  $m_{п}$  – масса линейного подшипника;  $M_{л1}$  и  $M_{л2}$  – моменты на лопатках от сил давления газа;  $M$  – момент, передаваемый с лопаток на выходной вал;  $\omega$  – угловая скорость выходного вала.

Система, приведённая на рис.1, без учёта упругих деформаций звеньев, имеет одну степень свободы, поэтому её положение полностью определяется обобщённой координатой  $\varphi$  – углом поворота выходного вала.

В предположении, что связи в системе идеальные, трение при взаимодействии элементов отсутствует, в работе [3] получено дифференциальное уравнение движения вала одномодульного двигателя следующего вида:

$$(J_C - J_V \cos 4\varphi)\ddot{\varphi} + (2J_V \sin 4\varphi)\dot{\varphi}^2 = M - M_C, \quad (1)$$

где  $M_C$  – момент сил полезного сопротивления;

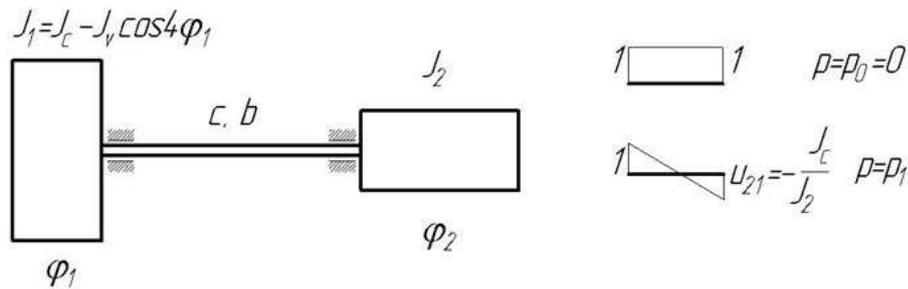
$$\begin{aligned} J_C &= J_M + 2(1 + b^2)[J_{л} + 4l^2(m_{рр} + m_{п}) + 2(J_1 + m_1 l^2)], \\ J_V &= 4b^2[J_{л} + 4l^2(m_{рр} + m_{п}) + 2(J_1 + m_1 l^2)]. \end{aligned} \quad (2)$$

Переменный момент инерции  $J_C - J_V \cos 4\varphi$  в нелинейном уравнении второго порядка (1) является источником возбуждения параметрических колебаний.

При дальнейших исследованиях областей параметрической неустойчивости будем опираться на хорошо разработанную классическую теорию параметрических колебаний [4, 5, 6 и др.]. Прежде всего, это относится к уравнениям Матье для систем с одной или несколькими степенями свободы, которые будем называть каноническими. Решение задач, таким образом, будет сводиться к приведению уравнений движения рассматриваемой системы к каноническому виду с последующим определением областей неустойчивости одним из известных методов.

Нелинейным слагаемым в уравнении (1) будем пренебрегать, т. е. будем использовать линейную постановку задачи. Такая постановка вполне оправдана, поскольку она позволяет найти границы областей неустойчивости и описать поведение системы в течение начального периода возбуждения колебаний. Нелинейная же постановка задачи нужна лишь тогда, когда требуется найти амплитуды параметрического резонанса, что на практике не требуется.

**Расчёт параметрических колебаний в агрегате с одномодульным двигателем.**  
 На рис.2 приведена расчётная схема, которую назовём двухмассовой.



**Рис 2. Расчётная схема.**

Два диска 1 и 2, углы поворота которых  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , соединены упруго-демпферным элементом с жёсткостью на кручение  $c$  и коэффициентом демпфирования  $b$ . Первый диск, моделирующий одномодульную конструкцию РЛДВПТ, имеет переменный момент инерции  $J_1 = J_C - J_M \cos 4\varphi$ . Второй диск моделирует вращающуюся часть приводного механизма (например, ротор генератора) и имеет постоянный момент инерции  $J_2$ .

Свободные крутильные колебания рассматриваемой двухмассовой системы описываются следующими дифференциальными уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} (J_C - J_V \cos 4\varphi) \ddot{\varphi} + b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c(\varphi_1 - \varphi_2) &= 0 \\ (J_2 \ddot{\varphi} + b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c(\varphi_1 - \varphi_2) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Вытекающая из уравнения (3) консервативная система со средним за период моментом инерции  $J_V = J_C$  имеет одну нулевую  $p_0 = 0$  и одну ненулевую  $p_1 = [c(J_C + J_2) / J_C J_2]^{1/2}$  собственную частоту; соответствующие им собственные формы показаны на рис.2.

Далее, по хорошо известной из теории колебаний процедуре, осуществляем переход от физических координат  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  к главным координатам  $q_0$  и  $q_1$ . Координата  $q_0 = \omega t$  описывает равномерное вращение дисков с угловой скоростью  $\omega$ . Полагая, что  $J_V / J_C \ll 1$ , уравнение для координаты  $q_1$  принимает вид канонического уравнения Матье:

$$\ddot{q}_1 + 2\varepsilon \dot{q}_1 + p_1^2 (1 + 2\mu \cos 4\omega t) q_1 = 0 \quad (4)$$

где  $\mu = J_V / 2J_C$  – коэффициент возбуждения;  $4\omega$  – частота возбуждения;  $\varepsilon$  – коэффициент демпфирования.

Данное уравнение хорошо изучено: области параметрической неустойчивости располагаются вблизи значений угловой скорости вала  $\omega_* = p_1 / 2$  – для главной области, и  $\omega_* = p_1 / 4, p_1 / 6$ , – для побочных областей. Границы первых двух областей неустойчивости определяются по формулам:

$$\omega_{1,2} = \frac{p_1}{2} \left[ 1 \pm \sqrt{\mu^2 - \left(\frac{\Delta}{\pi}\right)^2} \right]^{1/2},$$

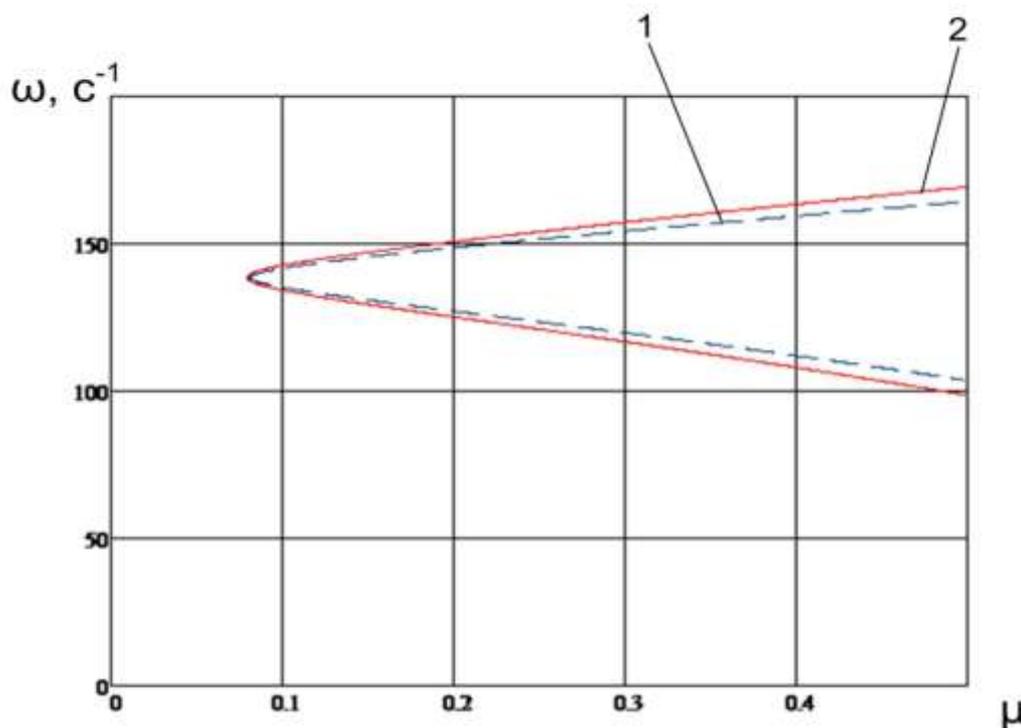
$$\omega_{3,4} = \frac{p_1}{4} \left[ 1 - \mu^2 \pm \sqrt{\mu^4 - \left(\frac{\Delta}{\pi}\right)^2 (1 - \mu^2)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Здесь  $\Delta = 2\pi\varepsilon / p_1$  – декремент свободных колебаний, который играет существенную роль в возможности параметрического возбуждения колебаний. Так при  $\mu < \Delta/\pi$  параметрические резонансы в рассматриваемой системе будут отсутствовать.

### Компьютерное моделирование

Компьютерное моделирование проводилось на примере агрегата с одномодульным двигателем, имеющего  $J_C = 4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $J_V = 0,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $J_2 = 3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $c = 0,132 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ ,  $p_1 = 138,5 \text{ с}^{-1}$ . Номинальная частота вращения  $\omega_n = 157 \text{ с}^{-1}$ .

Расчёты заключались в интегрировании уравнения (4) при заданных начальных условиях с целью отыскания периодических решений, которым соответствуют границы области неустойчивости. Варьировались три параметра: частота вращения  $\omega$ , коэффициент возбуждения  $\mu$  и декремент колебаний  $\Delta$ , связанный с коэффициентом демпфирования  $\varepsilon$  соотношением  $\varepsilon = p_1 \Delta / 2\pi$ .



**Рис.3. График расположения главной области параметрической неустойчивости 1-расчётные данные, 2-теоретические данные**

Цель расчётов – проверка достоверности приближённых теоретических соотношений (5). На рис.3 показано расположение на плоскости параметров  $\mu$ ,  $\omega$  главной (заштрихованной) области параметрической неустойчивости при  $\Delta = 0,2$ . Видно, что имеет место совпадение расчётных и теоретических результатов с точностью до нескольких процентов.

### **Рекомендации по обеспечению параметрической устойчивости**

На стадии проектирования агрегата нужно стремиться подобрать инерционные и жёсткостные параметры так, чтобы номинальная частота вращения была заметно меньше половины первой собственной частоты крутильных колебаний, т. е.  $\omega_n < p_1/2$ . Выполнение этого условия гарантирует параметрическую устойчивость агрегата.

В противном случае нужно по приведённым в настоящей статье расчётным соотношениям построить границы областей неустойчивости и убедиться, что интервал частот вращения от 0 до  $\omega_n$  свободен от этих областей.

### **Выводы**

В настоящей статье показано, что в агрегатах с одномодульной конструкцией РЛДВПТ может возникнуть параметрическая неустойчивость; получены соотношения для расчёта границ областей неустойчивости; приведены рекомендации по обеспечению параметрической устойчивости таких агрегатов.

### **Список литературы:**

1. Вибрации в технике. Справочник, том 1./ под редакцией В.В. Болотина М.: Машиностроение, 1999. 352 с.
2. Волков А.С., Плотников Ю.Г. Динамические расчёты упругих систем/ Хабаровск: ДВГУПС, 2007. 93 с.
3. Донченко М.А., Журавлёв Ю.Н., Иванов А.Н., Тихонов С.И. Динамика роторно-лопастного двигателя с внешним подводом теплоты и рычажно-кулачковым механизмом преобразования движения// Справочник. Инженерный журнал, 2009. №3. С. 21-28.
4. Лукьянов Ю.Н., Плохов И.В., Журавлёв Ю.Н. и др. Механизм для преобразования движения/ Патент. РФ №2374526 от 27.11.2009.
5. Лукьянов Ю.Н., Плохов И.В., Журавлёв Ю.Н. и др. Роторно-поршневой двигатель с внешним подводом тепла/ Патент. РФ №2387844 от 27.04.2010.
6. Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения/ М.: Наука, 1972. 718 с.

**С. А. Жукова к.соц.н., Ю. Ю. Логинова к.пед.н., А. А. Слепов к.т.н.**

Поволжский межрегиональный филиал федерального государственного бюджетного учреждения «ВНИИ охраны и экономики труда» Минздравсоцразвития России (ПМФ ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда» Минздравсоцразвития России)  
Россия, г. Саратов  
sveta\_zhukova@mail.ru; log-ul@list.ru; slepov@muc.renet.ru

## **К ВОПРОСУ О МОТИВАЦИИ РАБОТНИКОВ К БЕЗОПАСНОМУ ТРУДУ**

В качестве одной из значимых причин возникновения несчастных случаев на производстве авторы статьи выделяют факторы мотивации работников к безопасному труду. На основании анализа известных теорий мотивации и объективных закономерностей, влияющих на силу мотивации, предложены конкретные рекомендации руководителям предприятий и инженерам по охране труда, направленные на формирование и развитие мотивации работников к безопасному труду.

*Ключевые слова:* безопасный труд, мотивация, потребности, стимулы, условия труда.

Качественное улучшение условий труда становится все более насущной проблемой для многих предприятий, руководители которых понимают, что невозможно вырваться вперед в условиях жёсткой рыночной конкуренции без создания и постоянного поддержания безопасных условий труда.

Создание безопасных условий труда на производстве предполагает осуществление широкого круга мероприятий, начиная от усовершенствования техники, технологического процесса, условий труда, до организации безопасных условий труда на отдельных рабочих местах, включающих использование СИЗ, обучение безопасной работе, обеспечение соответствующего контроля, пропаганду и воспитание работников.

Обобщение материалов исследований производственных несчастных случаев и аварий позволяет все многообразие непосредственных причин опасных действий свести к 4-м группам причин [3]:

А. Не умеет - это означает, что работник не владеет необходимыми для данной работы знаниями; не овладел соответствующими навыками, методами, приемами, способами.

Б. Не хочет, то есть работник умеет качественно и безопасно выполнять данную работу (операцию), однако у него нет желания соблюдать требования безопасности, иначе говоря, - нет мотивации, не развита психологическая установка на соблюдение этих требований.

В. Не может - это означает, что работник находится в таком физическом или психологическом состоянии, что, несмотря на умение, несмотря на желание, допускает опасное действие.

Г. Не обеспечен. Работник не исполняет предписанное действие из-за необеспечения его необходимыми условиями – инструментами, материалами, приборами, информацией и т.д.

Таким образом, одной из значимых причин возникновения несчастных случаев на производстве является нежелание работника соблюдать требования техники безопасности, т.е. низкая мотивация работников предприятий к безопасному труду. Именно от действий персонала во многом зависит то, насколько успешной будет работа всей организации. Эти вопросы находятся в тесной взаимосвязи с уровнем компетентности персонала и управленческих воздействий различных уровней управления. Высокая мотивация к

безопасному труду работников является одним из важнейших критериев эффективности управления организацией.

Если учесть тот факт, что большинство несчастных случаев происходят по вине самих работников, очевидной становится необходимость разработки системы мотивации к безопасному труду на каждом предприятии.

Термином мотивация могут обозначаться две группы явлений:

— индивидуальная система мотивов;

— система действий по побуждению других сделать что-либо.

Главные рычаги мотивации – интересы, мотивы и стимулы.

Соответственно, руководители предприятий и инженеры по охране труда, опираясь на мотивы работников, должны заинтересовать последних в соблюдении требований безопасности труда и стимулировать необходимое поведение работников. Каким образом это можно сделать?

Мотивация формируется на основе потребностей человека. Исходя из теории иерархии потребностей Абрахама Маслоу, мы знаем, что люди постоянно ощущают какие-то потребности, которые находятся в иерархическом расположении по отношению друг к другу. Потребности, если они не удовлетворены, побуждают человека к действиям. В свою очередь удовлетворенные потребности не мотивируют людей. В соответствии с теорией Маслоу существует пять групп потребностей: физиологические (потребности в пище, воде, воздухе, убежище и т.д.), потребности в безопасности (связаны со стремлением и желанием людей находится в стабильном и безопасном состоянии, исключающем страх, боль, болезни и другие страдания), потребности принадлежности и причастности (человек стремится к участию в совместных действиях, он хочет дружбы, любви, быть членом каких-то объединений людей, участвовать в общественных мероприятиях и т.п.), потребности признания и самоутверждения (отражают желания людей быть компетентными, сильными, способными, уверенными в себе, а также желание, чтобы окружающие признавали их таковыми и уважали за это), потребности самовыражения (выявляются в стремлении человека к наиболее полному использованию своих знаний, способностей, умений и навыков) [1].

Потребность в безопасности является одной из базовых потребностей человека. Однако, если не удовлетворены основные физиологические потребности работника, то потребность в безопасности уходит на второй план.

Для удовлетворения потребностей первого и второго уровней руководителю необходимо сделать труд работников комфортным, удобным, безопасным, рационально организованным, работники должны иметь правовые гарантии занятости и заработной платы.

Согласно мотивационной теории ожиданий В. Врума степень мотивированности сотрудников организации к труду (или какой-либо другой деятельности) зависит от их представлений относительно своих способностей к выполнению стоящих перед ними задач и реальности достижения поставленной цели. Так, например, если рабочий не уверен в том, что он способен эффективно работать с использованием СИЗ, или в том, что такая работа принесет ему повышение заработной платы, то у него нет мотивации к использованию СИЗ.

В соответствии с мотивационной теорией справедливости, разработанной социальным психологом Дж. Стейси Адамсом, сотрудник организации в случае недооценки своей деятельности руководством будет уменьшать затрачиваемые усилия. Если же посчитает, что его труд переоценен, то, скорее всего, сохранит объем затрачиваемых усилий и даже увеличит его.

Существуют и другие объективные закономерности, влияющие на силу мотивации, подробный анализ которых приводится в монографии М.А. Котика [2]. Например, влияние осознанности объекта мотивации. Еще в начале XX века немецкий психолог Н. Ах экспериментально доказал, что ясность и определенность объекта устремлений

повышает волевые усилия и активность организма и усиливает силу мотива к достижению этого объекта. Следовательно, если рабочий недостаточно четко представляет опасность своего труда, а поэтому недостаточно ясно осознает пользу средств защиты и правил техники безопасности, то сила его мотивации к использованию этих средств и выполнению правил будет невысокой. В результате его поведения в данном труде будет детерминировать не мотив безопасности, а другие мотивы.

Задачи информационной пропаганды в данном случае являются одними из важнейших. Существующие способы пропагандистского воздействия можно разделить на две группы:

- **одноканальные**, при которых существует канал воздействия, но отсутствует непосредственный канал обратной связи для контроля восприятия этого воздействия. Средствами одноканального воздействия являются печатные издания (брошюры, информационные листки и т.д.), плакаты и знаки безопасности, стенные газеты и «молнии», информационные стенды и уголки по охране труда, выставки, лекции и доклады, аудиовизуальные средства (телевидение, кино, диафильмы, радиопередачи и т.д.).

- **двухканальные**, при которых в процессе воздействия имеется возможность контролировать его восприятие. Такое воздействие реализуется посредством бесед, коллективного обсуждения с работающими несчастных случаев, путей профилактики травматизма и т.д.

Каждый из способов пропаганды должен избираться применительно к решаемой задаче.

Не менее важным оказывается влияние навыка на силу мотива. Навыки способствуют улучшению результатов деятельности, а деятельность, которая совершается более успешно, становится и более притягательной в будущем. Следовательно, вырабатывая навыки к безопасному труду, рабочий тем самым усиливает собственную мотивацию к выполнению правил техники безопасности. Причем под воздействием более сильного мотива становление навыка идет быстрее. Получается целесообразная цепочка замкнутых факторов: сильный мотив способствует становлению навыка, а устанавливающийся навык в еще большей мере усиливает этот мотив.

Исходная притягательность предметов также влияет на силу мотивов. Человеку свойственно идеализировать притягательные предметы, что способствует еще большему усилению стремлений к этим предметам, или делает их объектом других мотивов. Например, рабочий в конце смены мотивирован быстрее завершить задание. Но тут он узнает, что должен до конца работы решить важный для него вопрос. Теперь уже два мотива будут побуждать его действовать быстрее. Под влиянием подобной усиленной мотивации может нарушиться адекватность восприятия, и человек может воспринять ситуацию такой, какой хотел бы ее видеть, а не такой, какой она является в действительности. К тому же, под влиянием сильного мотива, который понижает критичность при оценке окружающих условий, человек может легко принять желаемое за действительное.

Мотивацию к безопасному труду усиливают два обстоятельства:

- когда без риска удаётся получить желаемый результат;
- когда рискованное поведение ведёт к несчастному случаю.

В экспериментальной психологии существует понятие так называемого градиента цели, которое означает, что с приближением цели усиливается сила мотива к ее достижению, или, другими словами, при равных по силе соперничающих мотивах побеждает тот, который быстрее реализуется (т.е. имеет более высокий «градиент»). Для рабочего получаемая выгода (большая выработка) реализуется здесь же, в процессе работы, и ее вероятностью выше, чем вероятность опасности (как нечто, связанное с будущим). Поэтому-то «градиент» выгоды оказывается выше, чем «градиент» опасности, и это способствует выбору второй стратегии.

Из представленного материала следует, что имеются объективные причины, делающие мотив выгоды более предпочтительным по сравнению с мотивом безопасности. Но отсюда вытекают и возможные пути борьбы с таким положением:

✓ Находить пути подкрепления и усиления мотива безопасности, посредством материального и социального стимулирования безопасного труда. Материальные затраты на такую стимуляцию многократно окупаются за счет снижения потерь от травматизма. Стимуляция безопасного поведения может осуществляться и в социальном плане, когда пунктуальное выполнение требований безопасности труда, обеспечивающее его высокую производительность и культуру, специально оценивается, ставится в пример другим, социально поощряется.

✓ Для того чтобы мотивировать конкретного человека, руководитель должен дать ему возможность удовлетворить его важнейшие потребности посредством такого образа действий, который способствует достижению целей всей организации. Если раньше руководители организаций могли мотивировать подчиненных почти исключительно только экономическими стимулами, поскольку поведение людей определялось, в основном, их потребностями низших уровней, то на сегодняшний момент руководителям следует уделять значительное внимание методам удовлетворения потребностей высших уровней.

✓ В процессе формирования мотивов работники не только соотносят цели организации и индивидуальные задания с собственными потребностями и определяют их личную привлекательность, но и оценивают средства, инструменты и вероятность достижения этих целей. Вот почему недостаточно только предложить сотрудникам сильные стимулы, важно указать им средства и возможности достижения целей.

✓ Культивировать в коллективе такой психологический климат, при котором падение авторитета из-за нарушения правил безопасности сводило бы на нет все материальные выгоды, которые могли бы быть достигнуты за счет нарушений.

✓ Проводить регулярное обучение работников оценке возможных рисков на рабочем месте.

✓ Регулярно информировать работника об изменении уровня безопасности на его рабочем месте.

В качестве примера разработки и внедрения системы мотивации работников к безопасному труду можно привести действующую систему управления охраной труда на ОАО «Саратовский НПЗ» [4]. Главным инструментом работы системы управления охраной труда является вовлечение каждого работника и подрядчика в вопросы охраны труда. Способы вовлечения разнообразны.

Первый способ – проведение «Пятиминуток безопасности». Это общение работников и руководителя по вопросам охраны труда, с которого начинается каждый рабочий день и каждая рабочая смена, где обсуждаются результаты прошедшего дня, работа предыдущей смены, высказываются замечания по оборудованию, анализируется предстоящая работа и те опасности, которые могут возникнуть в ходе ее выполнения.

Другим эффективным способом вовлечения работников в вопросы безопасности на ОАО «Саратовский НПЗ» является инструмент «5 шагов безопасности». Это активный инструмент анализа рисков для руководителей, направленный на анализ и оценку ситуации с целью безопасного выполнения новых работ без травм и происшествий, включающий ежедневный инструктаж работников.

В качестве инструмента обратной связи и контроля выступает работа «Команды по устранению рисков», являющаяся одним из этапов совершенствования системы поведенческих аудитов безопасности. В соответствии с основными теориями мотивации как хорошее, так и плохое поведение людей не должно оставаться без внимания и оценки, в связи с чем, полученные «Командой по устранению рисков» наблюдения, доводятся до каждого работника и руководителя, фотографии и комментарии к ним вывешиваются в общественных местах, обсуждаются на совещаниях.

На ОАО «Саратовский НПЗ» действует система мотивации «Пять звезд», предполагающая командное соревнование, в котором проигрывает худший, а все остальные выигрывают и получают премию. Все цеха оцениваются внешними экспертами (главными специалистами), которые присваивают или снимают так называемые звезды. Звезды присваиваются как подразделению, так и отдельным работникам. Подразделение, у которого по итогам квартала оказался наименьший показатель эффективности, выбывает из соревнования и остается без премии. На подразделение ежеквартально выделяется зафиксированная сумма премии, а каждому работнику присваивается по пять звезд. Если подразделение не вышло из соревнования, то премия делится на количество заработанных персоналом звезд и определяется стоимость одной звезды. А затем каждый работник получает премию, размер которой зависит от заработанных им звезд.

Таким образом, используя материальную стимуляцию, информирование работников о возможных рисках на рабочем месте, вовлечение всех работников предприятия в соревновательную деятельность, повышая значимость вклада каждого сотрудника в общее дело возможно построить эффективную систему управления охраной труда на любом предприятии. Главное – подойти к вопросам охраны труда творчески, использовать уже имеющийся опыт и научные разработки.

#### *Список литературы:*

1. *Кибанов А.* Концепции мотивации и стимулирования трудовой деятельности // Кадровик. Кадровый менеджмент. 2008. N 5. С. 45 – 59.
2. *Котик М. А.* Психология и безопасность. Таллин: Валгус, 1987. 440 с.
3. Клуб инженеров по охране труда // Психология безопасного труда [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://dvkuot.ru/index.php/artikul/227-bestrud> (дата обращения: 18.02.2012).
4. *Якимов С., Балабанова Т.* Система безопасности от «А» до «Я» // Охрана труда. Практикум. 2011. №6. С. 37 – 42.

**Н. С. Захаров д.т.н., А. М. Конин, В. А. Тюлькин к.т.н.**

Тюменский государственный нефтегазовый университет  
Институт транспорта  
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин  
Россия, г. Тюмень  
tyulkinva@yandex.ru

## **ВЛИЯНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ВОДИТЕЛЕЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ**

В работе рассматривается вопрос влияния квалификации водителей на эффективность эксплуатации автомобилей. Предложена математическая модель закономерности влияния водительского стажа на интенсивность эксплуатации автомобилей.

*Ключевые слова:* квалификация водителей автомобилей, водительский стаж, интенсивность эксплуатации автомобилей

Неоспоримым является утверждение, что реализуемые показатели качества автомобилей зависят от условий эксплуатации.

Рассматривая закономерности изменения параметров технического состояния автомобилей, многие авторы сходятся во мнении, что интенсивность изменения параметров определяется природно-климатическими условиями, дорожными условиями, режимом работы подвижного состава.

Среди прочих факторов, определяющих режим работы автомобилей, выделяется квалификация водителей, которая непосредственным образом определяет эксплуатационные свойства автомобилей.

По предварительной оценке совокупного влияния водителей на уровень технической готовности и затрат на ТО и ТР автомобилей на долю водителей приходится примерно 33 ÷ 36 % [1, с. 228].

Р.Х. Хасанов, рассматривая процесс влияния квалификации водителей на эффективность эксплуатации автомобилей, утверждает, что «главное влияние на показатели надежности автомобилей оказывает профессиональная подготовленность (мастерство) водителя...» [8, с. 50].

Аналогичные выводы делают А.В. Вельможин, В.А. Гудков и Л.Б. Миротин [2], которые, рассматривая группы из 50 разномарочных автомобилей (табл. 1), эксплуатирующихся в одинаковых условиях, отметили, что «повышение квалификации водительского состава приводит к увеличению эксплуатационной скорости движения, числа дней работы на линии, а также к снижению простоев на линии по техническим неисправностям автомобиля, времени простоя в ремонте и возврата с линии по техническим неисправностям».

**Таблица 1 - Показатели работы водителей I – II – III класса [2]**

Класс водителей	Число рабочих дней на линии за месяц	Дни простоя в ремонте за месяц	Число возвратов автомобиля с линии	Пробег автомобиля за 1 ч в наряде, км/ч	Простои по техническим неисправностям	Пробег автомобиля с грузом за месяц, км
I	20.5	1.5	0.5	30.01	0.15	2651.1
II	19.6	2.1	0.8	29.88	0.37	2246.0
III	18.4	2.8	1.4	28.920	0.89	2121.5

Влияние водителей на показатели надежности и эффективности технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) проявляется в выборе рациональных режимов работы агрегатов в конкретных условиях перевозок, способности своевременно фиксировать признаки приближающихся отказов и неисправностей, принимать меры по их предупреждению, в заинтересованности применять рациональные режимы вождения и работы агрегатов, а также следить за техническим состоянием автомобиля. Т.е. квалификация водителей во многом определяется мастерством и качеством вождения.

Качество вождения обуславливает соответствие режимов работы автомобиля условиям движения и степень приближения их к оптимальным. Оно определяется методами и мастерством вождения. В зависимости от качества вождения изменяются режимы работы механизмов и агрегатов, нагрузки на детали трансмиссии и ходовой части, а значит, и скорость изнашивания деталей, сроки их службы.

Мастерство вождения заключается в достижении высоких скоростей движения при обеспечении безопасности, плавности хода и установленного расхода топлива. Показателями мастерства вождения могут выступать: минимальное число разгонов, торможений, переключений передач; отсутствие частых и резких поворотов; минимально возможный перепад скоростей и нагрузок; поддержание соответствующего теплового режима; обеспечение плавности хода и т.д.

Перечисленные выше профессионально-квалификационные факторы обеспечиваются в процессе обучения, стажировки, практического вождения и обмена опытом, т.е. уровень квалификации водителя растет в соответствии с его водительским стажем, что позволяет говорить о водительском стаже как показателе квалификации водителя.

Анализ априорной информации по вопросам влияния квалификации водителей на эффективность ТЭА показал, что данному направлению научных изысканий не уделялось достойного внимания, закономерности, раскрывающие зависимость влияния водительского стажа на интенсивность эксплуатации автомобилей не раскрыты, что говорит об актуальности исследований в данном направлении.

В качестве теоретических предпосылок при установлении общего вида математической модели закономерности влияния водительского стажа на интенсивность эксплуатации автомобилей при разработке математической модели могут служить работы ряда авторов [1, 4, 6, 7], научные интересы которых обращены в сферу обеспечения безопасности дорожного движения, что, впрочем, не умаляет их значимость в затронутом вопросе, поскольку транспортный процесс неразрывным образом связан с безопасностью движения.

В работах [1, 4] отмечается, что по мере роста водительского мастерства наблюдается рост скорости движения автомобиля, снижение частоты вращения коленчатого вала двигателя, снижение нагрузки на тормозную систему и интенсивности использования тормозных механизмов, снижение доли тормозного пути в общем пути, ресурс агрегатов растет, а количество отказов снижается.

В работе [6] А.Э. Горев, Е.М. Олещенко утверждает, что к факторам, определяющим поведение водителя за рулем относятся «возраст, пол и опыт вождения,

информированность, опасные состояния». О влияние возраста водителя и опыта вождения авторы судят по мировым тенденциям риска возникновения ДТП. Так, риск ДТП максимален в случае управления автомобилем молодыми (до 25 лет) и пожилыми (старше 65 лет) водителями [6, с. 155]. Большая доля ДТП с участием молодых водителей обусловлена их поведением, в то время как для водителей со стажем первопричиной становится снижение физиологических реакций, но «опыт водителя старшего возраста способен компенсировать снижение его физиологических возможностей». В качестве подтверждения сказанного авторы ссылаются на аналогичные результаты, полученные европейскими исследованиями (табл. 2).

**Таблица 2 - Влияние возраста водителя на число ДТП [6]**

Страна	19 – 20 лет	21 – 24 лет	25 – 44 лет	45 – 64 лет	65 – 74 лет	Старше 75 лет
Норвегия	3,1	1,6	0,7	0,8	0,8	3,3
Швеция	3,1	1,9	0,8	0,6	1,3	5,6

Примечание. Средний показатель для всех возрастных групп равен 1.

Данные табл. 2 наглядно показывают, что всплеск ДТП наблюдается в первый год вождения, а в совокупности с «молодостью» водителя этот риск ДТП только увеличивается. Низкая квалификация водителей отражается на скорости восприятия дорожно-транспортной ситуации, которая «оценивается частотой осмотра дорожной обстановки и отбора необходимой информации» [1, с. 28]. При сравнении водителей с разной квалификацией В.У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт [1] отмечают, что «начинающие водители имеют очень низкий темп осмотра, так как они значительное время затрачивают на оценку важности поступающей информации, в то время как у опытных водителей такая оценка не занимает много времени и поиск нужной информации значительно эффективнее», а как итог у новичка время реакции более продолжительнее, чем у опытного водителя, у которого «процессы в центральной нервной системе протекают быстрее».

Вместе с тем с увеличением стажа и ростом уровня профессионального мастерства у водителей объективно ухудшается состояние здоровья – снижается острота зрения и слуха, появляются хронические заболевания, снижается скорость физиологических реакций, с чем связан рост риска ДТП. Схожие выводы делаются в работе [1]: «С увеличением возраста процесс центральной нервной системы замедляются, время реакции у водителя увеличивается, но этот процесс протекает постепенно в течение многих лет и компенсируется изменениями скорости ...»

Из сказанного можно с полным правом сделать вывод, что водительский стаж влияет на интенсивность эксплуатации автомобиля, и эта зависимость не имеет прямолинейного характера. В начальный период – период профессионального становления водителя, недостаток навыков, умений и практического опыта компенсируется низкими скоростями движения, невысокой интенсивностью эксплуатации автомобиля.

По мере совершенствования мастерства, повышения квалификации водителей скорости движения и интенсивность эксплуатации, управляемых ими транспортных средств, растут, но этот рост продолжается до определенного момента, по достижении которого квалификация перестает играть определяющую роль в технической эксплуатации автомобилей, что обусловлено ухудшением состояния здоровья водителей.

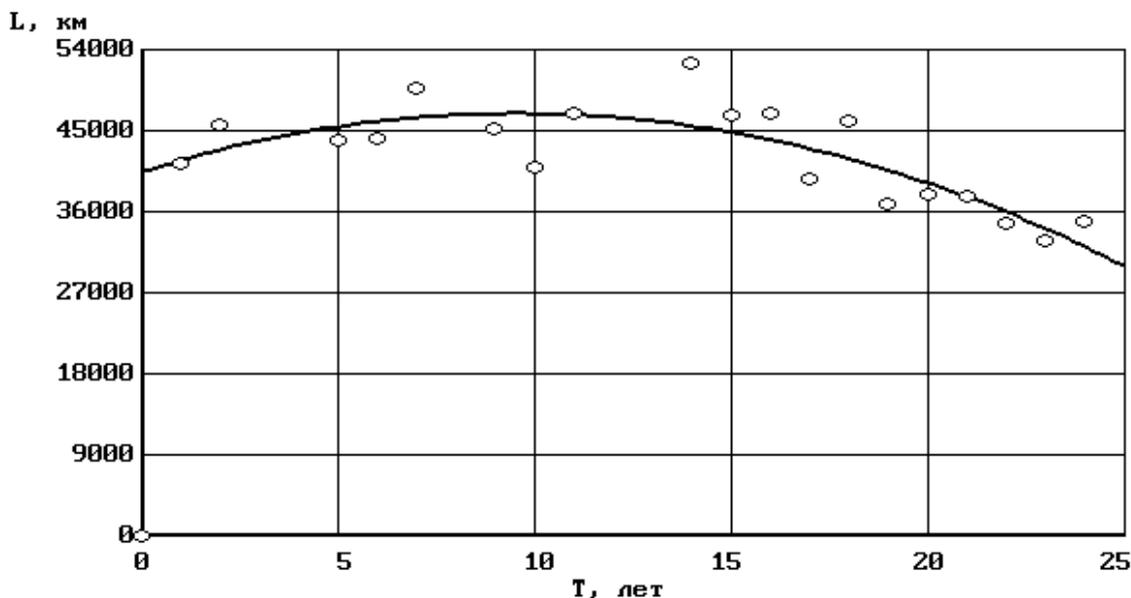
Таким образом, если описывать рассматриваемый процесс изменения интенсивности эксплуатации автомобилей под влиянием уровня квалификации, в частности, водительского стажа, то гипотетически можно предположить квадратический вид математической модели

$$L = L_0 + b(T_{\text{стаж}} - T_0)^2,$$

где  $L$  – годовая интенсивность эксплуатации автомобиля;  
 $L_0$  – годовая интенсивность эксплуатации автомобиля при оптимальном  $T_0$  водительском стаже;  
 $b$  – параметр чувствительности интенсивности эксплуатации к водительскому стажу.

Согласно предложенной модели имеется оптимальный водительский стаж, при котором интенсивность эксплуатации автомобиля находится на оптимальном (наивысшем) уровне. При отклонении от этого оптимума, интенсивность эксплуатации снижается, но этот процесс во времени протекает по-разному. По достижении водителем оптимального стажа и продолжения профессиональной деятельности снижение эффективности идет менее интенсивно, чем на начальном этапе – в период формирования профессионального мастерства.

Для проверки или опровержения выдвинутой гипотезы о виде математической модели, оценки численных значений параметров математической модели послужили статистические данные об интенсивности эксплуатации автосамосвалов КамАЗ-65115, принадлежащих ЗАО «Управление механизированных работ-2» г. Тобольска.



#### Зависимость среднегодового пробега автомобилей КамАЗ-65115 от водительского стажа персонала.

В ходе проведенного корреляционно-регрессионного анализа с использованием средств программного продукта «Regress 2.5» [3] была получена следующая математическая модель

$$L = 46935 - 71 \times (T_{\text{стаж}} - 10)^2$$

Полученные статистические характеристики позволяют говорить, что между водительским стажем и годовой интенсивностью эксплуатации автомобилей существует тесная связь (коэффициент корреляции  $r = -0.82$ ), а предложенная математическая модель квадратического вида адекватно описывает природу влияния водительского стажа на

интенсивность эксплуатации (средняя ошибка аппроксимации  $\varepsilon = 5.9 \%$ , дисперсионное отношение Фишера при  $\alpha=0.95 - 2.87$ ), но предложенная модель не раскрывает природу влияния фактора времени – водительского стажа, на показатели мастерства вождения: число разгонов, торможений, переключений передач; перепад скоростей и нагрузок, поддержание соответствующего теплового режима и т.д., что требует проведения более глубоких и детальных исследований в затронутой проблеме.

### ***Список литературы:***

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник. Пер. с англ. / В.У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. – М.: Транспорт, 1981 – 592 с.
2. Грузовые автомобильные перевозки: Учебник для вузов / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Куликов – М.: Горячая линия – Телеком, 2006 – 560 с.
3. Захаров Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 39 с.
4. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. –5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001 – 247 с.
5. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
6. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 256 с.
7. Организация и безопасность движения: Учеб. для вузов/ В.И. Коноплянко. – М.: Высш. шк., 2007 –383 с.: ил.
8. Хасанов Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: Учеб. пособие – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2003. – 196 с.

**А. М. Игнатова**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
механико-технологический факультет  
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов  
Россия, г. Пермь  
ignatovaanna2007@rambler.ru

### **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА СВАРОЧНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В работе представлены результаты изучения современных методов определения фракционного состава и продемонстрированы их возможности на практике.

*Ключевые слова:* фракционный состав, порошковые материалы, методы исследований.

Важнейший критерий качества сварочных порошковых материалов – фракционный состав [1]. Традиционные методы [2] контроля фракционного состава не дают информации о морфологии частиц, ориентированы на частицы крупного размера и не характеризуют содержание частиц размером менее 50 мкм. Поэтому применение более современных и информативных методов для оценки фракционного состава порошковых материалов является актуальным.

Цель представленного исследования и оценить на практике возможности современных методов контроля фракционного состава порошковых материалов, систематизировать информацию о возможностях различных методов.

В исследовании рассматривается один традиционный метод - ситовой анализ и три наиболее современных метода - лазерное сканирование, электронная микроскопия и фотонная корреляционная спектроскопия (анализ размера частиц в коллоидном растворе) [3].

В качестве объекта исследования, на котором были опробованы вышеупомянутые методы, был выбран габбро-диабаз Пермского края. Результаты анализа фракционного состава данного сырья необходимы для оценки перспективности его использования при изготовлении обмазки покрытых электродов [4].

Согласно нормативным требованиям [5] диапазон размеров частиц порошковой шихты для покрытых электродов, керамических флюсов и порошковых проволок составляет от 50 до 400 мкм [1].

Традиционным методом оценки фракционного состава порошковых смесей, которым является ситовой анализ, предусмотренный ГОСТ 6613-86, ГОСТ 3584-5. Сущность метода заключается в том, что порошковую смесь просеивают на вибрационном стенде через ситовой анализатор, в котором сита с разным размером ячейки от большего к меньшему установлены последовательно друг над другом. Недостаток метода в том, что он не позволяет обнаруживать фракции менее 50 мкм. Кроме того, для проведения анализа требуется большое количество исследуемого порошка, при фракции 0,1-3,0 мм масса пробы 25-300 г.

*Метод лазерного сканирования* заключается в том, что образец порошка при динамическом перемещении, для этого образец помещают в проточную кювету и просвечивают лазерным лучом. Попадая в луч, частицы начинают рассеивать свет, угловая зависимость интенсивности рассеянного света зависит от размеров частиц. Метод лазерного сканирования позволяет быстро провести измерения (за 3-5 мин), измерить размер частиц в широком диапазоне (от 0,2 до 2000 мкм), минимальное количество порошка необходимое для контроля - 2-5 г. Однако, данный метод, как и ситовой анализ не позволяет определить морфологию частиц.

*Гранулометрический анализ с помощью электронной микроскопии* подразумевает оценку параметров частиц порошка по изображениям, полученным с электронного микроскопа.

Электронная микроскопия с анализом изображения позволяет определить не только мелкодисперсную фракцию менее 0,1 мкм, но и исследовать морфологию частиц, а при достаточном техническом оснащении существует возможность определить химический состав отдельных частиц. Однако, этот метод является дорогостоящим и требует высокой квалификации персонала, как для получения результатов так и для их обработки.

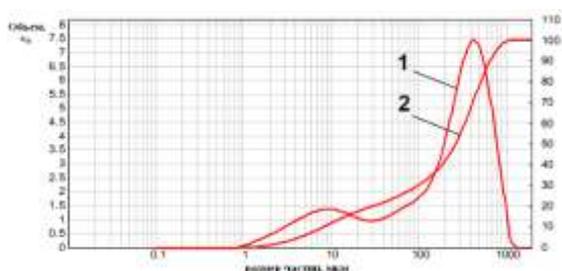
*Метод фотонной корреляционной спектроскопии* предназначен для частиц, распределенных в коллоидных растворах, позволяет оценить размер частиц и отдельных молекул в диапазоне от 0,3 нм до 10 мкм методом динамического рассеяния света (динамическое светорассеяние, фотонная корреляционная спектроскопия). При анализе методом фотонной корреляционной спектроскопии (ФКС), исследуемая дисперсия освещается узким лучом света монохроматического, когерентного источника. Поскольку частицы находятся в постоянном Броуновском и/или тепловом движении, будут наблюдаться флуктуации интенсивности светорассеяния во времени, по которым и можно судить о параметрах частиц порошка. Данный метод предназначен для оценки очень мелкодисперсных частиц до 10 мкм, частиц меньшего размера оседают и не находятся во взвешенном состоянии в растворе, этот метод так же не позволяет оценить морфологию частиц.

При проведении практической части исследования, исследовали порошок на основе габбро-диабазов Пермского края, каждым из представленных методов.

Образец порошка габбро-диабазы был получен в результате помола в шаровой мельнице. Для помола была использована мельница с горизонтальной осью вращения объемом 10 л в фарфоровом корпусе, дробящими элементами которой выступали фарфоровые ролики. Время помола составило 1 ч [6].

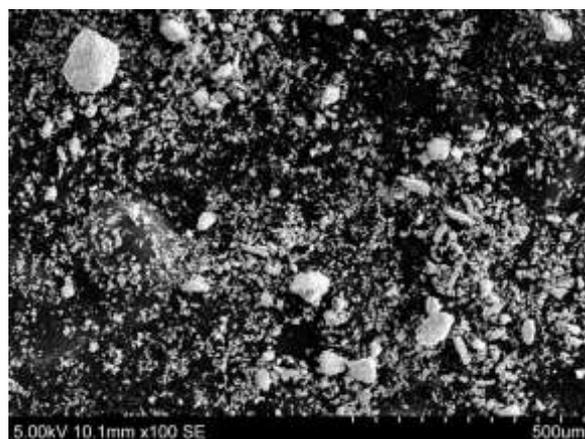
Вначале фракционный состав был оценен ситовым анализом. Вес пробы составил 1000 г. Время проведения - 30 мин. В качестве оборудования использовали вибрационный стенд Jurgen Retsch и ситовой анализатор MSS NexLab. Установлено, что в образце частицы фракцией более 500 мкм составляют 24%, 500-300 мкм – 23,6%, 300-200 мкм – 25,6%, 200-50 мкм – 17,30%, менее 50 мкм – 22,40 %.

При проведении лазерного сканирования использовали 3-5 г этого же порошка. Время определения составило 5 мин. Результаты оценки фракционного состава, полученного лазерным сканированием на установке Mastersizer 2000 представлены в форме диаграммы и таблицы (рис. 1). Установлено, что общая удельная поверхность частиц при плотности образца 1 г/см<sup>3</sup> составляет 0,233 м<sup>2</sup>/г. Качество помола образца габбро-диабазов удовлетворяет требованиям к сварочным материалам (средний объемный диаметр частиц 303,2 мкм), но в этот диапазон попадет лишь 43,63 % анализируемого образца, следовательно, требуется отделение более крупной и мелкой фракции. В отличие от ситового анализа отделение этих фракций невозможно.

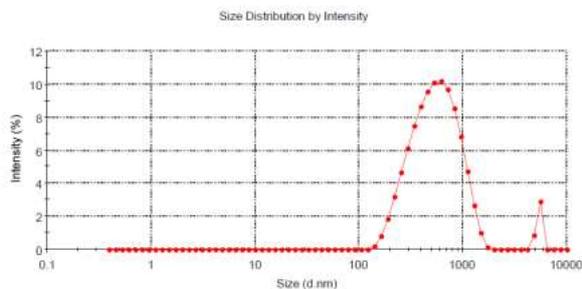


**Рис. 1. Фракционный состав порошка габбро-диабазы по данным лазерного сканирования:**

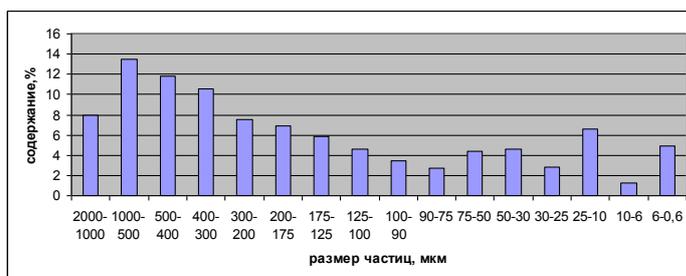
**1 – распределение частиц относительно объема фракции; 2 – интегральное распределение частиц в зависимости от общего объема фракции**



**Рис. 2. Гранулометрический состав и морфология частиц габбро-диабазы Пермского края, x100**



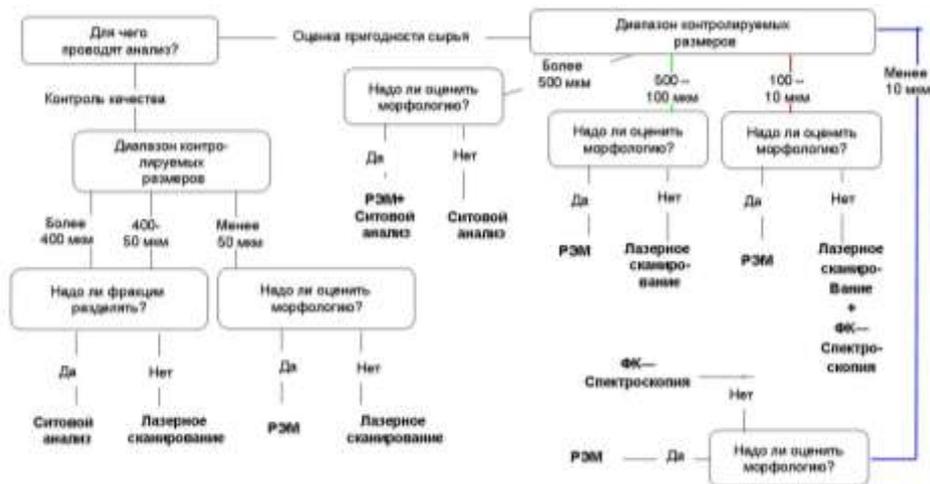
**Рис. 3. Диаграмма фракционного состава ТССА.**



**Рис. 4. Общая диаграмма распределения фракционного состава частиц в образце.**

При проведении сканирующей электронной микроскопии использовался микроскоп марки Hitachi S-3400N, потребовалось менее 1 г пробы габбро-диабазы. Время проведения электронной микроскопии составило 40 мин. Результаты анализа позволили получить информацию не только о фракционном составе, но и о морфологии отдельных частиц (рис. 2). Частицы имеют разную форму, обнаружены кристаллы, гранулы, осколочные частицы, сложные агломераты. Данный метод позволил оценить соотношение частиц в диапазоне до 100 мкм, получены следующие результаты частиц размером 100-90 мкм содержится 7%, 90-45 мкм - 2%, 75-50 мкм – 4,3%, 50-30 мкм – 4,5%, 30-25 мкм – 1,7%, 25-10 мкм – 5,5%, 10-0 мкм – 3%.

При проведении ФКС на установке Zetasizer Nano исследован фракционный состав доли образца, которую составляют частицы размером до 10 мкм (около 5% от всего объема). Результаты представлены в форме диаграммы (рис. 3). Согласно полученным данным, частицы размером 0,6 мкм составляют 4,8%, а частицы 6-10 мкм 0,2%.



**Рис. 5. Блок-схема выбора метода оценки фракционного состава.**

Таблица 1

## Характеристика различных методов оценки фракционного состава

Метод анализа	Характеристика							
	Необходимое количество порошка для анализа, г	Время проведения анализа, мин	Диапазон улавливаемых размеров, мкм	Возможность отделять частицы разного размера	Возможность определить морфологию частиц	Возможность определения состава частиц	Возможность подсчета удельной поверхности	Возможность подсчета среднего радиуса
Ситовой анализ	25-500	30-60	>50	+	-	-	-	+
Лазерное сканирование	2-10	3-5	0,2 - 2000	-	-	-	+	+
Электронная микроскопия	1-5	60-120	<0,2	-	+	+	-	+
ФКС	2-5	3-5	10-0,0003	частично	-	-	-	-

Все данные о фракционном составе, полученные разными методами, были сопоставлены и подвергнуты математической обработке, в результате получена диаграмма распределения частиц по фракционному составу, содержащая наиболее исчерпывающую информацию (рис. 4). По завершению практической части исследования все данные о возможностях методов оценки фракционного состава были систематизированы (табл. 1), а так же преобразованы в блок-схему (рис. 5).

Таким образом, изучены наиболее современные методы оценки фракционного состава порошковых материалов, проведены практические исследования по оценке фракционного состава порошка из габбро-диабазов Пермского края с использованием указанных методов, продемонстрированы их возможности. Данные полученные в ходе исследования свидетельствуют о том, что порошок габбро-диабазы состоит из частиц различной формы, средний диаметр частиц составляет 250 мкм, средняя удельная поверхность  $0,4 \text{ м}^2/\text{г}$ . При обобщении данных, полученных всеми тремя методами, установлено, что доля частиц размером более 400 мкм составляет – 33,2%, частиц размер которых находится в рамках рекомендуемого диапазона 400- 50 мкм – 46,1% и частиц мельче 50 мкм- 20,2%, в целом в порошковой пробе обнаружено 16 размерных групп частиц. Сведения о методах описанных в исследовании систематизированы в виде таблицы и блок схемы и могут быть использованы для оценки фракционного состава порошковых смесей.

## Список литературы:

1. Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. - М.: Недра, 1980. - 415 с.
2. Волков В.А. Коллоидная химия: Поверхностные явления и дисперсные явления: учебник для вузов. - М.: Изд-во МГТУ, 2001. - 640 с.
3. Игнатов М.Н., Ханов А.М. Основы технологии электродного производства: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. - Пермь, 1997. - 109 с.
4. Коузов П.А. Основы анализа дисперсионного состава промышленных пылей и измельченных материалов. - М.: Химия.- 1971- 180с.
5. Наумов С.В. Современные методы определения гранулометрического состава порошкообразных компонентов сварочных материалов // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2012. – Т.14, №1. – С. 76-84.
6. Петров Г.Л. Сварочные материалы. -Л.: Машиностроение, 1972. -250 с.

**А. М. Игнатова, М. Н. Игнатов д.т.н.**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
механико-технологический факультет  
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов  
Россия, г. Пермь  
ignatovaanna2007@rambler.ru

## **ОЦЕНКА МОРФОЛОГИИ, ДИСПЕРСНОСТИ, СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПОСРЕДСТВАМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В работе представлены результаты изучения основных характеристик частиц сварочных аэрозолей, представлен фракционный, морфологический и химический анализ.

*Ключевые слова:* сварочные аэрозоли, фракционный состав, безопасность труда, сварочные работы

Сварочные работы являются на сегодняшний день основным способом изготовления и монтажа различных металлоконструкций, ему, как и всякому производственному процессу, сопутствуют различные вредные факторы, например, образование сварочных аэрозолей (СА). При длительном воздействии на организм сварщика СА наносят существенный вред здоровью, их воздействие может стать причиной развития профессиональных легочных заболеваний [1].

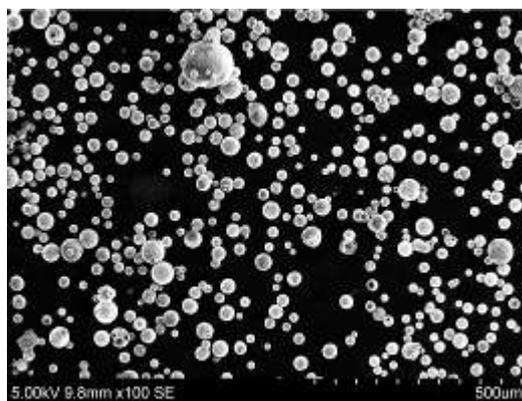
Существует две версии механизма образования аэрозолей, первая предполагает последовательность *Испарение-Конденсация-Окисление*, а вторая *Испарение-Окисление-Конденсация* [2].

Состав сварочного аэрозоля зависит от состава сварочных и свариваемых материалов. Твердая составляющая сварочного аэрозоля (ТССА) – непосредственно твердые мелкодисперсные частицы, а газовая составляющая (ГССА) дисперсионная среда [3]. Известно [4], что ТССА образуется преимущественно при испарение компонентов сварочных материалов на торце электрода и в нижней части дуги, отсюда они выносятся газовыми потоками в окружающую атмосферу, температура которой значительно ниже, чем в зоне дуги, поэтому частицы мгновенно конденсируются и окисляются [5]. Установлены взаимосвязи технологических параметров сварки с характеристиками ТССА и ГССА [6]. Испарение частиц в зоне сварочной ванны может быть равновесным – фракционный путь и неравновесным (взрывным) – нефракционный путь, в свою очередь на то каким будет испарение влияет способ переноса металла, капельный или струйный, причем при капельном переносе нефракционных аэрозолей как правило образует больше [7]. Как правило, контролируют общую загрязненность воздуха и сравнивают ее с ПДК ТССА и ГССА, которая управляется вентиляцией и использованием индивидуальных средств защиты. Медицинскими исследованиями установлено, что вредность СА зависит не только от ПДК вредных веществ, но и от их морфологии, дисперсности, состава и структуры.

Целью настоящей работы является оценка морфологии, состава, структуры и дисперсности ТССА с помощью современных методов и оборудования, а именно с применением РЭМ, рентгеноспектрального микронзондового, рентгеноструктурного и лазерного анализов дисперсности порошком и коллоидных растворов.

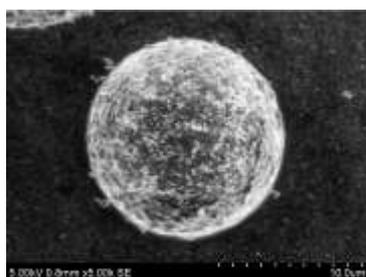
ТССА осаждались на поверхность углеродного скотча при ручной дуговой сварке пластин стали Ст3, толщиной 10 мм, электродами ОК 46.00 d=3мм на сварочном токе 90 А с использованием сварочного выпрямителя ВД-306. Местной принудительной вентиляцией создавали направленный поток аэрозолей для обеспечения более равномерного оседания частиц на углеродистый скотч, установленному от сварочной дуги на расстоянии 300 мм.

Результаты исследований по морфологии частиц ТССА были получены при использовании сканирующего электронного микроскопа модель S-3400N, рентгеноспектральный анализ был проведен с помощью приставки для микроскопа XFlash®. Результаты исследования морфологии представлены на рис. 1-2. По морфологии все частицы ТССА можно условно разделить на четыре размерные группы: сферы от 10-100 нм, агломераты 2-10 мкм, кластеры 1-2 мкм и цепочки размером до 3 мкм. Сферические частицы, относящиеся к первой группе, можно разделить на два типа: с волокнистой и с гладкой поверхностью. Сферические частицы размером менее 10 нм входят в состав других частиц, образуя агломераты, кластеры и цепочки.

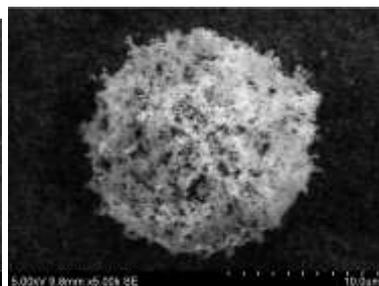


**Рис. 1. Образец ТССА собранный с помощью углеродного скотча.**

Согласно данным рентгеноспектрального анализа (рис. 3, а, б), сферические частицы, которые являются основным компонентом ТССА указывают на разницу химического состава частиц с волокнистой и гладкой поверхностью. Оба типа сферических частиц представляют собой соединение на основе продукта окисления железа, содержащие примеси алюминия и титана, но в первом случае, когда поверхность волокнистая дополнительно присутствуют кремний и калий, а во втором нет. Зафиксированный химический состав свидетельствует о взаимодействии частиц аэрозолей между собой в процессе формирования, возможность данного явления отмечалась и предыдущими исследователями. Данные особенности строения в совокупности с различиями в химическом составе указывают на то, что не смотря на одинаковый размер и морфологию сферические частицы имеют разное происхождение и структуру. Частицы с волокнистой поверхностью содержащие кремний и калий имеет, очевидно шлаковое происхождение, волокнистая поверхность свидетельствует о том, что основой роста частицы были образования железа, восстановленного из шлака. Анализ показывает, что частица многокомпонентная и состоит из оксида железа и минералоподобного образования  $K(Al,Fe^{3+})Si_2O_6$ . Частицы с гладкой поверхностью и прожилками вероятнее всего представляет собой застывшую смесь двух несмешивающихся жидких фаз, одна из которых представлена алюмосиликатом, а другая стеклообразная с примесью железа и титана.



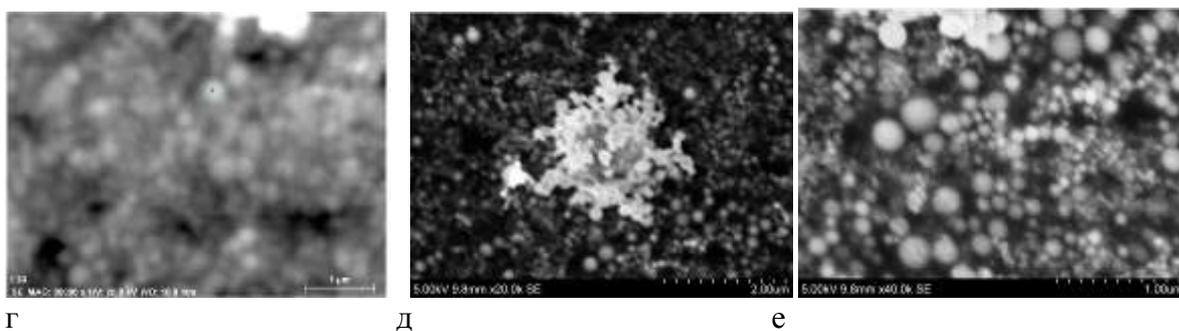
а



б



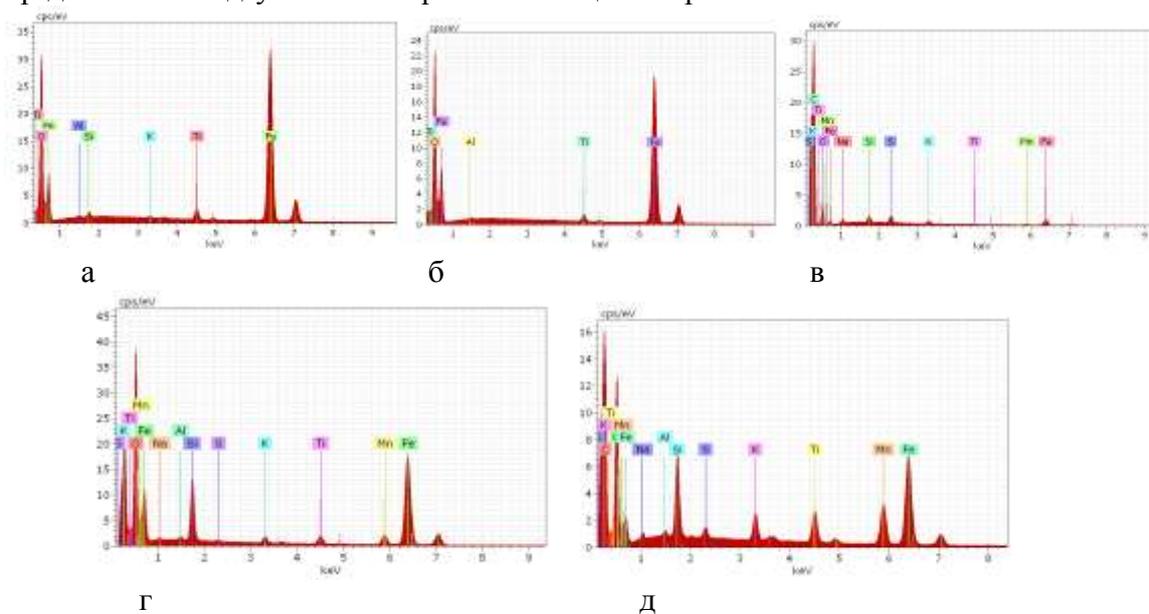
в



**Рис. 2. Частицы ТССА: а – сферическая частица с гладкой поверхностью, б – сферическая частицы с волокнистой поверхностью, в – взаимное расположение крупных сферических частиц, г – агломерат, д – кластер, е – цепочка.**

Агломераты с точки зрения химического состава (рис. 3,в) представляют собой многокомпонентную смесь состоящую из  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3(SO_4)$  и ортоклаза  $K(AlSi_3O_8)$  с примесями Ti. Агломераты могут иметь смешанное происхождение, то есть могут быть образованы в результате взаимодействия частиц, испарившихся и с основного металла и со шлака.

Наибольший интерес с точки зрения состава в рамках данного исследования представляют кластеры. При их анализе зафиксировано весьма большое количество углерода (рис. 3,г), часть углерода может присутствовать из-за попадания в зону пучка электронов скотча использованного для забора аэрозоли, однако, расчет указывает именно на нахождение углерода непосредственно в частицах ТССА. Следовательно, кластеры так же представляют собой многокомпонентную смесь, часть частиц представляет собой конденсированные частицы стали, содержащие фазу твердого раствора углерода в железе, а частицы меньшего диаметра, могут содержать карбиды железа, кремния или даже титана. Вероятнее всего, карбиды являются центрами кристаллизации для ТССА и поэтому, частицы, содержащие их могут иметь двухслойное строение – в центре частицы карбид, а вокруг этого ядра слой минерального образования силикатного характера, например, алумосиликат и магнезиально-железистый силикат, наличие серы в составе, позволяет предполагать о наличии сульфата железа среди компонентов кластера, что так же является косвенным подтверждением предположения о двухслойном строение частиц-кластеров.

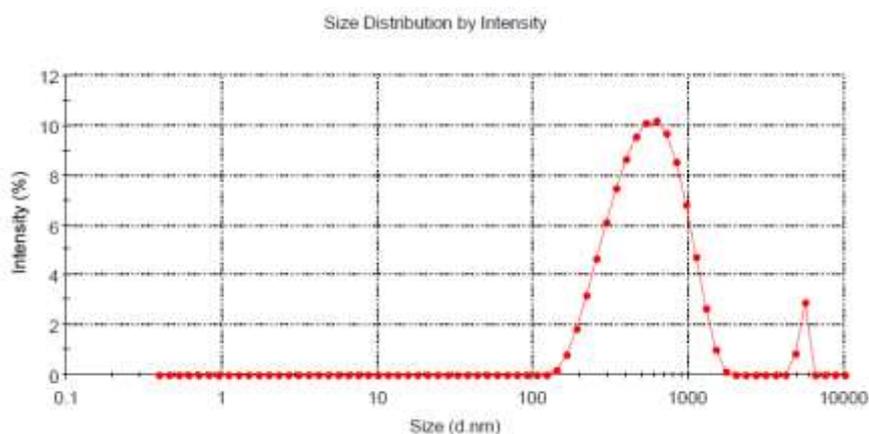


**Рис.3 Результаты рентгеноспектрального микрозондового анализа ТССА: а – сферическая частица с волокнистой поверхностью, б – частицы с гладкой поверхностью, в – агломерат, г – кластер, д – цепочка.**

Цепочки из мельчайших частиц ТССА, по набору элементов мало чем отличаются от кластеров (рис. 3,д), но присутствует разница в соотношении компонентов. В цепочках выше концентрация железа и марганца и ниже концентрация углерода, это указывает на то что цепочные образования концентрируют нефракционные частицы основного металла, образовавшиеся при ударе разряда о его поверхность и перешедшие в ТССА из материала сердечника электрода.

Оценить диапазон фракции частиц ТССА представляется возможным при анализе методом фотонной корреляционной спектроскопии (ФКС). В рамках данного исследования использовалась установка Zetasizer Nano фирмы Malvern. Данный метод предполагает анализ коллоидного раствора, исследуемая дисперсия освещается узким лучом света монохроматического, когерентного источника, то есть лучом лазера с одной длиной волны  $\lambda_0$  в вакууме.

Для анализа использовался раствор, в котором присутствовали частицы более крупного размера, чем те которые были исследованы методом РЭМ. Результаты анализа фракционного состава ТССА представлены на рис. 4. Согласно полученным данным основную массу ТССА составляют частицы от 100 до 1000 нм, причем частицы размером 600 нм составляют приблизительно 96% от общей массы исследованного раствора, наименьшая доля частиц, в размере 4% от общей массы, составляют крупные частица размером 6000 нм.



**Рис. 4. Диаграмма фракционного состава ТССА.**

Полученные результаты указывают на то что, основная масса сварочной аэрозоли состоит из сферических частиц, причем, практически все они находятся в одном диапазоне, 4% крупных частиц приходится на агломераты и кластеры, которые являются не устойчивыми образованиями. Следовательно фракционный и морфологический состав ТССА достаточно равномерный, за тем исключением что, сферические частицы могут быть двух видов и их соотношение остается не установленным.

Таким образом, проведена оценка морфологии, дисперсности, структуры и химического состава ТССА посредством современных методов исследований, установлено, что:

- ТССА содержит частицы 4 видов: сферы от 10-100 нм, агломераты 2-10 нм, кластеры 1-2 нм и цепочки размером до 3 нм. Сферические частицы делятся на два подвида: с волокнистой и с гладкой поверхностью. Сферические частицы размером менее 10 нм входят в состав других частиц, образуя агломераты, кластеры и цепочки;

- 96% крупной фракции ТССА состоит из частиц размером 100-1000 нм, а частицы фракцией 6000 нм составляют всего 4%;

- выявлено, что частицы ТССА имеют различный состав, а так же они содержат минеральные образования различного типа, преимущественно силикатного, алюмо-железосиликатного состава, в частности -  $K(AlSi_3O_8)$ ,  $K(Al,Fe^{3+})Si_2O_6$ , а так же оксиды  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ , сульфиды  $Fe_3(SO_4)$ , примеси  $Ti$ ,  $Al$ ,  $Mn$  и карбиды  $Fe_3C$ ,  $SiC$ , некоторые из частиц имеют многослойное строение;

- целесообразно для обеспечения комплексной характеристики ТССА использовать растровую электронную микроскопию (РЭМ), рентгеноспектральный микрозондовый анализ, лазерный анализ дисперсности порошков и коллоидных растворов (фотонная корреляционная спектроскопия).

***Список литературы:***

1. *Артамонова В. Г.* Актуальные проблемы диагностики и профилактики профессиональных заболеваний // Медицина труда и промышленная экология. - 1996 - № 5 - С, 4-6.
2. *Гришагин В.М.* Сварочные аэрозоли: образование, исследование, локализация, применение: монография/ В.М. Гришагин; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.

## Ле Хоай

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Институт кибернетики, кафедра оптимизации системы управления  
Россия, г. Томск  
lehotomsk@yahoo.com

### **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕК НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Рассматривается ряд проблем в электронных библиотеках, анализируются новые технологии, предоставляющие средства их решения. Поясняются семантические электронные библиотеки, их архитектура электронных ресурсов, а также задачи их разработки. Обосновываются предложенная архитектура и онтологические модели.

*Ключевые слова:* электронная библиотека, семантическая электронная библиотека, семантические технологии.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Под электронными библиотеками (ЭБ) понимаются информационные системы, позволяющие автоматизировать работу пользователей с электронными ресурсами (ЭР) такими как документы, изображения, аудио, и видеофайлы. Организация работы системами с такими ресурсами сталкивается с такими ключевыми проблемами, как совместимость, форматы описания ресурсов, управления коллекциями и пользовательские интерфейсы.

С появлением семантических технологий (СТ), предоставляющих средства работы с семантикой ресурсов, возникла возможность разработки подходов к автоматизации работы с ЭР на новом уровне. Разработка семантических электронных библиотек (СЭБ) представляет собой решение комплекса задач, целью которых являются повышение возможностей взаимодействия с пользователями и расширение функциональности ЭБ, особенно в поиске и структуризации данных.

В статье рассматриваются проблемы использования СТ для создания ЭБ нового поколения – семантических электронных библиотек, а также их архитектуры. На основе анализа этих проблем предлагается набор задач их разработки.

#### **ПРОБЛЕМЫ СЭБ**

Основными компонентами ЭБ являются [1]: специалисты; информационные ресурсы (документы) и информационные технологии.

Электронные библиотеки реализуют набор функций для обеспечения пользователям полного доступа к множеству распределенных и разнородных документов, содержащих информацию и знания, интегрируя их в единое информационное пространство [2].

Основными проблемами ЭБ являются следующие [2-4]:

- интеграция разнородной информации (электронных ресурсов, пользовательских профилей, таксономий), на основе различных метаданных, содержащих выразительные семантические описания.
- поддержка взаимодействия с другими информационными системами (и не только с ЭБ) либо с помощью метаданных, либо на уровне коммуникации, или с помощью обеих возможностей. При этом в качестве единого языка взаимодействия между системами может использоваться язык RDF (Resource Description Framework).

- обеспечение надежного, удобного и адаптируемого поиска и структуризации документов, а также интерфейсов просмотра электронных документов, усиленных работой с семантикой.

Для решения этих проблем и улучшения функционирования ЭБ требуется разработать подход к созданию нового типа ЭБ, на основе использования новых информационных технологий, в том числе, семантических. Такие ЭБ обычно называются семантическими электронными библиотеками (СЭБ).

### **СЕМАНТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Под семантикой обычно понимается смысл, лежащий в основе слов (или терминов), и взаимосвязей между ними [5]. Семантические технологии – это набор стандартов и методов, позволяющих описывать смысла данных (их семантику) и реализовать работу с ним.

В качестве основы СТ используется метаязык XML (eXtensible Markup Language), предоставляющий возможности для создания языков более высокого уровня (RDF/RDFS, OWL). Преимуществом языка XML является независимость от платформы и операционной системы. Однако в нем отсутствует возможность моделировать отношения, взаимосвязи между описанными концептами [4]. Семантическое описание информационных ресурсов (метаинформации) с применением СТ выполняется с помощью языка RDF (Resource Description Framework) в виде набора триплетов (субъект - предикат - объект). В триплете субъектом может быть любой экземпляр какого-либо понятия (класса), объектом могут быть конкретные значения (числом, текстом), а также экземпляры какого-то понятия.

Для описания знаний предметных областей, включающих понятия и отношений между ними (онтологий) используется язык RDFS (RDF-Schema), который позволяет задавать простые схемы взаимосвязей между понятиями и выполнять с их помощью некоторый логический вывод. Для более точного описания онтологий используется более совершенный язык OWL (OWL – Ontology Web Language), который является развитием языка RDFS. Язык OWL имеет несколько версий, предназначенных для разных видов задач [6].

Разработка любых семантических приложений основывается на применении СТ для описания онтологий предметных областей. В информационных технологиях под онтологией понимается набор понятий и взаимосвязей между ними, описывающих определенную область. Формально в онтологии понятие отождествляется с объектом (классом), имеющим связи с другими классами. Класс определяется как множество экземпляров с общими свойствами и содержит описания собственно экземпляров и их свойство [6].

Онтологии предметных областей описываются с помощью языков (RDFS, OWL или SKOS). В составе СТ также имеется язык SPARQL (Simple Protocol Access RDF Query Language) для извлечения и работы с данными, представленными в формате RDF.

Семантические технологии являются перспективными для решения проблем ЭБ за счет предоставления следующих возможностей:

1. Поддержка взаимодействия и интеграции данных: превращение информации, имеющей различные форматы и структуру, в знания с помощью средств сопоставления данных с общей онтологической моделью знаний.

2. Непосредственная интеграция данных и расширенные возможности выполнения запросов к семантическим данным путем предоставления средств загрузки данных различных форматов в семантическое хранилище данных.

3. Выполнение логического вывода на данных семантического хранилища на основе онтологий и наборов правил.

Другие возможности с использованием семантических технологий описаны в [5,7].

Использование семантических технологий для разработки ЭБ позволяет преобразовать их в СЭБ.

## СЕМАНТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕКИ

Семантические электронные библиотеки могут быть определены следующим образом [8]: семантическими называются электронные библиотеки, которые созданы на основе результатов исследований проведенных в области ЭБ, семантических технологий, социальных сетей и организации взаимодействия человека с компьютером.

Семантические технологии позволяют увеличить точность аннотирования электронных документов и возможность интероперабельности различных сервисов. А подход Web 2.0 дает пользователям возможность участвовать в процессах аннотирования и обмена знаниями, что повышает полезность СЭБ

СЭБ может быть рассмотрены с разных точек зрения. Далее, рассматриваются некоторые из них (Рис. 2).

**С точки зрения метаданных:** основным отличием СЭБ от ЭБ являются более открытые и неструктурированные, и что более важно, высоко-связанные метаданные (данные о данных). СЭБ содержит в базе метаданных, не только, описания электронных ресурсов, но и аннотаций, предоставляемых сообществом пользователей. В связи с этим онтологии представляют собой набор базовых технологий для СЭБ, а не только являются схемой метаданных. Онтологии позволяют определять и разрешать противоречия в метаданных, а также позволяют выполнять логические выводы над связанными понятиями, используемыми в метаданных [2].

**С точки зрения пользователей:** СЭБ обеспечивают работу различным классам конечных пользователей: обычных пользователей; эксперты по предметным областям знаний; библиотечного персонала (редакторов, администраторов). Каждому пользователю в соответствии с его правами могут предоставляться ресурсы, имеющие разные виды содержания, что также описывается с помощью метаданных. Профиль пользователей также может задаваться с помощью некоторой онтологии, описывающие характеристики и группы пользователей, к которым он может относиться, и их взаимосвязи с другими характеристиками и группами [2].



Рис. 1– Высокоуровневое представление архитектуры СЭБ.

**С точки зрения архитектуры построения системы:** архитектура семантических электронных библиотек может быть разделена на несколько уровней [2], например:

1. Пользовательский уровень системы: включает приложения предоставляющие средства доступа пользователей к электронным ресурсам (пользовательский интерфейс). Разным категориям конечных пользователей могут предоставляться различные форматы данных, соответствующие уровню предоставляемых данных.

2. Уровень описания данных: включает разные форматы данных (HTML + AJAX, RDF, XML, JSON), предназначенные для разных категорий пользователей, в соответствии с предоставляемыми им данными.

3. Уровень подготовка данных: включает средства проверки соответствие данных требованиям сервисов СЭБ, а также правам доступа к ним конечных пользователей.

4. Уровень сервисов бизнес – логики: включает набор приложений для решения конкретных задач работы пользователей с СЭБ, является наиболее важным уровнем модели СЭБ.

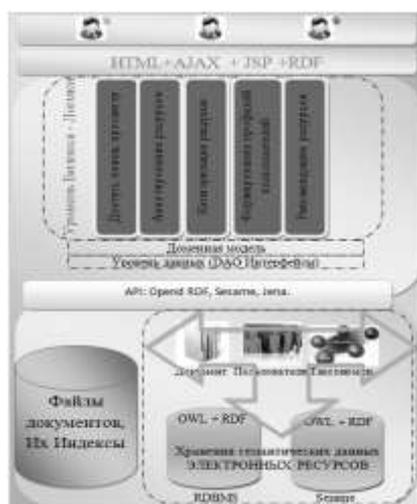
5. Уровень абстрактных описаний данных: включает абстрактные модели объектов, хранимых в источниках данных, позволяет четко отделить уровень сервисов бизнес – логики от конкретной реализации уровня источника данных. Отвечает за согласованность данных, их правильное хранение и доступ к ним.

6. Уровень источников данных: включает RDF хранилище метаданных ресурсов и обычные хранилища бинарных ресурсов.

**С точки зрения используемых информационных технологий:** при создании и функционировании СЭБ могут использоваться различные технологии, например: SOA (архитектуры, ориентированные на сервисы), P2P (одноранговые сети) и Grid (коллективное использование вычислительных ресурсов). SOA облегчает выполнение задач бизнес - логики. P2P должно быть включено для обеспечения операционной совместимости между распределенными семантическими электронными библиотеками. Grid поддерживают коллективное выполнение некоторых услуг на распределенных вычислительных ресурсах для повышения эффективности работы библиотеки [2].

## **ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

На основе выполненного анализа поставленной задачи и высокоуровневого описания семантических библиотек, предлагается следующая программная модель их реализации (Рис. 2).



**Рис. 2– Программная модель СЭБ.**

На уровне бизнеса – логики (сервисов) решаются следующие основные задачи функционирования СЭБ:

1. **Аннотирование ресурсов:** формирование семантических метаданных ЭР ручным или автоматическим способом с использованием онтологий и анализа их содержания.

2. **Формирование профилей пользователей:** составление семантических метаданных (описаний) пользователей, включающих их характеристики и интересы, которые могут использоваться для выполнения задачи формирования рекомендаций.

3. **Ведение иерархии каталогов:** создание иерархической структуры электронных документов с использованием какой-либо категоризации. Разные категории ЭР описываются с помощью своих семантических метаданных. Для каждой категоризации должна быть разработана возможность представления ЭР в виде иерархии каталогов.

4. **Категоризация:** разделение ЭР по категориям на основе заданной иерархии каталогов и семантических метаданных. Данная задача тесно связана с задачей ведения иерархии каталогов.

5. **Просмотр:** предоставляется возможность удобных возможностей перехода между разными категоризациями и категориями электронных документов, просмотр их описаний (автор, издание, дата создания и редактирования и т. д.).

6. **Поиск:** предоставление возможности выбора ЭР, соответствующих заданному поисковому запросу (объект – эталон). Семантические технологии способствуют более точному и полному описанию поисковых запросов и поиска документов.

7. **Формирование рекомендаций:** предоставление пользователям советов по получению и ознакомлению с новыми или существующими ЭР. Задача решается с использованием описанием метаданных ЭР и профилей пользователей и, в том числе их интересы являются ключевыми для рекомендации им соответствующих документов.

В данной программной модели выполняются два основных процесса: процесс формирования и аннотирования информационных объектов (профили пользователей, ресурсы, категории, рубрики, и т. д) и процесс поиска информационных объектов (ИО) и возврата результатов.

**Процесс формирования и аннотирования электронных объектов:** пользователи с соответствующими правами доступа через интерфейс ЭБ вызывает функцию добавления ИО. После чего, пользователям предоставляет соответственный интерфейс для заполнения данных. Это процесс формирует набор триплетов, описывающих ИО (семантические метаданные [15]). Затем эти метаданные передаются в базу знаний, где хранятся в формате **RDF** или **OWL**, а сами ИО (документы, видео, аудиофайлы) сохраняются в файловом Хранилище.

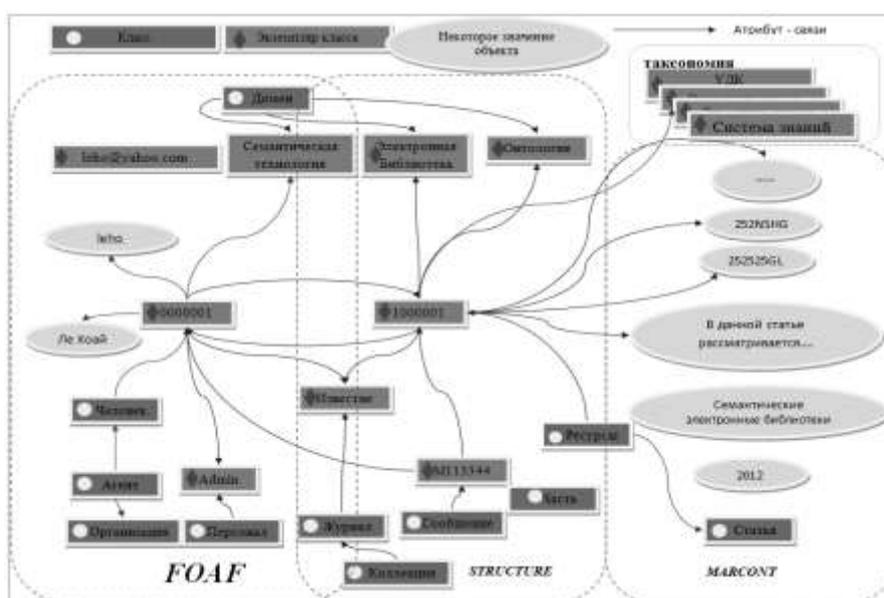
**Процесс поиска информационных объектов и возврата результатов:** в этом процессе пользователи ЭБ выбрать понятия, их экземпляры и взаимосвязи для осуществления поиска, на основе чего формируется набор триплетов поискового запроса. Модуль, выполняющий поиск, отправляет запрос (на языке **SPARQL**) к базе знаний или файловому хранилищу. Полученные данные анализируются для проверки их семантической близостей (уровень сходство семантических метаданных одного объекта с метаданными от других) с поисковым запросом. После этого они сортируются по степени убывания оценки близости и показываются пользователю с использованием графического интерфейса. ЭБ может предоставить поиск на естественном языке, при этом пользовательские запросы будут проанализированы с помощью особенной функции для трансляции их в **SPARQL** запросы.

#### **ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В СЭБ**

Все перечисленные основные задачи СЭБ решаются на основе онтологических моделей знаний, которые включают онтологии ЭБ (основные понятия и объекты знаний ЭБ) и онтологии предметных знаний. Онтологии ЭБ могут быть разделены на типы по уровню универсальности и по степени выразительности [6]. В библиотеках используются три онтологий: 1) библиографические; 2) структурные; 3) пользовательские. Кроме этих

онтологий, в СЭБ используются и онтологии предметных знаний, с помощью которых создаются структурные контрольные словари, значимые для категоризации библиотечных ресурсов. Структурные контрольные словари представляют собой тезаурусы, схемы классификации, таксономии, выражаемые в виде схемы концептов при использовании онтологии описания концептов (SKOS/RDF).

Применение СТ для этих словарей предоставляет возможность аннотировать ресурсы и решить задачи категоризации. Существуют варианты кодирования этих словарей в формат SKOS/RDF для применения в СЭБ [10]. Так как эти варианты применяются только для аннотирования ресурсов на английском языке, то при использовании русского языка необходимо изменить их кодирование в формате SKOS/RDF. Кроме этого, требуется внести в них и ряд дополнений. Например, для диссертационных работ необходимо иметь возможность указывать код специальностей ВАК [11]. Для этого необходимо разработать и включить в SKOS/RDF контрольный словарь, в котором каждый код является экземпляром класса концепта и имеет название – этикетку (на русском или другом языке).

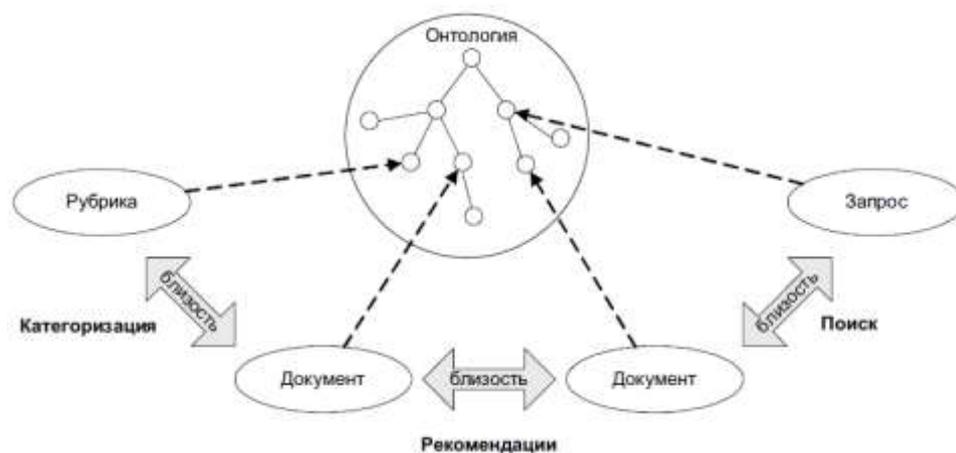


**Рис. 3– Предлагаемые модели онтологий.**

По анализу вариантов используемых в СЭБ онтологий предлагается вариант (набор онтологий) на Рис. 3. В качестве онтологии пользователей рекомендуется модифицированная онтология FOAF [12] для описания пользовательских профилей.

Библиографическая онтология (или онтология ресурсов) основывается на библиотечной онтологии Marcont [13], и при решении задач СЭБ будет использоваться эта онтология с некоторыми изменениями. В данной онтологии содержатся необходимые классы и атрибуты для описания электронных документов, таких, как книга, статья, диссертация и т. д.

Структурная онтология позволяет описывать каждый документ метаданными о его структуре, типе, оценке пользователя, доступе, а также коллекции. Кроме этого введены новые классы, такие, как класс «Сообщение» для представления разных оповещений от системы к пользователю при поступлении новых документов.



**Рис. 4 – Задачи, решаемые на основе семантических близостей.**

На основе используемых онтологий задачи аннотирования ресурсов и формирования пользовательских профилей, запросов поиска представляют собой задачу формирования семантических метаданных, на основе которых решаются другие важные для работы СЭБ задачи [14] (Рис. 4):

1. Семантический поиск на основе близости семантического запроса.
2. Классификации информационных объектов в соответствии с набором рубрик на основе семантических описаний рубрик библиотеки.
3. Рекомендации пользователям СЭБ на основе семантических метаданных описания их профилей.

На основе анализа семантической близости метаданных появляется возможность более точного определения объектов, семантически похожие на запросы пользователя и ранжирование результатов по уменьшению их релевантности.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Применение семантических технологий в современных электронных библиотеках позволяет улучшить качество их работы, но является достаточно сложной для реализации задачей. Предложенные в статье архитектура и вариант онтологий для описания электронных ресурсов предоставляет возможность создания семантических электронных библиотек, использующих все возможности современных семантических технологий.

### Список литературы:

1. *Shiri. A.A.* Digital library research: current developments and trends // Library Review. – 2003. – Vol. 52. – P. 198–202.
2. *S. Kruk and B. McDaniel.* Semantic Digital Library / –Springer, 2009. – 242 p. –P. 79-80.
3. *Hao D.* A semantic search framework in peer-to-peer based digital libraries. – NTNU, Norway, 2006. – 200p. –P. 106-108.
4. *Paul W. and David A.* Applying semantic technology to a digital library: a case study // Library Management. –2005. –Vol. 26. –P 196–206.
5. Demonstrating the Power of Semantic Tecnology in Financial Services. 2012. URI: [http://semanticweb.com/webcast-why-semantic-matter-demonstrating-the-power-of-semantic-technology-in-financial-services\\_b17878](http://semanticweb.com/webcast-why-semantic-matter-demonstrating-the-power-of-semantic-technology-in-financial-services_b17878) (дата обращения: 01.02.2012).
6. *Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский С.В.* Системы управления знаниями (методы и технологии)/ Под общ. ред. В.З. Ямпольского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с.
7. The Power Of Semantic Technology: Mind over Meta. 2012. – URI: <http://www.dataversity.net/archives/288> (дата обращения: 01.02.2012)
8. Semantic digital library web. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://semdl.info/>, свободный (дата обращения: 02.20.2012).
9. *Тузовский А. Ф. , Ле Х. Х.* Разработка семантических электронных библиотек // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. - 2011 - №. 2 (24) - С. 195-199 [19485-2011].
10. JOnto project. 2012. URL: <http://jonto.sourceforge.net/> (дата обращения: 02.25.2012).
11. Паспорта специальностей ВАК. 2012. URL: <http://teacode.com/online/vak/> (дата обращения: 01.25.2012).
12. FOAF Vocabulary Specification 0.98. 2012. URL: <http://xmlns.com/foaf/сpec/> (дата обращения: 01.26.2011).
13. Marcont Vocabulary Specification 2.0. 2012. URL: <http://www.marcont.org/ontology/2.0> (дата обращения: 01.26.2012).
14. *Тузовский А.Ф.* Архитектура семантического WEB-Портала // Известия Томского политехнического университета, 2006. Т. 309. № 7. – С. 142-145.

**С. В. Поршнева д.т.н., Фуад Рабайя**

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина  
Институт радиоэлектроники и информационных технологий  
кафедра радиоэлектроники информационных систем  
Россия, г. Екатеринбург  
sergey\_porshnev@mail.ru

## **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ И СОБСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ ВЫБОРОЧНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ В МЕТОДЕ SSA**

В статье представлены результаты изучения свойств собственных чисел и собственных векторов выборочной корреляционной матрицы, используемой в методе SSA (Singular Spectrum Analysis).

*Ключевые слова:* временной ряд, метод SSA, траекторная матрица, выборочная корреляционная матрица, главная компонента временного ряда

Метод SSA, который в русскоязычной литературе называется методом «Гусеница», в последние несколько десятилетий является предметом активного изучения различных исследователей (см. [1–3], а также приведенные в них списки литературы). Цель метода – разложение временного ряда на интерпретируемые аддитивные составляющие. Отметим, что данный метод не требует стационарности ряда, знания модели тренда, а также сведений о наличии в ряде периодических составляющих и их периодах. При таких слабых требованиях к априорной информации о свойствах анализируемых ВР ожидается, что метод SSA окажется более пригодным, в сравнении, например, с параметрическими методами [4], для решения таких задач как, например, выделение тренда, обнаружение периодик, сглаживание ряда, построение полного разложения ряда в сумму тренда, периодик и шума.

В основании метода SSA лежит преобразование одномерного временного ряда (ВР)  $\{x_i\}_{i=1}^N$ , образованный последовательностью  $N$  равноотстоящих значений некоторой (возможно, случайной) функции в  $x_i = f[i] = f((i-1)\Delta t)$ ,  $i = \overline{1, N}$  в многомерный ВР

$$X = \{x_{ij}\}_{i,j=1}^{k,L}, L < N, k = N - L + 1$$

с помощью однопараметрической сдвиговой процедуры.

Далее проводится исследование полученной многомерной траектории с помощью сингулярного разложения, реализуемого выполнением следующей последовательности действий: 1) центрирование каждого столбца траекторной матрицы; 2) нормировка центрированных столбцов матрицы на соответствующие стандарты; 3) вычисление выборочное автокорреляционной матрицы  $R = \frac{1}{k} X^* (X^*)^T$ , ( $X^*$  – матрица, полученная из матрицы  $X$  после выполнения действий пп. 1,2); 4) вычисление собственных чисел и собственных векторов матрицы  $R$ . Описанная последовательность действий позволяет представить матрицу в виде:  $R = P\Lambda P^T$ , где  $P$  – ортогональная матрица собственных векторов,  $\Lambda$  – диагональная матрица собственных чисел. Зная матрицу  $P$ , можно вычислить взаимно ортогональные главные компоненты (ГК) исходного ВР

$$Y = X^* P,$$

получение и интерпретация которых является одной из целей применения данного метода к анализу ВР.

Из приведенного выше краткого описания метода SSA, очевидно, что основным управляющим параметром метода является сдвиг  $L$ . Следует отметить, что теоретически обоснованных рекомендаций по выбору значения  $L$ , поэтому на практике руководствуются опытом, имеющимся у конкретного исследователя, или следуют известным феноменологическим рекомендациям, приведенным например, в [2, с. 18]. Здесь предложены следующие интерпретации метода SSA:

1) при  $L \ll N$  собственные векторы выборочной автокорреляционной матрицы есть собственные векторы линейных фильтров, а ГК есть результат действия данных фильтров на исходный ВР;

2) при  $L \cong N/2$  метод SSA трактуется как метод аппроксимации исходного ВР рядами конечного ранга.

Традиционно для анализа как ГК, так и собственных векторов используются двумерные графики, аналогичные фигурам Лиссажу, для построения которых откладываются различные пары собственных векторов или ГК. При этом, как постулируется в [2, с. 10–11], различные пары ГК образуют пары с близкими амплитудами, аналогичные парам синус-косинус в разложении дискретный последовательности в ряд Фурье. При этом теоретическое обоснование, подтверждающее правомерность данного постулата, имеет скорее качественный, нежели количественный характер. Отметим также, что результаты экспериментальных исследований, в которых метод SSA, применялся к анализу ВР, структура которых, априори, неизвестна, с нашей точки зрения, также нельзя считать убедительным доказательством постулата.

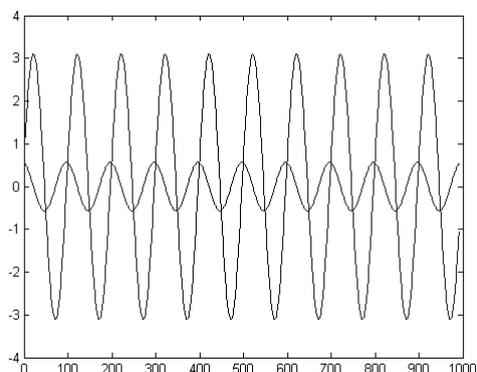
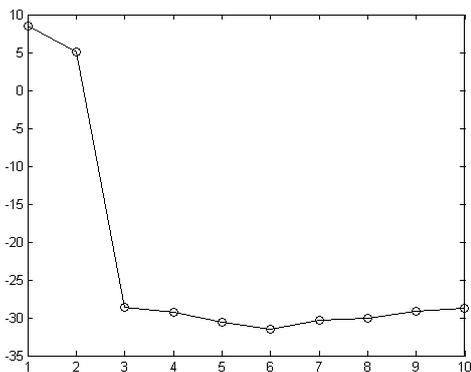
Отмеченные обстоятельства определяют необходимость проведения целенаправленного исследования свойств собственных чисел и собственных векторов выборочной автокорреляционной матрицы метода SSA, используя для этого ВР структура которых изначально известна.

Рассмотрим результаты применения метода SSA к ВР  $x_i$ , представляющему собой отсчеты функции

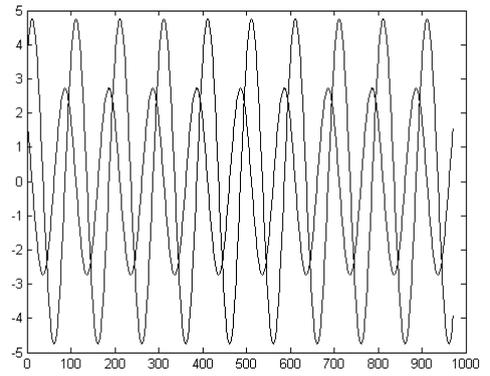
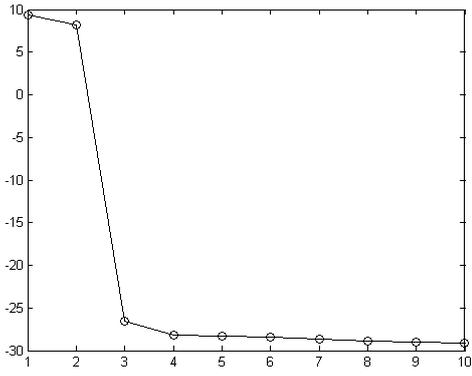
$$u(t) = \sin(2\pi f t),$$

где  $f = 10$  Гц, вычисленные в узлах временной сетки  $t_i = \Delta t(i-1)$ ,  $i = \overline{1, 1000}$ ,  $\Delta t = 10^{-3}$ . Зависимости логарифмов собственных чисел выборочной автокорреляционной матрицы метода SSA от их номера и собственные векторы, соответствующие каждому из двух первых собственных чисел, для различных значений  $L$  представлены на рис. 1, в левом и правых столбцах, соответственно. Из рис. 1 видно, что:

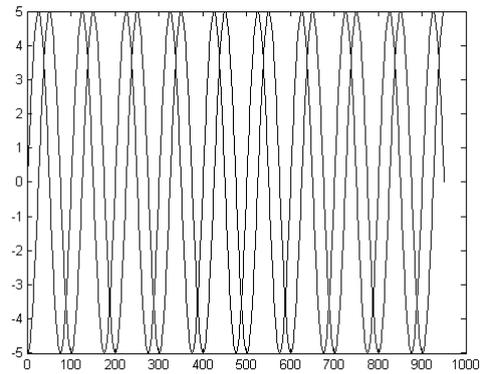
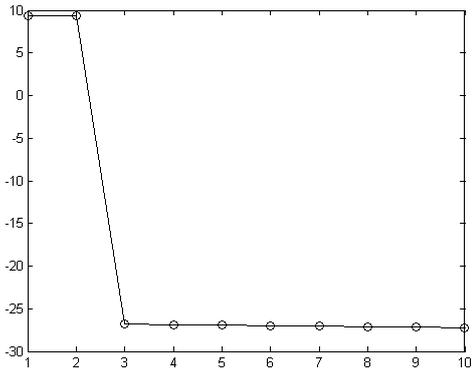
1) у рассматриваемой матрицы значимыми оказываются первые два собственных числа, которым соответствуют собственные векторы, имеющие одинаковые частоты, которые выделяют единственную ГК;



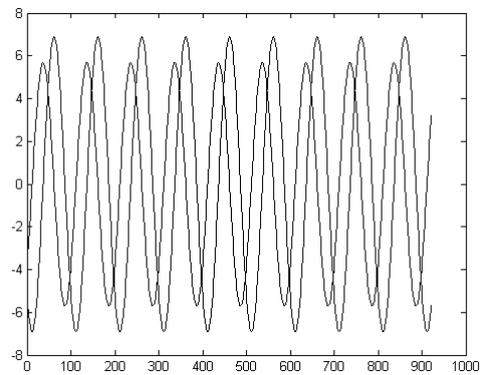
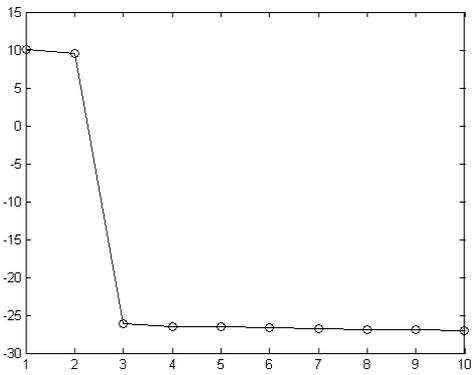
а)  $L=10$



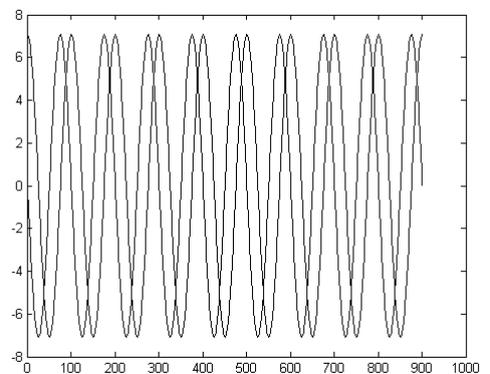
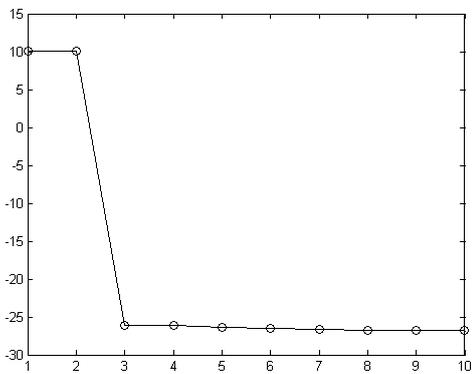
б)  $L=30$



в)  $L=50$



г)  $L=80$

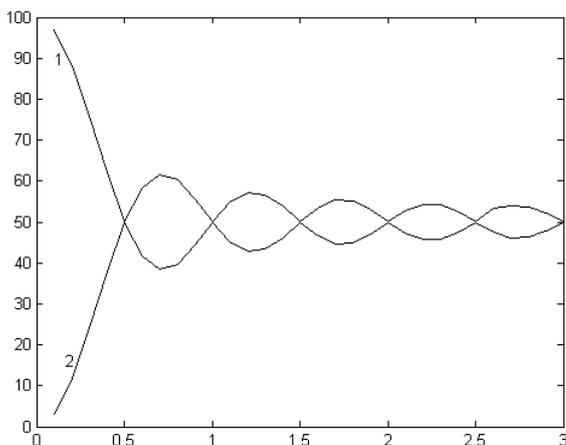


д)  $L=100$

**Рис. 1**

2) значения собственных чисел оказываются зависящими от  $L$ .

Для удобства дальнейшего анализа на рис. 2 представлены зависимости собственных чисел от величины  $L/f = L \cdot T$ ,  $T$  – период сигнала (здесь: 1 – первое собственное число, 2 – второе собственное число).

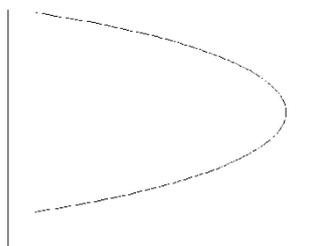


**Рис. 2**

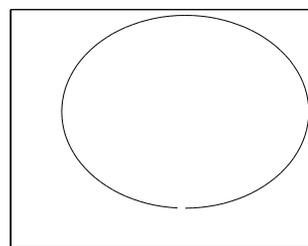
Из рис. 2 видно, что условие равенства значений собственных чисел выборочной автокорреляционной матрицы метода SSA (параллельности отрезка, соединяющего данные собственные числа оси абсцисс на графике зависимости собственных чисел от их номера) может быть записано в виде

$$L \cdot T = 0.5 \cdot k, k = 1, 2, \dots \quad (1)$$

При невыполнении (1), значения собственных чисел выборочной автокорреляционной матрицы метода SSA, будут отличаться друг от друга и, соответственно диаграммы собственных векторов – от круговых спиралей (рис. 3: слева –  $L = 10$ , справа  $L = 100$ ).



**Рис. 3а (L=10)**



**Рис. 3б (L=100)**

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Равенство собственных чисел выборочной автокорреляционной матрицы, номера которых отличаются друг от друга на единицу, выделяемая ГК соответствует периодической функции, задающей значения анализируемого ВР, однако, обратное не верно – неравенство собственных чисел не означает, их соответствия составляющим ВР с различными частотами, но требует дополнительно анализа (например, спектрального) собственных векторов.

2. Для описания зависимости главных векторов выборочной автокорреляционной матрицы от времени  $x(t), y(t)$  следует использовать следующие математические модели:

$$x(t) = a_1(t) \cos(\omega t + \psi), y(t) = a_2(t) \sin(\omega t + \psi) \quad (2)$$

и дополнить алгоритм оценки частоты ГК на основе анализа формы фигуры Лиссажу [2, с. 10] нахождением  $a_1(t), a_2(t)$ , например, с помощью преобразования Гильберта и умножением выражений (2) на множители  $1/a_1(t), 1/a_2(t)$ , соответственно.

### *Список литературы:*

1. *Elsen J.B. and Tsonis A.A.* Singular Spectrum Analysis. A New Tool in Time series Analysis. –New York and London: Plenum Press, 1996. –164 p.
2. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница»/ Под ред. Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявского. –СПб: Пресском, 1997. –308 с.
3. *Golyandina N., Nekrutkin V. and Zhiglavsky A.* Related Techniques. –London: Chapman & Hall/ CRC, 2001. –305 p.
4. *Марпл-мл. С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения. –М.: Мир, 1990. –584 с.

**А. В. Селезнев, И. А. Сидорова, Б. В. Чувькин д.т.н.**

Пензенский государственный университет  
факультет вычислительной техники  
кафедра информационно-вычислительных систем  
Россия, г. Пенза  
Chuvykin\_BV@mail.ru, irina-penza@mail.ru

## **АНАЛИЗ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ШУМОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ОДНОБИТНЫМ КВАНТОВАНИЕМ**

Рассмотрены вопросы анализа и численного расчета флуктуационных шумов нелинейных динамических систем по критерию энтропийной информативности на примере однобитного сигма-дельта модулятора третьего порядка. Приведена математическая модель, результаты численного расчета и даны рекомендации по их использованию при проектировании сигма-дельта АЦП.

*Ключевые слова:* сигма-дельта модулятор, флуктуационный шум, нелинейные динамические системы, критерий энтропийной информативности.

Вопросы теории анализа и численного расчета флуктуационных шумов нелинейных динамических систем (НДС) возникают при проектировании высокоточных сигма-дельта АЦП ( $\Sigma\Delta$ -АЦП) в составе которых содержится однобитный квантователь, в виде  $\Sigma\Delta$ -модулятора высокого порядка [3]. В прямой цепи преобразования модулятора включены аналоговые интеграторы, охваченные импульсной обратной связью (ОС) через однобитный АЦП/ЦАП. Выходной многоуровневый код  $\Sigma\Delta$ -АЦП формируется из выходного однобитного сигнала модулятора путем низкочастотной цифровой фильтрации.

Нелинейная процедура однобитного квантования в модуляторе приводит к возникновению флуктуационных шумов в выходных цифровых кодах  $\Sigma\Delta$ -АЦП. Для их уменьшения необходимо оптимизировать значения коэффициентов ОС модулятора и передаточной функции ЦФ, по критерию минимума СКО флуктуационного шума квантования. Задача оптимизации решается методом численного анализа путем последовательного перебора коэффициентов в области их допустимых значений.

Было установлено, что область оптимальных значений коэффициентов ОС  $\Sigma\Delta$ -модулятора, соответствующая минимуму СКО флуктуационного шума квантования АЦП, может быть рассчитана без учета параметров цифрового фильтра (ЦФ) по критерию энтропийной информативности, что существенно уменьшает объема вычислений [2].

Покажем на примере  $\Sigma\Delta$ -модулятора третьего порядка последовательность расчета и анализа флуктуационных шумов НДС. Метод расчета основан на энтропийной оценке информативности выходных однобитных кодов  $\Sigma\Delta$ -модулятора, работающего в режиме однократного преобразования при нулевых начальных условиях интеграторов. Задача анализа сводится к нахождению области оптимальных значений трёх коэффициентов ОС модулятора. Для расчёта флуктуационных шумов модулятора воспользуемся его математической моделью [3]:

$$\begin{cases} U_1[n] = U_1[n-1] + MX[n] - Y[n-1] \\ U_2[n] = U_2[n-1] - L_1 U_1[n-1] - L_2 Y[n-1] + \frac{L_1}{2} (X[n] + Y[n-1]) \\ U_3[n] = U_3[n-1] - L_1 U_2[n-1] + \frac{L_1}{2} U_1[n-1] - L_3 Y[n-1] - \frac{L_2}{2} Y[n-1] - \frac{L_1}{6} (X[n] + Y[n-1]) \\ Y[n] = \text{sign}\{U_3[n]\} \end{cases} \quad (1)$$

где:  $L_1, L_2, L_3$  - значения относительных коэффициентов ОС.

Как известно, для АЦП с равномерной шкалой квантования, при равновероятных значениях амплитуды входной величины, имеет место равновероятное появление выходных кодов, а их информативность в битах можно оценить по формуле Хартли:

$$I_X = \log_2 K, \quad (2)$$

где  $K$  – количество выходных кодов.

Для АЦП с неравномерной шкалой квантования при равновероятных значениях амплитуды входной величины будет иметь место неравновероятное появление выходных кодов. В этом случае информативность выходных кодов в битах можно оценить по формуле Шеннона [1]:

$$I_{III} = \sum_{j=1}^K (-P_j \log_2 P_j), \quad (3)$$

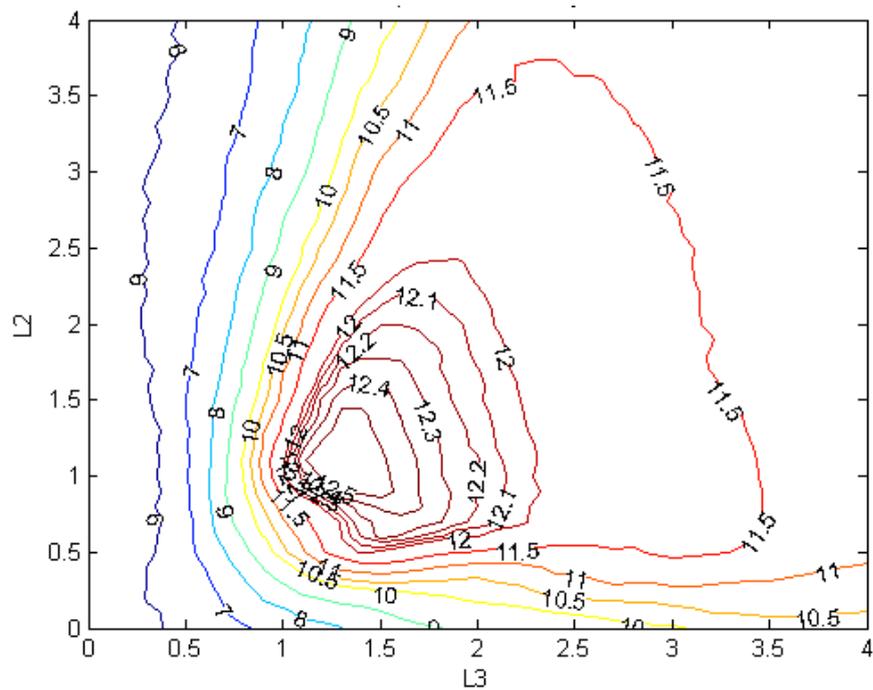
где  $P_j$  – вероятность появления  $j$ -го кода.

Введём относительный коэффициент неравномерности шкалы квантования  $R$  (для равномерной шкалы квантования  $R=1$ ) в виде нормированной разности оценок информативности выходных сигналов, рассчитанных по формулам Хартли и Шеннона:

$$R = \frac{I_X - I_{III}}{I_X} \quad (4)$$

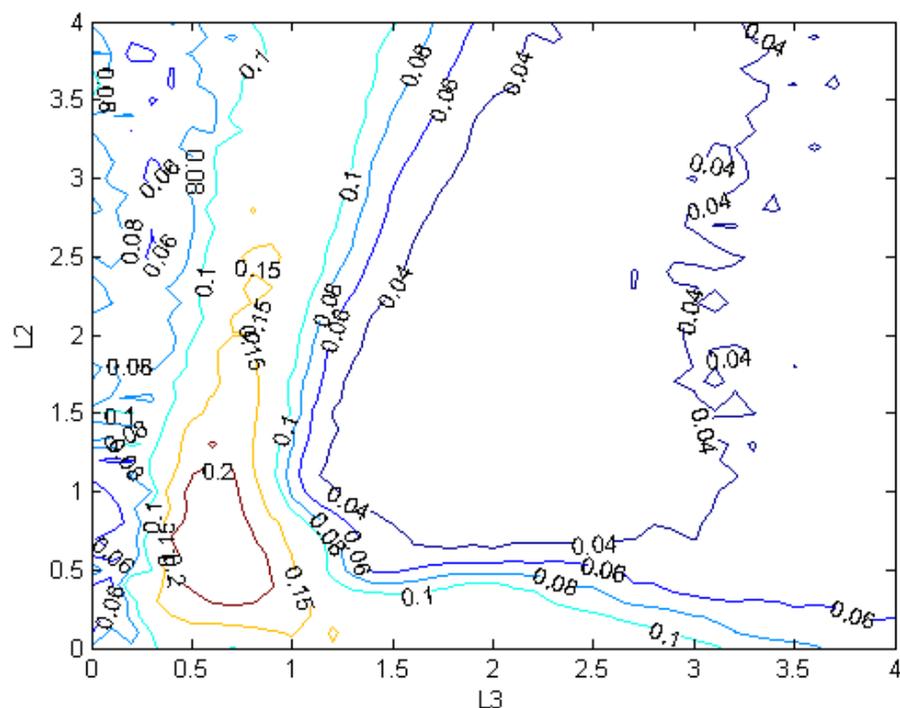
Была разработана программа, основанная на математической модели (1) описания динамических процессов преобразования входной величины в выходную однобитную последовательность заданной длительности для определения вероятности  $P_j$  появления однобитных кодов.

На рисунке 1 представлен контурный график оценки информативности выходных сигналов  $\Sigma\Delta$ -модулятора третьего порядка по формуле Шеннона (3) в зависимости от масштабных коэффициентов обратной связи  $L_2, L_3$  (при условии, что коэффициент  $L_1=1$ ) и длительности выходного однобитного сигнала равного 48 тактов.



**Рис. 1 – Зависимость оценки информативности  $I_{III}$  выходных сигналов  $\Sigma\Delta$ -модулятора третьего порядка по формуле Шеннона.**

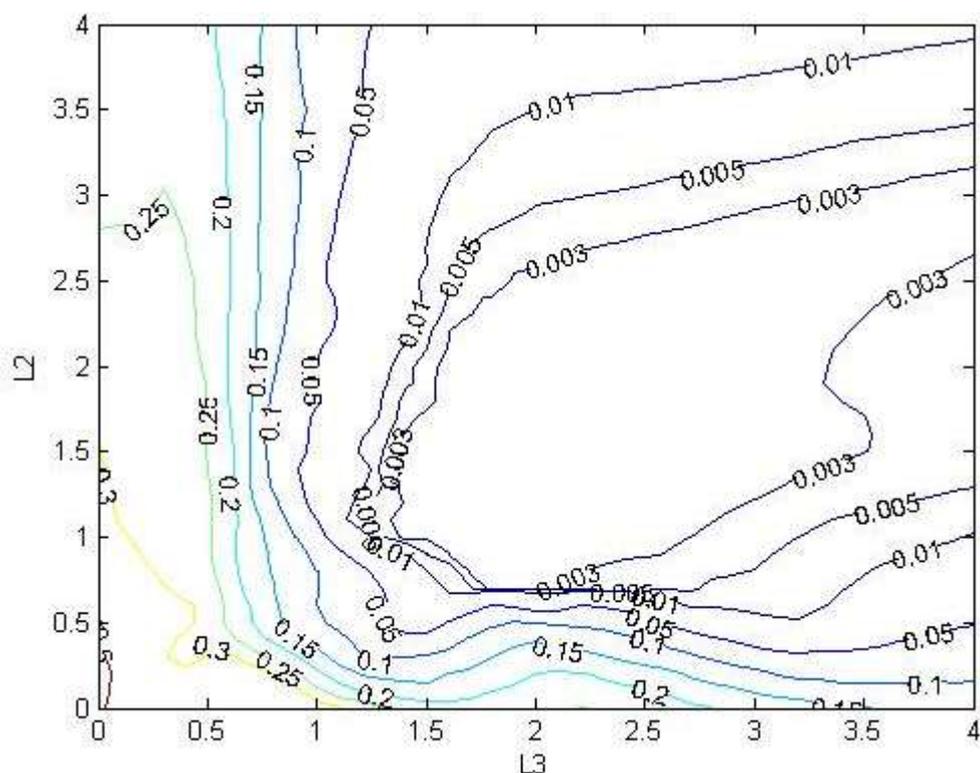
На рисунке 2 представлен контурный график коэффициентов неравномерности шкалы квантования  $R$ , на котором выделена область оптимальных значений коэффициентов ОС ( $R=0.04$ ).



**Рис.2 – Контурный график коэффициентов неравномерности шкалы квантования  $R$ .**

Для подтверждения того, что область оптимальных значений коэффициентов ОС  $\Sigma\Delta$ -модулятора соответствует минимуму СКО флуктуационного шума квантования АЦП

был проведён расчёт для варианта  $\Sigma\Delta$ -АЦП с цифровым фильтром третьего порядка. Результаты расчёта приведены на рисунке 3.



**Рис.3 – Зависимость SKO флуктуационного шума квантования  $\Sigma\Delta$ -АЦП с цифровым с фильтром третьего порядка.**

Из рисунка 3 видно, что область значения масштабных коэффициентов, для которых имеет место минимум SKO (0.003) флуктуационного шума квантования  $\Sigma\Delta$ -АЦП, совпадает с аналогичной областью значений масштабных коэффициентов, рассчитанных по приведенной выше методике (рисунок 2).

Таким образом, предложенная методика анализа флуктуационных шумов нелинейных динамических систем по критерию энтропийной информативности, показанная на примере однобитного  $\Sigma\Delta$ -модулятора, может быть рекомендована для использования при проектировании высокоточных  $\Sigma\Delta$ -АЦП, с целью упрощения процедур численного расчета.

#### *Список литературы:*

1. *Новицкий П.В.* Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
2. *Чувькин Б.В., Селезнев А.В., Сидорова И.А.* Использование энтропийной оценки информативности для оптимизации параметров сигма-дельта модулятора. НПЖ «Отраслевые аспекты технических наук» №9. – Москва: Издательство «ИНГН», 2011. – С. 7-10
3. *Чувькин Б.В., Ашанин В.Н., Шахов Э.К.*  $\Sigma\Delta$ -аналого-цифровые преобразователи: основы теории и проектирование: Монография. – Пенза: Информационно-издательский центр ПенГУ, 2009. – 188 с.

**И. А. Сидорова, О. В. Тужилкин, Б. В. Чувькин д.т.н.**

Пензенский государственный университет, факультет вычислительной техники  
кафедра информационно-вычислительных систем  
Россия, г. Пенза  
Chuvykin\_BV@mail.ru, irina-penza@mail.ru

## **МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДАТЧИКОВЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ**

Рассмотрены основные энергоэффективные протоколы взаимодействия в датчиковых беспроводных системах. Приведены основные принципы их функционирования. Предложен метод повышения энергоэффективности систем при использовании этих протоколов.

*Ключевые слова:* датчиковые беспроводные системы, энергоэффективные протоколы взаимодействия, режим «холостого прослушивания».

Датчиковая беспроводная система (сенсорные сети) представляют собой распределенное в пространстве множество датчиков и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Основной областью применения является контроль и мониторинг измеряемых параметров различных физических полей, сред и объектов (слежение за целью, охрана границ, управление безопасностью. домашняя и промышленная автоматизация, контроль микроклимата, охранно-пожарные системы, учет и оптимизация потребления водозенергоресурсов и т.д.). Причем область покрытия подобной сети может составлять от единиц метров до нескольких километров.

Преимущества применения сенсорных сетей: возможность расположения в труднодоступных местах; оперативность и удобство развертывания и обслуживания системы; надежность сети в целом; возможность добавления или исключения любого количества устройств из сети; высокий уровень проникновения сквозь препятствия и стойкость к электромагнитным помехам; длительное время работы без замены элементов питания [1].

Датчиковые беспроводные системы состоят из множества беспроводных модулей, распределённых по площади объекта наблюдения. Каждый такой модуль состоит из одного или нескольких датчиков, встроенного контроллера, маломощного приёмопередатчика и аккумулятора (рис. 1).



**Рис. 1 – Структурная схема беспроводного датчика.**

Главный недостаток беспроводных модулей – ограниченность срока службы, которая определяется ёмкостью аккумулятора. Основным потребителем энергии является приёмопередатчик, который может потреблять до 85-90 % энергии аккумулятора. В связи

с этим время работы без замены или подзарядки аккумулятора будет определяться алгоритмом работы самого прибора и протоколом взаимодействия между беспроводными модулями. Для повышения энергоэффективности всё это должно учитываться на этапе разработки системы.

Время работы приёмопередатчика определяется главным образом протоколом взаимодействия, в частности протоколом доступа к среде (MAC). Существуют четыре типа MAC-протоколов для датчиковых сетей, которые классифицируются по категориям: протоколы, производящие опрос каналов; работающие по расписанию; TDMA (англ. Time Division Multiple Access — множественный доступ с разделением по времени); гибридные протоколы [2].

Недостатком всех протоколов является, так называемый эффект, «холостого прослушивания». Это явление заключается в том, что приёмник находится в активном состоянии даже в те моменты времени, когда в радиоэфире для него нет данных. Следственно энергия расходуется впустую. К примеру, в протоколах на основе TDMA «холостое прослушивание» может занимать до 90% времени рабочего цикла (исключая режим сна) прибора.

Одним из методов повышения энергоэффективности беспроводной датчиковой системы, который будет рассматриваться в данной статье, является сокращения времени пребывания модуля в режиме «холостого прослушивания». Одним из путей решения этой проблемы является использование TDMA протокола с динамически меняющимся расписанием, что исключает возможность возникновения коллизий. Однако реализация TDMA довольно сложная задача, для решения которой требуется информация о месте расположения узлов. К тому же в TDMA выделяются очень короткие временные слоты, которые могут смещаться под действием временного дрейфа, что может оказаться катастрофичным для системы.

Другим способом сокращения времени пребывания модуля в режиме «холостого прослушивания» – применение второго радиоприёмника, работающего на частоте, отличной от рабочей частоты системы. Этот приёмник должен пробуждать прибор при получении данных от других узлов, адресуемых конкретно этому беспроводному модулю. При этом он должен потреблять очень мало энергии.

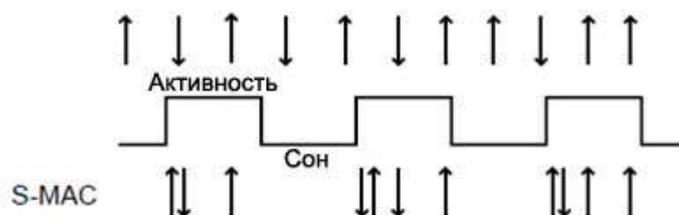
Ещё одним вариантом решения этой проблемы является применение алгоритма адаптации IEEE 802.11 [6], который считается энергоэффективным и работает в режиме пересылок данных. Однако этот протокол работает с одной оговоркой, считается, что все узлы сосредоточены в одной сетевой ячейке в момент передачи узлами данных.

Одним из первых протоколов, которые были построены по принципу опроса каналов, является протокол В-MAC [3]. Особенностью В-MAC, является то, что в нём реализована схема управления питанием. Смысл работы протокола заключается в том, что для передачи данных используется длинная преамбула, что значительно увеличивает затраты на передачу, но в то же время сокращает время холостого прослушивания, позволяя узлам находиться в режиме приёма в течение только одного периода трансляции преамбулы. Рекомендованное значение длительности преамбулы в В-MAC длится 100 мс.

Частным случаем реализации В-MAC является протокол Х-MAC. Х-MAC более эффективен в плане энергопотребления и характеризуется меньшим временем задержки. Добиться такого результата удалось за счёт внедрения адресной информации в преамбулу. Когда узел принимает пакет преамбулы, он проверяет, адресована ли она ему. Если это так, он посылает подтверждение для отправителя, который прекращает передачу преамбулы и отправляет пакет данных. В противном случае узел переходит в сон до следующего сеанса опроса.

Оба протокола – В-MAC и Х-MAC были включены в TinyOS 2.0.1. В общем, эти протоколы позволяют добиться хорошей энергоэффективности для приложений с малым объёмом трафика и низкой скоростью передачи данных.

Ещё один протокол, позволяющий решить задачу уменьшения времени «холостого прослушивания» – S-MAC [5]. Суть работы протокола заключается в том, что время делится на довольно большие отрезки – фреймы. Фрейм делится на две части: в одном из них датчик пребывает в режиме активности, в другом – в режиме сна. Во время сна узел отключает приёмопередатчик для экономии энергии. В режиме активности он может взаимодействовать со своими соседями и отправлять любые сообщения, которые были подготовлены во время пребывания в режиме сна (рис. 2).



**Рис. 2 – Рабочий цикл S-MAC.**

Все сообщения передаются/принимаются только во время активного фрейма. В итоге время между сообщениями уменьшается, и энергопотребление в режиме прослушивания снижается. По сути, энергия экономится за счёт снижения пропускной способности и увеличения задержки.

Разработчиками протокола T-MAC [4] предложена идея снижения времени «холостого прослушивания», которая заключается в том, чтобы передавать все сообщения в пакетах переменной длины, и переходить в режим сна между пересылками. Для поддержания оптимального времени активности при переменной нагрузке необходимо динамически определять длительность этого временного интервала. Окончание времени активности определяется простым способом: взятие тайм-аута, когда в радиозфере нет данных. Для максимальной энергоэффективности работы системы необходимо синхронизировать беспроводные модули. Наиболее приемлемым методом синхронизации, с точки зрения энергоэффективности, является метод, применяемый в протоколе S-MAC [5], так называемая виртуальная синхронизация. Для беспроводных узлов очень важным является вопрос определения узла, который будет передавать данные в текущий момент времени, в случае если расписания двух или более узлов совпадают. В протоколе IEEE 802.11 используется состязательная схема определения передающего модуля. Идея заключается в том, что узлы ожидают случайное время в пределах состязательного интервала после обнаружения коллизии. Только когда в эфире нет данных в течение этого времени, они перезапускают передачу. Такая схема позволяет снизить возможность коллизий, когда загрузка велика, и минимизировать задержку, когда загрузка мала.

Из приведённого выше обзора видно, что не существует универсального протокола оптимального для всех условий работы системы, поэтому для повышения энергоэффективности необходимо проанализировать все ограничения и требования, предъявляемые к системе, и, исходя из них, выбирать протокол межсетевое взаимодействия, который подходит для решения конкретной задачи.

### *Список литературы:*

1. *Akyildiz I.F., Su W, Sankarsubramaniam Y.* "A Survey on Sensor Networks" – IEEE Communications Magazine, 2004.
2. *Arumuga M., Kulkarni S.* "TDMA Services for Sensor Networks" – International Conference on Distributed Computing Systems Workshop, 2004.
3. *Polastre J., Hill J., Culler D.* Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Network - ACM SenSys, 2004
4. *Tijs van Dam, Koen Langendoen.* "An Adaptive EnergyEfficient for Wireless Sensor Networks", California, USA, 2003.
5. *Ye W., Heidemann J., Estrin D.* "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks" – 21st Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), 2002. T. 3, page 1567-1576
6. Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications" – IEEE 802.11 Standard, 1997.

**И. В. Смирнов**

Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева  
Россия, г. Ковров  
smirnov\_ilya2004@mail.ru

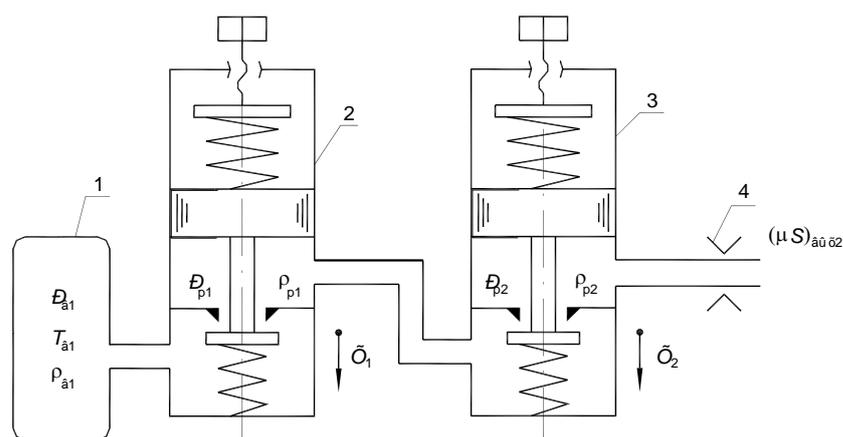
## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Рассматривается построение математического описания функционирования системы газоснабжения, включающей последовательное соединение регуляторов давления газа. Представлены результаты анализа устойчивости двухступенчатой системы регулирования давления. Предложен порядок решения задачи об устойчивости такой системы.

*Ключевые слова:* пневмосистема, регулятор давления, математическая модель, условие устойчивости.

В системах газоснабжения различного назначения в качестве одного из основных элементов используются регуляторы давления, обеспечивающие требуемые параметры газа, выдаваемые потребителю. В частности к таким системам относятся системы, обеспечивающие работу технологического оборудования стартовых и технических позиций ракетно-космического комплекса, а также бортовых гидропневмосистем [1]. Постоянное возрастание требований к точностным и динамическим характеристикам систем регулирования параметров газа приводит к использованию разнообразных конструкций регуляторов давления и схем их включения в систему. Одной из таких схем, обеспечивающей повышение точности регулирования давления газа, выдаваемого потребителю, является двухступенчатая схема регулирования.

Принципиальная схема системы представлена на рис. 1.



**Рис. 1 – Принципиальная схема системы:  
1 – источник питания; 2 – регулятор 1-й ступени;  
3 – регулятор 2-й ступени; 4 – входной дроссель потребителя.**

Используя термодинамические зависимости для переменного количества газа, получаем систему нелинейных дифференциальных уравнений – динамическую модель, которая описывает функционирование 2-х ступенчатой системы регулирования давления [2].

Регулятор давления первой ступени.

$$\frac{dp_{p1}}{dt} = \frac{1}{W_{H1} - S_{H1}X_1} (B_1X_1k \cdot k_0P_{b1}^{3/2}\rho_{p1}^{-1/2}Y_{b1} - B_2X_2k \cdot k_0P_{p1}^{3/2}\rho_{p1}^{-1/2}Y_{12} + kS_{H1}P_{p1}V_1); \quad (1)$$

$$\frac{d\rho_{p1}}{dt} = \frac{1}{W_{H1} - S_{H1}X_1} (B_1X_1k_0P_{b1}^{1/2}\rho_{p1}^{1/2}Y_{b1} - B_2X_2 \cdot k_0P_{p1}^{1/2}\rho_{p1}^{1/2}Y_{12} + S_{H1}\rho_{p1}V_1); \quad (2)$$

$$\frac{dV_{p1}}{dt} = \frac{1}{M_1} (P_{01} - p_{p1}S_{H1} - p_{b1}S_{b1} - h_1V_1 - \eta_1X_{p1}); \quad (3)$$

$$\frac{dX_1}{dt} = V_1; \quad (4)$$

$W_{H1}$  - объем полости низкого давления редуктора первой ступени, включая присоединенный объем трубопровода, при  $X_1=0$ .

$$Y_{b1} = Y\left(\frac{P_{p1}}{P_{b1}}\right) = \begin{cases} 1 & \text{при } \frac{P_{p1}}{P_{b1}} \leq \beta_k, \\ \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \sqrt{\left(\frac{P_{p1}}{P_{b1}}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_{p1}}{P_{b1}}\right)^{\frac{k+1}{k}}} & \text{при } \frac{P_{p1}}{P_{b1}} > \beta_k. \end{cases}$$

$$\beta_k = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}; \quad Y_{12} = Y\left(\frac{P_{p2}}{P_{p1}}\right); \quad k = \frac{c_p}{c_w}; \quad k_0 = \sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}},$$

$P_{p1}$ ,  $\rho_{p1}$  - давление и плотность газа в полости;  $X_1$ ,  $V_1$  - координата и скорость чувствительного элемента;  $P_{01}$  - сила предварительного поджатия пружин редуктора;  $S_{H1}$  - площадь чувствительного элемента;  $S_{b1}$  - площадь клапана, неуравновешенная по высокому давлению;  $h_1$  - коэффициент трения;  $\eta_1$  - суммарная жесткость пружин;  $B_1X_1$ ,  $B_2X_2$  - эффективные площади дроселирующих сечений в клапанных парах редукторов соответствующих ступеней;  $M_1$  - приведенная масса подвижных частей редуктора.

Регулятор второй ступени.

$$\frac{dp_{p2}}{dt} = \frac{1}{W_{H2} - S_{H2}X_2} (B_2X_2kk_0P_{p1}^{3/2}\rho_{p1}^{-1/2}Y_{12} - (\mu S)_{\text{вых}2}kk_0P_{p2}^{3/2}\rho_{p2}^{-1/2}Y_{23} + kS_{H2}P_{p2}V_2); \quad (5)$$

$$\frac{d\rho_{p2}}{dt} = \frac{1}{W_{H2} - S_{H2}X_2} (B_2X_2k_0P_{p1}^{1/2}\rho_{p1}^{1/2}Y_{12} - (\mu S)_{\text{вых}2}k_0P_{p2}^{1/2}\rho_{p2}^{1/2}Y_{23} + S_{H2}\rho_{p2}V_2); \quad (6)$$

$$\frac{dV_2}{dt} = \frac{1}{M_2} (P_{02} - p_{p2}S_{H2} - p_{p1}S_{b2} - h_2V_2 - \eta_2X_2); \quad (7)$$

$$\frac{dX_2}{dt} = V_2. \quad (8)$$

Проведем исследование устойчивости установившегося режима работы системы с использованием математического моделирования на основе линеаризованной математической модели. Структурная схема линейной модели 2-х ступенчатой системы регулирования давления представлена на рис. 2.

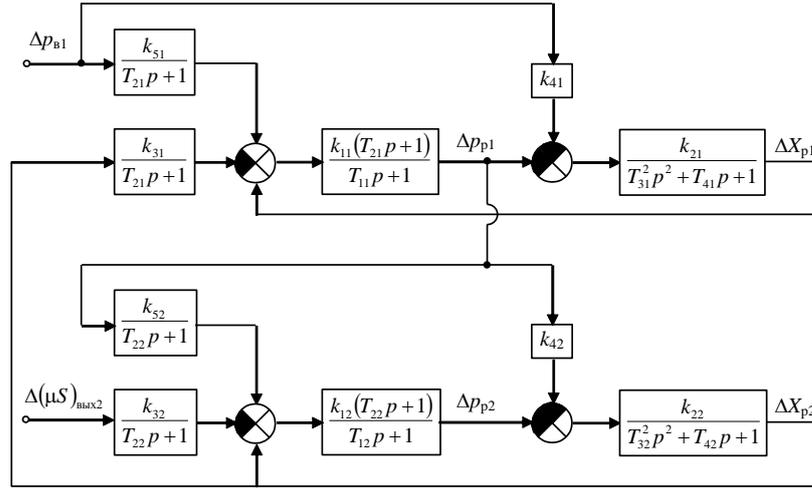


Рис. 2 – Структурная схема системы.

Параметры схемы определяются следующими зависимостями:

$$\begin{aligned}
 k_{11} &= \frac{B_1}{B_2 X_{p20}} p_{в10}; & k_{21} &= \frac{S_{H1}}{\eta_1}; & k_{31} &= \frac{p_{п10} B_2}{p_{в10} B_1}; & k_{41} &= \frac{S_{в1}}{S_{H1}}; & k_{51} &= \frac{X_{p01}}{p_{в10}}; \\
 k_{12} &= \frac{B_2}{(\mu S)_{вых2}} p_{п20}; & k_{22} &= \frac{S_{H2}}{\eta_2}; & k_{32} &= \frac{p_{п20}}{p_{п10}} \frac{1}{B_2}; & k_{42} &= \frac{S_{в2}}{S_{H2}}; & k_{52} &= \frac{X_{p02}}{p_{п10}}; \\
 T_{11} &= \frac{W_{H1} - S_{H1} X_{п10}}{B_2 X_{п20} k k_0 \sqrt{RT_{в10}}}; & T_{21} &= \frac{p_{п10}}{p_{в10}} \frac{S_{H1}}{B_1 k_0 \sqrt{RT_{в10}}}; & T_{31}^2 &= \frac{M_{п1}}{\eta_{п1}}; & T_{41} &= \frac{h_1}{\eta_1}; \\
 T_{12} &= \frac{W_{H2} - S_{H2} X_{п20}}{(\mu S)_{вых2} k k_0 \sqrt{RT_{п10}}}; & T_{22} &= \frac{p_{п20}}{p_{п10}} \frac{S_{H2}}{B_2 k_0 \sqrt{RT_{п10}}}; & T_{32}^2 &= \frac{M_{п2}}{\eta_2}; & T_{42} &= \frac{h_2}{\eta_2}.
 \end{aligned} \quad (9)$$

В зависимостях (9)  $p_{в10}$ ,  $p_{п10}$ ,  $p_{п20}$ ,  $T_{в10}$ ,  $T_{п10}$ ,  $X_{п10}$ ,  $X_{п20}$  – значения соответствующих величин в установившемся режиме, в окрестностях которого произведена линеаризация. Возмущающими воздействиями являются отклонения давления  $\Delta p_{в1}$  в газобаллонном источнике и изменения эффективной площади дросселя потребителя  $\Delta(\mu S)_{вых2}$ .

Каждой ступени редуцирования в структурной схеме соответствует замкнутый контур с отрицательной обратной связью. Если пренебречь взаимным влиянием этих контуров, то для каждого из них легко получить аналитические условия устойчивости:

– для первой ступени

$$(T_{31}^2 + T_{41} T_{11}) \cdot (T_{41} + T_{11} + k_{11} k_{21} T_{21}) > T_{11} T_{31}^2 \cdot (1 + k_{11} k_{21}); \quad (10)$$

– второй ступени

$$(T_{32}^2 + T_{42} T_{12}) \cdot (T_{42} + T_{12} + k_{12} k_{22} T_{22}) > T_{12} T_{32}^2 \cdot (1 + k_{12} k_{22}). \quad (11)$$

Упрощенный вариант этих условий:

$$\frac{p_{в1} B_1 S_{H1}}{\eta_1} < \frac{(W_{H1} - S_{H1} X_{п01}) h_1}{k k_0 M_{п1} \sqrt{RT_{в10}}}; \quad \frac{p_{п10} B_2 S_{H2}}{\eta_2} < \frac{(W_{H2} - S_{H2} X_{п02}) h_2}{k k_0 M_{п2} \sqrt{RT_{п10}}}. \quad (12)$$

Если не выполняется одно из условий (10), (11), т. е., если одна из ступеней, рассматриваемая независимо от другой, оказывается неустойчивой, то вся двухступенчатая подсистема будет неустойчива, какими бы параметрами не обладала другая ступень. Таким образом, условия (10), (11) или в упрощенном варианте условия (12) являются необходимыми.

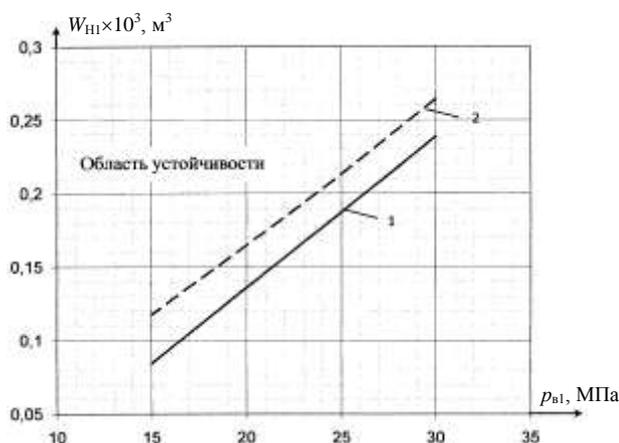
Взаимное влияние ступеней приводит к появлению в схеме нескольких внутренних замкнутых контуров с положительной связью. Поэтому выполнение условий (10), (11) не гарантирует устойчивость всей системы.

Оценим влияние на устойчивость взаимосвязи ступеней для конкретной системы. Максимальное давление в источнике питания полагаем равным 30 МПа. Первая ступень обеспечивает понижение давления до 5,1 МПа, вторая – до значения 1,3 МПа.

Из анализа (10), (11) следует, что эти условия тем сложнее выполняются, чем выше давление на входе в редуктор соответствующей ступени, поскольку пропорционально этому давлению увеличивается произведение коэффициентов передачи элементов контура. Поэтому наиболее сложно выполняется условие (10). Фактором, положительно влияющим на выполнение условия (10) является увеличение постоянных времени  $T_{11}$  и  $T_{41}$ , значения которых пропорциональны соответственно объему  $W_{Н1}$  полости низкого давления данной ступени и коэффициенту трения механического звена. Наиболее просто влиять на запасы устойчивости увеличением объема  $W_{Н1}$ .

Для исследования взаимного влияния ступеней на плоскости параметров  $p_{в1}-W_{Н1}$  построены две границы области устойчивости. Граница 1 соответствует случаю, когда система работает как одноступенчатая. Граница 2 построена для двухступенчатой системы. Во всех случаях полагалось, что настройка редукторов была неизменна, а расход рабочего тела составлял 0,04 кг/с.

Из представленных результатов следует, что с присоединением второй ступени для обеспечения устойчивости двухступенчатой системы объем полости низкого давления первой ступени следует увеличить, что говорит о том, что взаимное влияние ступеней редуцирования оказывает негативное воздействие на запасы устойчивости.



**Рис. 3 – Границы области устойчивости:**  
**1 – для одноступенчатой системы, 2 – для двухступенчатой системы.**

Можно предложить следующий порядок решения задачи об устойчивости двухступенчатой системы регулирования давления. При формировании системы проверяют выполнение условий (12) и в случае необходимости вводят в цепи низкого давления дополнительные проточные полости. Правые части в неравенствах (12) должны быть больше левых ориентировочно в 2 раза. Затем проводят математическое моделирование функционирования подсистемы, используя для этого структурную схему на рис. 2. Если запасы устойчивости в двухступенчатой подсистеме окажутся недостаточными, о чем будет свидетельствовать высокая колебательность переходных процессов, возникающих при действии возмущающих воздействий, то следует увеличить запасы устойчивости отдельных фрагментов. Большой эффект при этом даст увеличение присоединенных объемов в первой ступени регулирования.

### *Список литературы:*

1. Арзуманов Ю.Л., Петров Р.А., Халатов Е.М. Системы газоснабжения и устройства пневмоавтоматики ракетно-космических комплексов. – М.: Машиностроение, 1997. – 464 с.
2. Математические модели систем пневмоавтоматики: Учеб. пособие / Ю.Л. Арзуманов, Е.М. Халатов, В.И. Чекмазов, К.П. Чуканов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 296 с.

**М. М. Шихов**

Вятский государственный университет  
факультет автоматики и вычислительной техники  
кафедра электронных вычислительных машин  
Россия, г. Киров  
kaf\_evm@vyatsu.ru

## МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ПОДСТАНОВКАХ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА НА ЗНАНИЯХ

В работе предлагается метод вычислений для параллельного логического вывода на знаниях, представленных формулами исчисления предикатов первого порядка. Описывается модификация формальной системы. Предлагается организация вычислений на подстановках. Приводится пример вычислений и дается оценка метода.

*Ключевые слова:* параллельный логический вывод, логика предикатов, вычисления.

В категорию вычислений в работе выносятся преобразования символьных представлений чисел, строк, матриц, полиномов и других, значимых для решения прикладных задач средств. При этом знания о реализации таких преобразований в контексте решаемой логической задачи не важны. Отдельная подсистема вычислений, избавляя от необходимости задавать знания о вычислениях непосредственно в логической программе, позволяет: использовать наиболее удобные представления указанных средств; сократить объемы логических программ; повысить скорость решения многих прикладных логических задач; полнее задействовать вычислительные возможности традиционных компьютеров при программной реализации системы логического вывода в целом.

**Формальная система.** Возможностью вычислений предполагается дополнить обобщенный метод параллельного дедуктивного вывода [3], поэтому взята за основу и модифицирована вводимая там же формальная система IP, в которую вносятся следующие изменения.

*Расширяется определение термина.*

1) Всякая предметная переменная  $x_i$ , предметная константа  $a_j$  или символ (т.е. представление чисел, строк и др. средств) есть терм.

2) Если  $t_0, t_1, \dots, t_n$  – термы, то функция  $t_0(t_1, \dots, t_n)$  есть терм.

3) Если  $t$  – терм, то  $[t]$  есть терм. Обозначение  $[t]$  подразумевает значение-результат вычислений над  $t$ . Сам оператор  $[\ ]$  будем называть вычислителем.

4) Других правил образования термов нет.

*Вводятся дополнительные аксиомы.* При этом предполагается, что в обозначении  $A(\dots, t, \dots)$  атом  $A$  имеет вхождения термина  $t$  в своем составе.

1) Базовая аксиома вычисления:  $A(\dots, [a_i], \dots) \rightarrow A[\dots, a_i, \dots]$ , где  $a_i$  – предметная константа или символ.

2) Базовая аксиома вычисления функции:  $A(\dots, [a_0(a_1, \dots, a_n)], \dots) \rightarrow A(\dots, a_m, \dots)$ , где  $a_m$  есть результат отображения  $a_0: (a_1, \dots, a_n) \rightarrow a_m$ . При этом все аргументы функции  $a_0$  в левой части формулы являются предметными константами или символами.

3) Обобщенная аксиома вычисления функции:  
 $A(\dots, [t_0(t_1, \dots, t_n)], \dots) \rightarrow A(\dots, [[t_0]([t_1], \dots, [t_n])], \dots)$ .

При этом формальная постановка задачи дедуктивного вывода остается прежней, но с дополнительным условием: формулы доказанного заключения, а также все формулы, входящие в схему вывода, не должны содержать вхождений вычислителя.

**Вычисления на подстановках.** Особенностью дополняемого метода является то, что в результате параллельного выполнения процедур вывода, в процессе доказательства одна и та же предметная переменная может принимать различные значения. Затем эти значения необходимо согласовать. Одной из основных информационных структур в избранном методе является подстановка, содержащая значения переменных, полученных в одной из параллельно отработавших процедур вывода. А одной из основных процедур является процедура согласованного объединения решений (множества подстановок), полученных процедурами вывода.

Исходя из указанных особенностей метода, предлагается ввести двуместную операцию согласованного объединения подстановок, в процессе выполнения которой и реализовать вычисления, что дает возможность полностью сохранить параллелизм.

Подстановку  $\lambda$  удобно определить как объединение двух непересекающихся множеств:  $\lambda = \lambda_v \cup \lambda_e$ . Множество  $\lambda_e$  составляют замены вида  $[t]/x$ , где  $t$  – терм,  $x$  – предметная переменная. Оставшиеся элементы  $t/x$  составляют множество  $\lambda_v$ . В заменах  $t/x \in \lambda_v$  не может быть вхождений вычислителя  $[t]$ . Это достигается за счет того, что  $t(\dots, [t], \dots)/x$  преобразуется в  $t(\dots, y, \dots)/x$ , а к множеству  $\lambda_e$  добавляется замена  $[t']/y$ . Здесь  $y$  – вводимая переменная предметной области. Причины такого подхода – минимизация объемов вычислений и упрощение описания алгоритмов. Также введем ряд дополнительных обозначений. Подстановку, не содержащую ни одной замены, будем обозначать  $\varepsilon$ . Подстановку, в которой присутствуют замены, конфликтующие по одной и той же переменной, причем термы-значения этих переменных не могут никакими заменами переменных в их составе быть сведены к одному значению, будем называть несогласованной и обозначать  $\varphi$ .

Результат работы вычислителя зависит от ограничений, накладываемых на область определения функций в составе его аргумента, и влияет на ход алгоритма согласованного объединения подстановок. Внутри системы вычислитель  $[t]$  удобно рассматривать в виде процедуры, определенной следующим образом:  $e = \langle t, v, s \rangle$ , где  $t$  – исходный терм;  $v$  – результат вычислений;  $s$  – признак окончания вычислений. Признак окончания  $s$  может принимать следующие значения: 0 – вычисление прошло без ошибок и  $v$  – символ; 1 – вычисление отложено и  $v$  – не является символом; 2 – вычисление невозможно.

В процессе логического вывода в логике предикатов важное значение имеет унификация, позволяющая свести два или более термов к одному, применяя к ним одну и ту же подстановку, которая собственно и будет результатом унификации (см., например, [1], унификация с учётом обобщения функторов см. [2]). Задачи унификации термов и согласованного объединения подстановок тесно связаны между собой. Чтобы иметь возможность рассматривать согласованное объединение подстановок как операцию, вводится отношение строгого порядка на множестве переменных.

Рассмотрим все варианты возможных унификаций термов. Результатом унификации  $t_0(t_1, \dots, t_n)$  и  $t'_0(t'_1, \dots, t'_m)$  будет согласованное объединение подстановок  $\{t_0/y_0, t_1/y_1, \dots, t_n/y_n\}$  и  $\{t'_0/y'_0, t'_1/y'_1, \dots, t'_m/y'_m\}$ . Особенностью вспомогательных переменных  $y_i$  ( $1 \leq i \leq \max(m, n)$ ) является то, что сравнение  $x < y_i$  всегда истина для любой  $x$  из предметной области. Из результата согласованного объединения подстановок все элементы вида  $t/y_i$  могут быть исключены. Результатом унификации  $t_0(t_1, \dots, t_n)$  и предметной константы или символа  $a$  всегда будет  $\varphi$ . Унификация предметной константы и символа всегда даст  $\varphi$ . Результатом унификации  $t_0(t_1, \dots, t_n)$  и переменной  $x$  будет либо  $\varphi$ , если  $t_0(t_1, \dots, t_n)$  содержит вхождения  $x$ , либо подстановка  $\{t_0(t_1, \dots, t_n)/x\}$ . Результатом унификации  $t_0(t_1, \dots, t_n)$  и вычислителя  $[t]$  всегда будет  $\varphi$ . Результатом унификации констант  $a$  и  $a'$  будет либо  $\varphi$  (если  $a \neq a'$ ), либо  $\varepsilon$  (если  $a = a'$ ). Результатом унификации константы или символа  $a$  и переменной  $x$  всегда будет подстановка  $\{a/x\}$ . Результатом унификации константы или символа  $a$  и вычислителя  $[t]$  будет подстановка  $\{a/y, e(t)/y\}$ , где  $y$  – вспомогательная переменная. В дальнейшем, если  $[t]$  будет вычислен и окажется равным  $a$ , замены с фиктивной

переменной можно удалить из результата. Результатом унификации двух переменных  $x$  и  $x'$  будет либо  $\varepsilon$  (если  $x=x'$ ), либо  $\{x/x'\}$  (если  $x<x'$ ), либо  $\{x'/x\}$  (если  $x'<x$ ). Результатом унификации переменной  $x$  и вычислителя  $[t]$  всегда будет подстановка  $\{[t]/x\}$ . Результатом унификации двух вычислителей  $[t]$  и  $[t']$  будет либо  $\varepsilon$  (если  $t=t'$ ), либо  $\{e(t)/y, e(t')/y\}$  (если  $t\neq t'$ ). Здесь  $y$  – вспомогательная переменная.

Алгоритм двуместной операции согласованного объединения подстановок  $\lambda' \cdot \lambda''$  следующий.

1) Если  $\lambda' = \varepsilon$ , то  $\lambda = \lambda''$ , иначе, если  $\lambda'' = \varepsilon$ , то  $\lambda = \lambda'$ , иначе, если  $\lambda' = \varphi$  или  $\lambda'' = \varphi$ , то  $\lambda = \varphi$ . Переход к пункту 9.

2)  $\lambda = \lambda' \cup \lambda''$ .

3) Множество  $\lambda$  разделяется на константную и вычислимую части  $\lambda = \lambda_v \cup \lambda_e$ ;  $\lambda_v \cap \lambda_e = \emptyset$ . Выполняются замены переменных в составе термов  $t$ ;  $t/x \in \lambda$ , соответствующими значениями из множества  $\lambda_v$ . Для всех  $[t_i]$ ;  $[t_i]/x_i \in \lambda_e$  выполняются процедуры  $e\langle t_i, v_i, s_i \rangle$ . Если хоть один  $s_i = 2$ , то фиксируется  $\lambda = \varphi$  и выполняется переход к пункту 9.

4) Все  $[t_i]/x_i \in \lambda_e$  в составе  $\lambda$  преобразуются в  $v_i/x_i$  и, если имеются  $s_i = 0$ , то переход к пункту 3.

5) Фиксируется одно из множеств всех значений некоторой переменной  $x$ :  $\{t_1, \dots, t_n\}$ ;  $t_i/x \in \lambda_v$ , ( $1 \leq i \leq n$ ). Причем  $n \geq 2$ . Если ни для какой переменной такое множество сформировать не удастся, то выполняется переход к пункту 9.

6)  $t' = t_1, j = 2$ . Из множества  $\lambda$  исключается замена  $t_1/x$ .

7) В соответствии с изложенными выше правилами унификации находится  $\lambda_t$  как результат унификации терма  $t'$  и терма  $t_j$ . Если  $\lambda_t = \varphi$ , то фиксируется  $\lambda = \varphi$  и выполняется переход к пункту 9.

8) Из множества  $\lambda$  исключается замена  $t_i/x$ , выполняется  $j = j + 1, t' = \lambda_t \cdot t', \lambda = \lambda \cup \lambda_t$ . Если  $j > n$ , то выполняется  $\lambda = \lambda \cup \{t'/x\}$  и переход к пункту 3, иначе переход к пункту 7.

9) В качестве результата операции фиксируется  $\lambda$ .

В данном алгоритме следует отдельно прокомментировать пункт 7. Унификация термов, как следует из описания, реализуется в ряде случаев через согласованное объединение подстановок. Алгоритм рекурсивен, и так как сводится к базовому случаю унификации терма с переменной или терма с константой, имеет неизбежный рекурсивный возврат.

Из приведенного алгоритма следует: согласование с пустой подстановкой не влияет на исходный операнд  $\lambda = \lambda \cdot \varepsilon = \varepsilon \cdot \lambda$ ; согласование с несогласованной подстановкой в результате дает несогласованную подстановку  $\varphi = \lambda \cdot \varphi = \varphi \cdot \lambda$ ; операция коммутативна  $\lambda \cdot \lambda' = \lambda' \cdot \lambda$  и ассоциативна  $\lambda \cdot \lambda' \cdot \lambda'' = (\lambda \cdot \lambda') \cdot \lambda'' = \lambda \cdot (\lambda' \cdot \lambda'')$ .

**Пример вычислений.** Рассмотрим согласованное объединение подстановок  $\lambda' \cdot \lambda''$ , где  $\lambda' = \{add(a, M)/K, [add(10, M)]/Y\}$   $\lambda'' = \{[X(Y, 10)]/Z, X(a, 10)/K\}$ . Здесь  $add$  – символ функции; 10 – символ (представление) числа 10;  $X, Y, Z, K, M$  – предметные переменные;  $a$  – предметная константа. Процесс выполнения алгоритма с указанием шагов следующий.

1,2,3,4:  $\lambda = \lambda_v \cup \lambda_e = \{add(a, M)/K, X(a, 10)/K\} \cup \{[add(10, M)]/Y, [X(Y, 10)]/Z\}$ .

5:  $\{add(a, M), X(a, 10)\}$  для переменной  $K$ .

6,7,8:  $\lambda = \{add(a, 10)/K, 10/M, add/X\} \cup \{[add(10, M)]/Y, [X(Y, 10)]/Z\}$ .

3,4:  $\lambda = \{add(a, 10)/K, 10/M, add/X, 20/Y\} \cup \{[add(Y, 10)]/Z\}$ .

3,4,5,9:  $\lambda = \{add(a, 10)/K, 10/M, add/X, 20/Y, 30/Z\}$ .

В данном примере выполнены вычисления  $[add(10, M)] = 20$  и  $[X(Y, 10)] = 30$  после того, как стали известны значения переменных  $\{10/M, add/X, 20/Y\}$ .

**Оценка метода.** Основным достоинством подхода является то, что он позволяет сохранить декларативность описания предметной области, что является существенным моментом, например для самообучающихся систем. Также остаются все возможности

распараллеливания логического вывода, какие имелись в исходном методе. Вычисления остаются «прозрачными» для системы логического вывода.

Введение вычислений на уровне термов дает большую гибкость, и полностью покрывает возможности введения вычислений на уровне атомов, например, правила:  $ADD(A,B,[add(A,B)])$ ,  $ADD(A,[sub(C,A)],C)$ ,  $ADD([sub(C,B)],B,C)$  позволяют организовать «вычисляемый» предикат, позволяющий находить числа, состоящие в отношении  $A+B=C$ .

Вычисления сосредоточены в рамках одной операции.

Практическим недостатком подхода является расход памяти на фиктивные переменные, которые позволяют реализовать отложенные вычисления.

Необходимо отметить, что приведенные алгоритмы имеют высокий ресурс распараллеливания как на уровне узла, выполняющего согласованное объединение подстановок, так и на более высоком уровне согласования решений [3].

Метод логического вывода, дополненный возможностью вычислений, позволит в одной логической программе не только конструировать формулы, но и рассчитывать их значения.

### *Список литературы:*

1. Вагин, В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах [Текст] / В. Н. Вагин, Е. Ю. Головина, А. А. Загорянская, М. В. Фомина; под ред. В. Н. Вагина, Д. А. Поспелова. – М. : Физматлит, 2008.

2. Страбыкин, Д.А. Логический вывод с обобщением функциональных символов в формулах посылок и заключений [текст] / Д.А. Страбыкин, М.М. Шихов, Р.С. Петров // КИИ-2008 Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (28 сентября – 3 октября 2008 г., Дубна, Россия). – М.: Физматлит, 2008, в 3-х т. – Т.1. – С. 310-315.

3. Страбыкин, Д.А. Логический вывод в системах обработки знаний [Текст] / Д. А. Страбыкин; под ред. Д. В. Пузанкова. – СПб.: СПбГЭТУ 1998.

С. Г. Ярушин д.т.н.

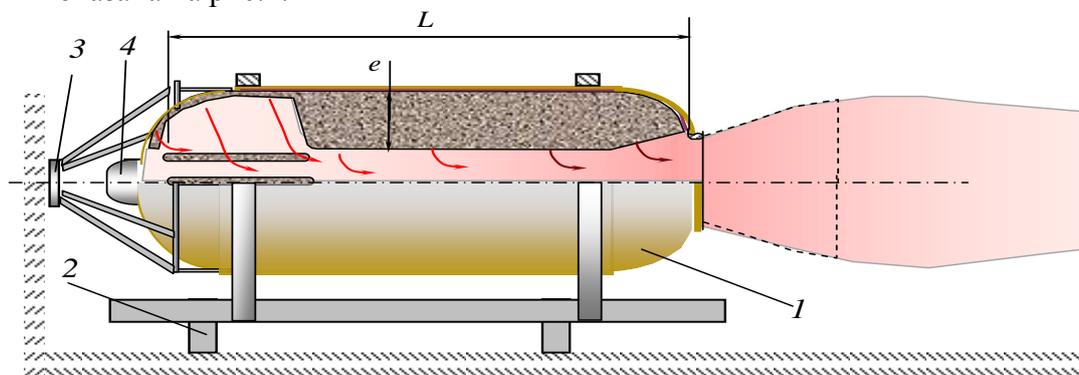
Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Кафедра «Технология, конструирование и автоматизация  
в специальном машиностроении»  
Россия, г. Пермь  
tka@cpl.pstu.ru

## СПОСОБ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РДТТ С ДЕФЕКТНЫМИ ЗАРЯДАМИ

На основе анализа показана невозможность безопасной утилизации крупногабаритных РДТТ с дефектными зарядами традиционным способом. Предложен альтернативный способ, переводящий горение зарядов из радиального в торцевой режим и с защитой дефектов от горения за счет вертикального расположения РДТТ и заполнения канала водой.

*Ключевые слова:* утилизация; крупногабаритный РДТТ; безопасность

В настоящее время утилизация крупногабаритных РДТТ, точнее, наиболее критическая часть этого процесса – операция по удалению твердотопливного заряда из корпуса – осуществляется путем выжигания топлива. Операцию утилизации проводят на стенде, представляющего площадку с обваловкой по периметру. РДТТ на стапеле ориентируют горизонтально, как при обычных огневых испытаниях (ОСИ). Схема испытания показана на рис. 1.



**Рис.1 – Существующий способ утилизации крупногабаритных РДТТ**  
1 – РДТТ без сопла; 2 – стапель; 3 – корзина; 4 – воспламенитель.

Единственным существенным отличием процесса утилизации от «обычного» ОСИ является отсутствие на РДТТ соплового блока. Последнее обстоятельство позволяет обеспечить сгорание заряда при давлении в несколько раз ниже рабочего, и тем самым, с одной стороны, уменьшить удельный расход продуктов сгорания, т.е. значительно облегчить последующий сбор и нейтрализацию вредных продуктов сгорания, а с другой – уменьшить уровень напряженно-деформированного состояния корпуса и заряда. Этот метод прост, технологически хорошо отработан, но у него есть один серьезный недостаток – он приемлем только для РДТТ, в котором заряд не имеет дефектов. Поскольку двигатели на утилизацию поставляются после истечения срока хранения, как правило, превышающего регламентную длительность гарантированного функционирования, то у них возникает вероятность образования в зарядах разного рода

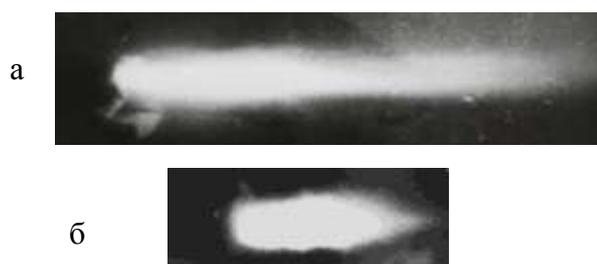
дефектов. Возможные дефекты, например, отслоение топлива от защитно-крепящего слоя (ЗКС) корпуса, микротрещины в топливе и т.п., объективно вызываются ухудшением физико-механических характеристик топлива из-за старения связующего – синтетического каучука. Причем из-за микроскопических по толщине размеров эти дефекты при входном контроле, особенно если они расположены глубоко в теле заряда, практически невозможно обнаружить. Дефекты при приложении к заряду динамической нагрузки, возникающей при воспламенении «штатным» воспламенителем, и дополненные квазистатической его нагрузкой от внутрикамерного (избыточного по отношению к атмосферному) радиального давления, имеют склонность в процессе утилизации развиваться. Как следствие – увеличивается вероятность перехода горения к нерасчетному горению вглубь тела заряда, т.е. в микротрещины и в зазор между топливом и ЗКС. В подобных случаях процесс сопровождается повышением давления в трещинах с последующим лавинообразным разрастанием поверхности горения и нарушением сплошности заряда. Из-за большой массы разрушаемого заряда лавинообразный процесс может привести не только к разрушению утилизируемого РДТТ, но всего утилизационного оборудования и стендовых сооружений. Таким образом, традиционный технологический процесс не в состоянии обеспечить безопасную утилизацию РДТТ с дефектными зарядами. А вероятность утилизации именно таких РДТТ со временем будет только увеличиваться.

Для разрешения данной проблемы необходимо найти и обосновать способы утилизации РДТТ с дефектными зарядами, которые были бы безопасными с технической точки зрения и выгодны или приемлемы с экономической и с экологической. Проведенные автором информационно-аналитические и некоторые экспериментальные исследования на модельных установках показали, что альтернативой применяемому способу утилизации могут стать нескольких способов.

В данной статье предлагается к обсуждению один из альтернативных и весьма простых в техническом плане способов утилизации. Идея заключается в том, чтобы перевести горение заряда с радиального на торцевое. Как следствие исключить воздействие внутрикамерного давления на напряженно-деформируемое состояние заряда для предотвращения развития в нем микротрещин; недопущения попадания фронта горения в микротрещины, уменьшение удельного расхода продуктов сгорания в соотношении  $e/L$  (см. рис.1). В качестве «бронировки» канальной поверхности заряда было решено использовать воду. Для того чтобы вода не вытекала из канала РДТТ он должен устанавливаться в вертикальном положении с ориентацией выходной части газового тракта вверх. Однако первоначально возникли опасения, что вода не сможет выполнять роль бронирующего покрытия. Автором проводились поджигание кусков смесового твердого топлива разных составов и их опускание в воду на глубину до  $\sim 0,2$  м и их горение продолжалось до полного выжигания. В то же время попытки «поджога» топлива непосредственно в воде не удались. Разница состояла в изменении условий подвода тепла к зоне горения. В первом случае баланс подвода тепла к поверхности топлива был положительным и поэтому процесс горения самоподдерживался, а во втором – отрицательным. Для подтверждения идеи осуществимости «бронирования» канала заряда водой автором были подготовлены и проведены несколько модельных испытаний на канальных шашках СТТ наружным диаметром  $\sim 100$  мм и внутренним  $\sim 40$  мм. Наружная поверхность бронировалась с использованием стеклопластиковой ленты, пропитанной эпоксидным связующим. Одновременно эта поверхность имитировала корпус РДТТ. Внешний вид зарядов до испытаний показан на рис.2. Слева показан вариант *a* для контрольного прожига с открытым каналом. Справа – вариант *b* с каналом, заполненным водой. Уровень воды перед испытанием был ниже торца на 15 мм. Соотношение начальной поверхности горения и площади зеркала воды составило 5,7:1.



**Рис.2 – Внешний вид модельных зарядов до ОСИ.**

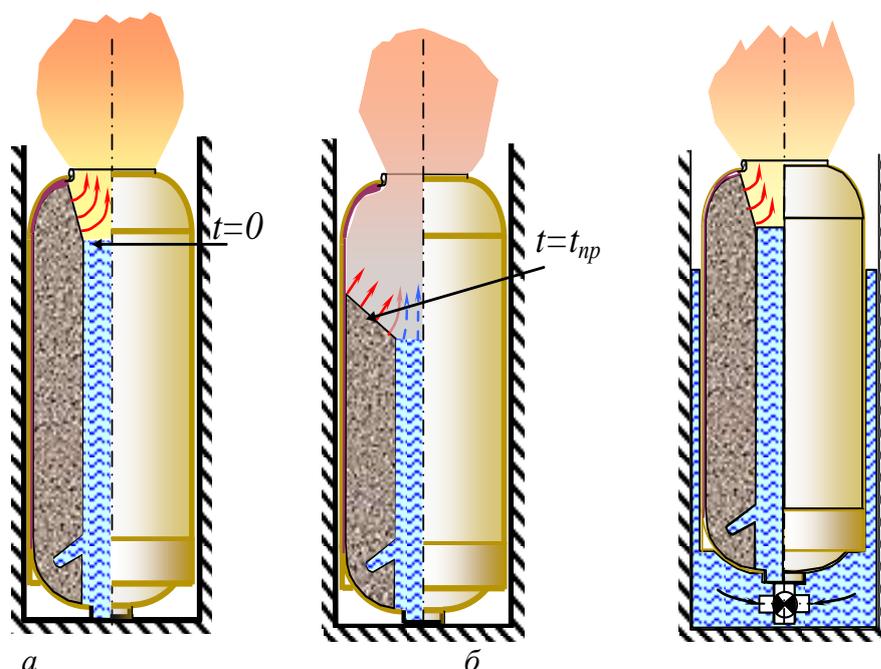


**Рис.3 – Вид и размеры струи истекающих продуктов сгорания.**

Во время испытаний проводилось телевизионное наблюдение за процессом работы. На рис.3 показаны фотографии истекающей из канала струи продуктов сгорания соответственно для канального горения (*а*) и торцевого горения (*б*). Для удобства компоновки изображение предоставлено в горизонтальном, а не в вертикальном как в реальности положении. На фото видна разница в характере истекающих струй. На виде *а* – струя сверхзвуковая; на виде *б* – струя дозвуковая. Длительность горения модельного заряда с заполненным каналом водой превысила длительность горения контрольного заряда в 9 раз. Причем во втором случае характер пламени был стабильным за весь период работы. По совокупности данных, полученных при испытаниях, было подтверждено предположение, что вода может быть использована в канале зарядов в качестве эффективного бронирующего вещества. Установлено, что реальная скорость горения топлива по открытой торцевой поверхности оказалась меньше предполагаемой на ~20% при атмосферном давлении. Сказалось уменьшение температуры в зоне горения из-за влияния паров воды над этой зоной. Обнаруженный эффект является благоприятным фактором в пользу этого метода утилизации, поскольку дополнительно снижает газоприток и температуру ПС, а значит расширяет возможности выбора методов по газоочистке отходящих газов. Выявлен и недостаток – полное сгорание стеклопластиковой оболочки. Следовательно, при переходе на утилизацию натуральных РДТТ с органопластиковыми корпусами, также будет наблюдаться их полное сгорание. Однако если корпус нужно сохранить для каких-либо целей, не связанных с восприятием им силовых нагрузок, то недостаток можно устранить, если утилизацию проводить в бассейне с водой, окружающий РДТТ (см.рис.4, вид б).

Таким образом, возвращаясь к идее безопасной утилизации натуральных РДТТ, можно выделить следующие особенности предлагаемого метода.

Во-первых, утилизация должна проводиться только в вертикальном положении. Во-вторых, РДТТ должен находиться не на наземном стенде, а в бассейне или шахте (см. рис.4). Глубина бассейна должна определяться максимальной длиной РДТТ с учетом дополнительной монтажной оснастки. В-третьих, выходная часть заряда должна быть направлена вверх.



**Рис.4 – Возможные варианты утилизации:  
а – пассивный; б – управляемый.**

Кроме снятого соплового блока (или дна заднего с соплом) у РДТТ перед спуском в бассейн снимается с переднего дна штатное воспламенительное устройство (см.рис.4). Вместо него устанавливается арматура, по которой в канал заряда может снизу подаваться вода (см. рис.4, вид б). Для управления процессами заполнения канала и последующим управлением процесса сжигания в арматуре предусматривается установка регулятора с дистанционным управлением, что обеспечивает, при необходимости, поступление воды во внутреннюю полость РДТТ или наоборот ее отсос.

Уровень заполнения канала водой, будет диктоваться особенностями конкретной конструкции заряда, но в любом случае должна быть открыта задняя часть поверхности горения достаточная для инициирования. Инициирование горения обеспечивается разнесенными по нескольким точкам открытой поверхности топлива генераторами-сопроводителями, обеспечивающими плавное и поэтому безударное воспламенение. Вода в канале, выполняя функцию бронирующего покрытия, не дает распространиться фронту горения на весь канал. При наличии в заряде дефектов они оказываются изолированными водой от фронта горения, и не смогут оказать на процесс утилизации отрицательного влияния. По мере сгорания активной поверхности топлива вода в канале частично испаряется, и фронт горения перемещается вниз (см. рис.4,  $t=t_{np}$ ). Если скорость сгорания топлива окажется больше скорости испарения воды в канале, то избыток воды будет заливать поверхность горения. Однако при небольшом слое воды она будет оттесняться от поверхности горения продуктами сгорания, и процесс утилизации будет продолжаться, но уже при более благоприятных условиях для последующей газоочистки. Если скорость горения топлива окажется меньше скорости испарения воды, то в канал через регулятор можно добавить необходимое количество воды для поддержания торцевого горения.

Для практического подтверждения эффективности данного метода, разумеется, потребуется проведение экспериментов на мало и среднегабаритных РДТТ с разными топливами, с разными конструкциями зарядов.

## АННОТАЦИИ ABSTRACTS

Е.Л. Дреwnицкая, Б.Н. Иванов, В.С. Минкин  
СТРУКТУРА ИННОВАЦИОННОГО  
НЕФТЯНОГО КЛАСТЕРА РЕСПУБЛИКИ  
ТАТАРСТАН

(Состояние и перспективы)

ЧАСТЬ I.

*Нефтяная отрасль Татарстана является хребтом социально-экономического и промышленного развития. Ее уровень предопределяет и образовательно-научный потенциал Республики, поскольку развитие инновационного нефтяного кластера, включающего всю инфраструктуру от добычи нефти до нефтехимического синтеза, обуславливает потребность ускоренного и глубокого развития специфических теоретических и практических аспектов химии, физики, математики, материаловедения и аппаратостроения, экономики, экологии, юриспруденции и, даже, понятийного аппарата.*

*Ключевые слова: нефтяной кластер, системный подход, общий базис.*

А.С. Буянова, А.А. Ламберова,  
М.Э. Ламберова, С.С. Ксембаев.,  
В.К. Половняк

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ  
СВОЙСТВ СТРУКТУРИРОВАННОГО  
ЦЕЛОФОРМА

*Изучена антимикробная и антигрибковая активность нового биосорбента целоформа в отношении патогенных микроорганизмов *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli* и др. и показана перспективность его использования в медицинской практике.*

*Ключевые слова: биосорбент, целоформ, антимикробная активность.*

Д.А. Жуков  
БЕСКОНЕЧНО МАЛЫЕ  
MG-ДЕФОРМАЦИИ  
ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ  
ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ ПРИ  
СТАЦИОНАРНОСТИ СРЕДНЕЙ

E.L. Drevnitskaya, B.N. Ivanov., V.S. Minkin  
STRUCTURE OF THE INNOVATIVE OIL  
CLUSTER OF THE REPUBLIC OF  
TATARSTAN

(Condition and prospects)

PART I.

*The oil branch of Tatarstan is ridge of social and economic and industrial development. Its level predetermines also educational and scientific capacity of the Republic as development of the innovative oil cluster including all infrastructure from oil production before petrochemical synthesis, causes requirement of the accelerated and deep development of specific theoretical and practical aspects of chemistry, physics, mathematics, materials science and an apparatostroyeniye, economy, ecology, law and, even, the conceptual device.*

*Keywords: oil cluster, system approach, general basis.*

A.S.Buyanova, S.S.Ksembaev,  
A.A.Lamberova, M.E.Lamberova,  
V.K.Polovnyak,

STUDY OF ANTIMICROBIAL  
PROPERTIES OF STRUCTURED  
TSELOFORM

*Studied the antimicrobial and antifungal activity of a new biosorbent tseloforma against pathogen *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, etc., and shows the promise of its use in medical practice.*

*Keywords: biosorbent, tseloform, antimicrobial activity.*

D.A. Zhukov  
INFINITESIMAL MG-DEFORMATIONS OF  
A SURFACE OF POSITIVE GAUSSIAN  
CURVATURE WITH STATIONARITY OF  
AVERAGE CURVATURE ALONG THE  
BOUNDARY

### КРИВИЗНЫ ВДОЛЬ КРАЯ

*В работе исследуется вопрос о существовании бесконечно малых MG-деформаций поверхностей положительной гауссовой кривизны с краем в трехмерном евклидовом пространстве при условии стационарности средней кривизны вдоль края поверхности и заданном смещении некоторой точки поверхности.*

*Ключевые слова: поверхность, бесконечно малые MG-деформации, средняя кривизна, главные направления.*

*In this paper we research the problem of existence of the infinitesimal MG-deformations of a surface of positive Gaussian curvature with a boundary in three-dimensional Euclidian space with stationarity of an average curvature along the boundary and with given displacement of a certain point of the surface.*

*Keywords: surface, infinitesimal MG-deformation, average curvature, principal directions.*

### В.В. Дружинин, Л.А. Лобов, А.Г. Сироткина ПРИБЛИЖЕННАЯ ФОРМУЛА ПРОСТОГО ЧИСЛА

*Расчет первых простых чисел на положительных и отрицательных  $n$  – этажах-множествах выявил экспоненциальный рост таких чисел с небольшими колебаниями. Проведен расчет таких чисел для тысячи этажей, подтвердивший формулу. Найдено теоретическое обоснование полученному результату, который позволяет быстро факторизовать составные числа и генерировать большие простые числа.*

*Ключевые слова: простое число, факторизация, этаж.*

### V.V. Druzhinin, L.A.Lobov, A.G. Sirotkin APPROXIMATE FORMULA OF SIMPLE NUMBER

*Calculation of the first simple numbers on positive and negative  $n$  – floors sets revealed exponential growth of such numbers with small fluctuations. Calculation of such numbers for one thousand the floors, confirmed a formula is carried out. Theoretical justification to the received result which allows quickly факторизовать compound numbers is found and to generate large simple numbers.*

*Keywords: simple number, faktorizatsiya, floor.*

С.А. Богданова, Ю.Г. Галяметдинов,  
М.А.Сысоева, В.Р. Хабибрахманова,  
Ю.А. Шигабиева

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ С ЭКСТРАКТАМИ ЧАГИ

*Исследована совместимость экстрактов чаги, отличающихся антиоксидантной активностью и содержанием меланина, с ингредиентами косметических композиций – шампуней и лосьонов. Разработаны рецептуры косметических средств, обладающих антиоксидантными свойствами, установлено их соответствие нормативным показателям. Показано, что ингредиенты косметических композиций оказывают влияние на их антиоксидантную активность.*

*Ключевые слова: косметические композиции, шампунь, лосьон, экстракт чаги, меланин, антиоксидантная активность.*

S.A. Bogdanova, Yu. G. Galyametdinov,  
M.A. Sysoeva, V.R. Habibrahmanova,  
Ju.A. Shigabieva

### DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF COSMETIC COMPOSITIOS WITH CHAGA EXTRACTS

*The chaga extracts of different antioxidant activity and melanin content compatibility with cosmetic compositions (shampoo, lotion) ingredients has been investigated. The formulations of cosmetic products with antioxidant properties have been developed and it was established that they correspond to normative indexes. The cosmetic ingredients were shown to influence antioxidant activity.*

*Keywords: cosmetic compositions, shampoo, lotion, chaga extract, melanin, antioxidant activity.*

А.М. Юровский, Ю.А. Москвичев,  
А.В. Тарасов

СИНТЕЗ СУЛЬФАМИДНЫХ  
ПРОИЗВОДНЫХ ИМИДАЗО[1,2-  
А]ПИРИДИНА, ИМИДАЗО[1,2-  
А]ПИРИМИДИНА И ИНДОЛИЗИНА  
НА ОСНОВЕ  
3-(БРОМАЦЕТИЛ)БЕНЗОЛСУЛЬФАМИДО  
В

*В настоящей статье описывается общий метод синтеза новых 3-(имидазо[1,2-а]пиридин(пиримидин)-2-ил)бензолсульфамидов и 3-(индолизин-2-ил)бензолсульфамидов на основе реакции производных пиридина и пиримидина с 3-(бромацетил)бензолсульфамидами различного строения.*

*Ключевые слова:* α-бромкетоны, имидазопиридин, имидазопиримидин, индолизин, сульфамиды.

В.В. Андреев, Е.В. Тесленко,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ  
МАССИВА ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО  
СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССА  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Статья посвящена вопросам системного назначения конструктивно-технологических параметров деталей машиностроения с учетом всех действующих факторов и взаимосвязей на этапе рабочего проектирования. Дан краткий обзор проблемы взаимодействия в системе “конструктор-технолог-метролог”, методов назначения параметров и существующих подходов к решению проблемы. Предложена системная информационная модель детали для интеллектуальной информационной системы, обеспечивающей технологическую и метрологическую поддержку при принятии конструкторских решений на стадии рабочего проектирования.*

*Ключевые слова:* информационная модель, интеллектуальная информационная система, нейронная сеть, конструктивно-технологические параметры, детали машиностроения.

A.M. Yurovskiy, Yu.A. Moskvichev,  
A.V. Tarasov

SYNTHESIS OF THE SULFONAMIDE  
DERIVATIVES OF THE IMIDAZO[1,2-  
A]PYRIDINE, IMIDAZO[1,2-  
A]PYRIMIDINE AND INDOLIZINE FROM  
THE 3-  
(BROMOACETYL)BENZENESULFONAMI  
DES

*This paper describes the general method of synthesis of the novel 3-(imidazo[1,2-a]pyridin(pyrimidin)-2-yl)benzenesulfonamides and 3-(indolizin-2-yl)benzenesulfonamides, based on the reaction of pyridine and pyrimidine derivatives with various 3-(bromoacetyl)benzenesulfonamides.*

*Keywords:* α-bromoketones, imidazopyridine, imidazopyrimidine, indolizine, sulfonamides.

V.V. Andreev, E.V. Teslenko,  
INFORMATION MODEL OF THE  
CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL  
SIGNS OF DETAILS FOR THE SYSTEM  
OF ENGINEERING SUPPORT OF  
DESIGNING PROCESS

*The article is devoted to the questions of the system setting of the constructive-technological signs of machine details, taking into account all relevant factors and interactions at the stage of designing. We also give a brief overview of the interaction problem of the systems designer-engineer-metrologist; of the parameters setting methods and of existing methods for solving the problem. We offer an information model of the detail for the intelligent information system that provides technological and metrological support by designing decision-making at the designing stage.*

*Key words:* information model, intelligent information system, neural networks, the constructive-technological signs of details, machine details.

И.А. Арбузов, Р.В. Бульбович,  
Б.Е. Кириевский, В.Я. Модорский,  
П.В. Писарев, А.А. Ташкинов,  
Д.В. Щенятский  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ  
В ЦЕНТРОБЕЖНОМ НАСОСЕ

I.A.Arbuzov, R.V. Bulbovich, B.E.Kiriyevskiy,  
V.Ya.Modorskiy, P.V.Pisarev, A.A.Tashkinov,  
D.V.Shchenyatskiy  
NUMERICAL MODELLING OF  
OSCILLATORY PROCESSES  
IN THE CENTRIFUGAL PUMP

А.В. Базанов, В.И. Бауэр к.т.н, Е.С. Козин  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В  
МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВАХ ДЛЯ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ  
РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
НЕФТЕПРОВОДОВ

A.V.Bazanov, V.I.Bauer, E.S.Kozin  
DETERMINATION OF REQUIREMENT OF  
MOBILE REPAIR WORKSHOPS FOR  
PERFORMANCE AUTOMOTIVE  
VEHICLES IN THE REPAIR OF OIL  
PIPELINES

*В статье рассмотрена математическая модель определения необходимого количества передвижных ремонтных мастерских для технического обслуживания и ремонта автотракторной техники, задействованной в процессах ремонта линейной части магистральных нефтепроводов Западной Сибири. Определена зависимость потребности в передвижных авторемонтных мастерских от объемов работ по ремонту магистральных нефтепроводов.*

*This article contains the mathematical model of definition of necessary quantity of mobile repair workshops of maintenance service and repairing the special technics involved in processes of repair of a linear part of the main oil pipelines of Western Siberia. The relation of requirement of mobile repair workshops with the quantity of repairs of the main oil pipelines was determined.*

*Keywords: technological base, the main oil pipelines, special technics, exploitation, maintenance service*

*Ключевые слова: производственно-техническая база, магистральные нефтепроводы, спецтехника, эксплуатация, техническое обслуживание*

В.Ф. Беккер к.т.н.  
ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО  
ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ  
НА СТРУКТУРУ ПОТОКОВ В  
АБСОРБЦИОННОЙ

V.F. Bekker  
EFFECT OF ROTARY MOTION  
ELEMENTSON THE STRUCTURE OF  
STREAMS IN ABSORPTION COLUMN  
WITH SLIDING NOZZLEIN

*КОЛОННЕ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ*  
*В описание структуры потоков в колонне с подвижной насадкой введены количественные характеристики вращательного движения элементов насадки. Способность элемента насадки к вращению достигается сосредоточением массы в его центре. Источником вращения элемента являются косые упругие соударения. Организация взаимодействия элементов конструктивно обеспечивается смещением центра тяжести элемента относительно его геометрического центра.*

*In the description of the structure of flows in the column with a movable nozzle introduced quantitative characteristics of the rotational motion of elements of the nozzle. The ability to rotate the nozzle element is achieved by concentrating the mass at its center. The source of the rotation elements are oblique elastic collision. Organization of the interaction of elements provided constructive center of gravity of an element relative to its geometric center.*

*Keywords: absorption, movable nozzle, the coefficient of rotation nozzle, the structure of flow the technological apparatus*

*Ключевые слова: абсорбция, подвижная насадка, коэффициент вращения насадки,*

*структура потоков в технологическом аппарате.*

Н.А. Белобородова к.э.н.  
ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ  
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

*Рассматривается проблема усиления потенциала прогнозирования роста производства на территории муниципального образования. Предлагаемая технология расчетов с использованием аппарата искусственных нейронных сетей позволяет решать задачи анализа факторов, определяющих рост производства (“точки роста”) в анализируемом периоде, прогнозировать варианты роста производства*

*Ключевые слова: модели производства, прогнозирование роста производства, “точки роста”, варианты роста производства, искусственные нейронные сети*

N.A.Beloborodova  
APPLICATION OF MULTILAYERED  
NEURAL NETWORKS FOR  
FORECASTING OF DEVELOPMENT OF  
PRODUCTION COMPLEXES

*The problem of strengthening of potential of forecasting of increase in production in the municipality territory is considered. The offered technology of calculations allows to solve problems of the analysis of the factors defining increase in production with use of the device of artificial neural networks (“growth points”) in the analyzed period to predict increase in production options*

*Keywords: production models, increase in production forecasting, “growth points”, increase in production options, artificial neural networks*

Н.А. Белобородова к.э.н.  
МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В  
ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ РФ

*Рассматривается проблема усиления потенциала прогнозирования роста производства. Предлагаемая технология расчетов позволяет решать задачи анализа факторов, определяющих рост производства (“точки роста”) в анализируемом периоде, прогнозировать варианты роста производства с учетом выпуска основных видов продукции.*

*Ключевые слова: факторы роста производства, “точки роста”, прогнозирование роста производства.*

N.A.Beloborodova  
METHODICAL BASES OF OPTIMIZATION  
OF PRODUCTION IN THE INDUSTRIAL  
REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION

*The problem of strengthening of potential of forecasting of increase in production is considered. The offered technology of calculations allows to solve problems of the analysis of the factors defining increase in production (“growth points”) in the analyzed period to predict increase in production options taking into account release of main types of production.*

*Keywords: increase in production factors, “growth points”, increase in production forecasting.*

Н.А. Белобородова к.э.н.  
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РОСТА  
ПРОИЗВОДСТВА В ПРОМЫШЛЕННОМ  
РЕГИОНЕ

*Рассматривается проблема усиления потенциала прогнозирования роста производства. Предлагаемая технология расчетов позволяет решать задачи анализа факторов, определяющих рост производства (“точки роста”) в анализируемом периоде,*

N.A.Beloborodova  
THE ANALYSIS OF FACTORS OF  
INCREASE IN PRODUCTION IN THE  
INDUSTRIAL REGION

*The problem of strengthening of potential of forecasting of increase in production is considered. The offered technology of calculations allows to solve problems of the analysis of the factors defining increase in production (“growth points”) in the analyzed*

*прогнозировать варианты роста производства с учетом выпуска основных видов продукции.*

*Ключевые слова: факторы роста производства, “точки роста”, прогнозирование роста производства.*

Н.А. Белобородова к.э.н.  
СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В  
ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ

*В работе представлена методика автоматизации моделей прогнозирования производства. Предлагаемая технология расчетов на основе автоматизации операций генетического алгоритма позволяет прогнозировать оптимальные варианты развития производственных комплексов на территории промышленного региона РФ.*

*Ключевые слова: прогнозирование производства, оптимальный вариант роста производства, генетический алгоритм.*

А.П. Буйносов А.М. Кислицын  
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ  
КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ  
КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

*В статье описана автоматическая измерительная система на основе использования контактных и бесконтактных методов измерения параметров колесных пар локомотива. Полученные технические решения положены в основу создания автоматизированной измерительной системы обмера колесных пар.*

*Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, измерительная система.*

А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков  
ГРЕБНЕЙ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР  
ЭЛЕКТРОВОЗОВ

*В статье представлены результаты выполненного анализа эксплуатационного износа гребней бандажей электровозов, а также теоретических и экспериментальных исследований по оценке влияния ширины колеи, толщины гребня колесных пар электровозов ВЛ11 и расстояния между бандажами колесных пар. Получены оптимальные величины значений*

*period to predict increase in production options taking into account release of main types of production.*

*Keywords: increase in production factors, “growth points”, increase in production forecasting.*

N.A. Beloborodova  
AUTOMATION EQUIPMENT OF  
TECHNOLOGICAL PROCESSES OF  
FORECASTING OF DEVELOPMENT OF  
PRODUCTION COMPLEXES IN THE  
INDUSTRIAL REGION

*In work the technique of automation of models of forecasting of production is presented. The offered technology of calculations on the basis of automation of operations of genetic algorithm allows to predict optimum options of development of production complexes in the territory of the industrial region of the Russian Federation.*

*Keywords: production forecasting, optimum option of increase in production, genetic algorithm.*

A.P. Buynosov, A.M. Kislitsyn  
MEASURING SYSTEM FOR CONTROL  
PARAMETERS OF BANDAGES OF WHEEL  
PAIRS OF LOCOMOTIVES

*In article the automatic measuring system on the basis of use of contact and contactless methods of measurement of parameters of wheel pairs of locomotive is described. The received technical solutions are based on creation of the automated measuring system of measurement of wheel pairs.*

*Keywords: the locomotive, wheel pair, bandage, measuring system.*

A.P. Buynosov, D. Yu. Kozakov  
ANALYSIS OF PROCESSES OF  
OPERATIONAL WEAR

CRESTS OF BANDAGES OF WHEEL  
PAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

*In article results of the executed analysis of operational wear of crests of bandages of electric locomotives, and also theoretical and pilot studies are presented according to influence of width of a track, thickness of a crest of wheel pairs of electric locomotives VL11 and distance between bandages of wheel*

*контролируемых параметров колесных пар электровозов.*

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

**А.П. Буйносов, Я.А. Мишин  
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ  
РЕДУКТОРОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ**

*В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по оценке влияния применения триботехнического состава НИОД на повышение надежности тяговых редукторов электровозов в период эксплуатации. Изложены требования и технологические нормы при обработке тягового редуктора составом НИОД. Выполнен анализ долговечности большого зубчатого колеса, малой шестерни и подшипников тяговой передачи электровозов на Свердловской железной дороге.*

*Ключевые слова: электровоз, тяговая передача, редуктор, надежность, долговечность.*

**К.И. Бушмелева, А.Н. Васильчук  
ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО  
ПОДХОДА В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ  
СИСТЕМАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*В статье рассмотрена актуальность и практическая значимость применения онтологического подхода в геоинформационных системах. Приведены основные теоретические понятия. Представлена информация о преимуществах использования онтологического подхода.*

*Ключевые слова: геоинформационные системы, онтология, семантика, нефтегазовая отрасль.*

**Т. А. Вокуева  
АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ  
МАТРИЦЫ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ  
КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ**

*Приведено определение когнитивных карт и когнитивных карт Силова в связи с их применением в моделировании социальных систем. Рассмотрен алгоритм Силова для вычисления матрицы взаимовлияния когнитивной карты и приведены его*

*pairs. Optimum sizes of values of controllable parameters of wheel pairs of electric locomotives are received.*

*Keywords: the electric locomotive, wheel pair, bandage, wear, analysis, values.*

**A.P. Buynosov, Ya.A. Mishin  
INCREASE OF RELIABILITY OF  
TRACTION REDUCERS OF ELECTRIC  
LOCOMOTIVES**

*In article results of theoretical and pilot studies are presented according to influence of application of tribotekhnicheskyy structure of NIOD on increase of reliability of traction reducers of electric locomotives in operation. Requirements and technological norms are stated when processing a traction reducer by NIOD structure. It is analysed durability of a big cogwheel, a small gear wheel and bearings of traction transfer of electric locomotives on the Sverdlovsk railway.*

*Keywords: the electric locomotive, traction transfer, reducer, reliability, durability.*

**K.I. Bushmelev, A.N. Vasilchuk  
THE USE OF ONTOLOGICAL APPROACH  
IN GEOINFORMATION SYSTEMS OF THE  
OIL AND GAS INDUSTRY**

*The urgency and the practical importance of application of an ontological approach in geoinformation systems is considered in the article. The main theoretical concepts are given. Information about advantage of an ontological approach use is presented.*

*Keywords: geoinformation systems, ontology, semantics, oil and gas industry.*

**T. F. Vokueva  
ANALYSIS OF ALGORITHMS  
CALCULATION OF INTERACTION  
MATRIX FOR COGNITIVE MAPS**

*Definition of cognitive maps and Silov's cognitive maps are given in connection with their application in social system modeling. Silov's algorithm for computing interaction matrix of cognitive map is described, it's limitations are considered. For their correction*

недостатки. Для их исправления предложен альтернативный алгоритм. Проведено сравнение матриц взаимовлияния, получаемых с помощью алгоритма Силова и предложенного алгоритма.

*Ключевые слова:* нечеткие когнитивные карты, нечеткая логика, теория графов, моделирование социальных систем, статический анализ.

П.А. Волков  
РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ  
ПРОВЕРКА ДИАГРАММ  
НАПРАВЛЕННОСТИ ЖИДКОСТНЫХ  
ЛИНЗОВЫХ АНТЕНН

*В статье рассматриваются практические проблемы синтеза фокусирующих систем и экспериментальная проверка рассчитанных антенн. Методы исследований базируются на математическом аппарате теории функций Грина для волновых уравнений.*

*Ключевые слова:* волновые поля, синтез антенн, линзовая антенна, диаграмма направленности, функции Грина.

А.Г. Горюнов, К.А. Козин, В.А. Курочкин  
МАКЕТ ИСТОЧНИКА ПЕРЕМЕННОГО  
ТОКА ДЛЯ РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВА  
КРЕМНИЕВЫХ СТЕРЖНЕЙ SIEMENS-  
РЕАКТОРА

*Приведены технические решения для снижения внутреннего градиента температуры кремниевых стержней. Представлен макет источника переменного тока. Выполнено математическое моделирование возможных систем управления источником, включающих экстремальные позиционный, пропорционально-интегральный- и нечеткий регуляторы.*

*Ключевые слова:* математическое моделирование, источник переменного тока, система автоматического управления, Siemens-реактор

А.М. Долганов, В.А. Жуланов,  
Т.Н. Иванова, Ф.В. Юрков  
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ  
НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ  
*В поверхностном слое в зависимости от интенсивности теплообразования*

*is proposed alternative algorithm. Interaction matrices, obtained by Silov's algorithm and proposed algorithm, are compared.*

*Keywords:* fuzzy cognitive maps, fuzzy logic, graph theory, modeling of social systems, static analysis.

P.A. Volkov  
ESTIMATION AND EXPERIMENTAL  
VALIDATION OF DIRECTIONAL  
DIAGRAMS OF LIQUID LENS ANTENNAS  
*The article studies practical problems of focusing systems synthesis and experimental validation of calculated antennas. Methods of the study are based on mathematical apparatus of the Green's function for the wave equation.*

*Keywords:* wave field, synthesis of antennas, lens antenna, directional diagram, the Green's function

A.G. Gorunov, K.A. Kozin, V.A. Kurochkin  
SOURCE MODEL FOR AC RESISTIVE  
HEATING OF SILICON RODS IN  
SIEMENS-REACTOR

*The technical solutions to reduce the internal temperature gradient of silicon rods are given. The model of the alternating current power source is presented. Results of the possible source control systems simulations are present, including extreme positional controllers of frequency, proportional-integral controllers of frequency and fuzzy controllers of frequency.*

*Keywords:* computing simulation, power source, alternating current, automatic control system, Siemens-reactor

A.M. Dolganov, V.A. Gylanov, T.N. Ivanova,  
F.B. Urkov  
THEORETICAL MODEL OF GRINDING  
RESIDUAL STRESS FORECASTING  
*In a surface layer, depending on heat generation intensity, stresses may appear influencing structural transformation and part*

возникают напряжения, влияющие на структурные превращения и напряжённое состояние детали. Разработанная графическая и аналитическая методика определения остаточных напряжений позволяет управлять тепловой деформацией деталей из труднообрабатываемых материалов и тонких пластин, и регулировать распределение остаточных напряжений в поверхностном слое деталей.

*Ключевые слова:* остаточные напряжения, шлифование, тепловая деформация.

М.А. Донченко, Ю.Н. Журавлёв,  
А.Н. Иванов, С.Н. Семёнов  
ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ВОЗБУЖДАЕМЫЕ  
КРУТИЛЬНЫЕ колебания В  
ОДНОМОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ  
РЛДВПТ С РЫЧАЖНО-КУЛАЧКОВЫМ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДВИЖЕНИЯ

*Приведённый к выходному валу момент инерции РЛДВПТ зависит от угла поворота вала, т. е. является переменным параметром. Хорошо известно, что движение такой системы при некотором сочетании параметров может оказаться неустойчивым. Данная статья посвящена выявлению условий возникновения областей параметрической неустойчивости агрегатов в одномодульной конструкции РЛДВПТ.*

*Ключевые слова:* параметрически возбуждаемые крутильные колебания, область параметрической неустойчивости, РЛДВПТ, рычажно-кулачковый преобразователь движения.

С.А. Жукова, Ю.Ю. Логинова, А.А. Слепов  
К ВОПРОСУ О МОТИВАЦИИ  
РАБОТНИКОВ  
К БЕЗОПАСНОМУ ТРУДУ

*В качестве одной из значимых причин возникновения несчастных случаев на производстве авторы статьи выделяют факторы мотивации работников к безопасному труду. На основании анализа известных теорий мотивации и объективных закономерностей, влияющих на силу мотивации, предложены конкретные рекомендации руководителям предприятий и инженерам по охране труда, направленные на формирование и развитие мотивации работников к безопасному труду.*

*stress. Developed graphical and analytical method of residual stress defying allows to operate churlish parts and thin plates thermal deformation and regulate residual stresses distribution in parts surface layer.*

*Keywords:* residual stress, grinding, thermal deformation.

М.А. Donchenko, Yu.N. Zhuravlyov,  
A.N. Ivanov, S.N. Semyonov  
PARAMETRICALLY-EXCITED  
TORSIONAL VIBRATIONS IN ONE-  
MODULE CONSTRUCTION OF RBEEHS  
WITH LEVER-AND-CAM MOTION  
CONVERTER

*The adduced moment of inertia at the RBEEHS output shaft depends on its angle of rotation, i.e. it is a variable parameter. It is well known that the motion of such a system under some combinations of parameters may be unstable. The article is devoted to finding out the conditions under which the region of parametric instability in the units of a one-module construction of RBEEHS occurs.*

*Keywords:* parametrically-excited torsional vibrations, region of parametric instability, RBEEHS (Rotor-and-Blade Engine with External Heat Supply), lever-and-cam motion converter.

S.A. Zhukov, Yu.Yu. Loginov, A.A. Slepov  
TO A QUESTION ON MOTIVATION OF  
WORKERS TO SAFE WORK

*As one of substantial reasons of origin of industrial accidents the authors of the article select the factors of motivation of workers to safe labour. On the basis of the analysis of the known theories of motivation and the objective laws Influencing on the strength of motivation, concrete recommendations are offered to the leaders of enterprises and engineers on a labor safety, directed on formation and development of motivation of workers to safe work.*

*Keywords:* safe work, motivation, needs, stimulus, labor conditions

*Ключевые слова: безопасный труд, мотивация, потребности, стимулы, условия труда.*

Н.С. Захаров, А.М. Конин, В.А. Тюлькин  
ВЛИЯНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ  
ВОДИТЕЛЕЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

*В работе рассматривается вопрос влияния квалификации водителей на эффективность эксплуатации автомобилей. Предложена математическая модель закономерности влияния водительского стажа на интенсивность эксплуатации автомобилей.*

*Ключевые слова: квалификация водителей автомобилей, водительский стаж, интенсивность эксплуатации автомобилей*

N.S. Zaharov, A.M. Konin, V.A. Tyulkin  
DRIVER'S QUALIFICATION IMPACT ON  
VEHICLE'S EXPLOITATION INTENSITY

*The problem of driver's qualification impact on automobiles exploitation efficiency is considered in this article. The mathematical model of appropriateness of driver's experience impact on automobile exploitation intensity.*

*Keywords: the qualification of driver's, driver's experience, intensity of automobiles exploitation*

А.М. Игнатова  
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО  
СОСТАВА СВАРОЧНЫХ ПОРОШКОВЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

*В работе представлены результаты изучения современных методов определения фракционного состава и продемонстрированы их возможности на практике.*

*Ключевые слова: фракционный состав, порошковые материалы, методы исследований.*

A.M. Ignatova  
MODERN METHODS FRACTIONAL  
COMPOSITION WELDING POWDER  
MATERIALS

*The paper presents the results of a study of modern methods of determining the fractional composition and demonstrated their ability in practice.*

*Keywords: fractional composition, powder materials, methods of research.*

А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов  
ОЦЕНКА МОРФОЛОГИИ,  
ДИСПЕРСНОСТИ, СТРУКТУРЫ И  
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДОЙ  
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СВАРОЧНЫХ  
АЭРОЗОЛЕЙ ПОСРЕДСТВАМ  
СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

*В работе представлены результаты изучения основных характеристик частиц сварочных аэрозолей, представлен фракционный, морфологический и химический анализ.*

*Ключевые слова: сварочные аэрозоли, фракционный состав, безопасность труда, сварочные работы*

A.M. Ignatov, M.N. Ignatov  
ASSESSMENT OF MORPHOLOGY,  
DISPERSION, STRUCTURE AND  
CHEMICAL COMPOSITION OF THE FIRM  
COMPONENT OF WELDING AEROSOLS  
TO MEANS OF MODERN METHODS OF  
RESEARCHES

*In work results of studying of the main characteristics of particles of welding aerosols are presented, the fractional, morphological and chemical analysis is presented.*

*Keywords: welding aerosols, fractional structure, safety of work, welding works*

Ле Хоай  
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ  
БИБЛИОТЕК НА ОСНОВЕ

Le Hoai  
THE DEVELOPMENT DIGITAL  
LIBRARIES BASED ON SEMANTIC

## СЕМАНТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Рассматривается ряд проблем в электронных библиотеках, анализируются новые технологии, предоставляющие средства их решения. Поясняются семантические электронные библиотеки, их архитектура электронных ресурсов, а также задачи их разработки. Обосновываются предложенная архитектура и онтологические модели.*

*Ключевые слова: электронная библиотека, семантическая электронная библиотека, семантические технологии.*

### С.В. Поршневу, Фуад Рабайа ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ И СОБСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ ВЫБОРОЧНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ В МЕТОДЕ SSA

*В статье представлены результаты изучения свойств собственных чисел и собственных векторов выборочной корреляционной матрицы, используемой в методе SSA (Singular Spectrum Analysis).*

*Ключевые слова: временной ряд, метод SSA, траекторная матрица, выборочная корреляционная матрица, главная компонента временного ряда.*

### Б.В. Чувькин, А.В. Селезнев, И.А. Сидорова АНАЛИЗ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ШУМОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ОДНОБИТНЫМ КВАНТОВАНИЕМ

*Рассмотрены вопросы анализа и численного расчета флуктуационных шумов нелинейных динамических систем по критерию энтропийной информативности на примере однобитного сигма-дельта модулятора третьего порядка. Приведена математическая модель, результаты численного расчета и даны рекомендации по их использованию при проектировании сигма-дельта АЦП.*

*Ключевые слова: сигма-дельта модулятор, флуктуационный шум, нелинейные динамические системы, критерий энтропийной информативности.*

### И.А. Сидорова, О.В. Тужилкин, Б.В. Чувькин МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДАТЧИКОВЫХ

## TECHNOLOGIES

*This paper investigates a number of problems in digital libraries, explores new technologies providing tools to deal with them. The explanation of a semantic digital library, the architecture of electronic resources, as well as their development were given. The proposed architecture and ontology models are justified.*

*Keywords: digital library, semantic digital library, semantic technology*

### S.V. Porshnev, Fouad Rabaia FEATURE OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS OF THE SAMPLE CORRELATION MATRIX IN SSA- METHOD

*The paper presents the results of studying the properties of eigenvalues and eigenvectors of the sample correlation matrix used in the Singular Spectrum Analysis (SSA) method.*

*Keywords: Time Series, Singular Spectrum Analysis method, the Trajectory Matrix, Sample Correlation Matrix, Principal Component of The Time Series.*

### B.V. Chuvykin, A.V. Seleznev, I.A. Sidorova ANALYSIS OF FLUKTUATION NOISES OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS WITH ONE-BIT QUANTIZATION

*Questions of the analysis and numerical calculation of fluktuation noises of nonlinear dynamic systems for criterion of an entropic informativity on an example one-bit sigma delta modulator of the third order are considered. The mathematical model, results of numerical calculation is given. Recommendations about their use at design sigma delta ADC are made.*

*Keywords: sigma delta modulator, fluktuation noise, nonlinear dynamic systems, criterion of an entropic informativity.*

### I.A. Sidorova, O.V. Tuzhilkin, B.V. Chuvykin THE METHOD OF INCREASING ENERGY- EFFICIENT FOR SENSOR WIRELESS SYSTEM

## БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

*Рассмотрены основные энергоэффективные протоколы взаимодействия в датчиковых беспроводных системах. Приведены основные принципы их функционирования. Предложен метод повышения энергоэффективности систем при использовании этих протоколов.*

*Ключевые слова: датчиковые беспроводные системы, энергоэффективные протоколы взаимодействия, режим «холостого прослушивания».*

И.В. Смирнов

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

*Рассматривается построение математического описания функционирования системы газоснабжения, включающей последовательное соединение регуляторов давления газа. Представлены результаты анализа устойчивости двухступенчатой системы регулирования давления. Предложен порядок решения задачи об устойчивости такой системы.*

*Ключевые слова: пневмосистема, регулятор давления, математическая модель, условие устойчивости.*

М.М. Шихов

## МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ПОДСТАНОВКАХ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА НА ЗНАНИЯХ

*В работе предлагается метод вычислений для параллельного логического вывода на знаниях, представленных формулами исчисления предикатов первого порядка. Описывается модификация формальной системы. Предлагается организация вычислений на подстановках. Приводится пример вычислений и дается оценка метода.*

*Ключевые слова: параллельный логический вывод, логика предикатов, вычисления.*

С.Г. Ярушин

## СПОСОБ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РДТТ С ДЕФЕКТНЫМИ ЗАРЯДАМИ

*На основе анализа показана невозможность безопасной утилизации крупногабаритных РДТТ с дефектными зарядами традиционным способом. Предложен альтернативный*

*The main energy-efficient protocols of communication for sensors wireless systems are considered. The basic principles of their functioning are resulted. The method of increasing energy-efficient for systems at use of these protocols is offered.*

*Keywords: sensor wireless systems, energy-efficient protocols of communication, the mode of "idle listening".*

I.V.Smirnov

## THE ANALYSIS OF STABILITY OF SYSTEM WITH CONSISTENTLY INCLUDED REGULATORS OF PRESSURE OF GAS

*Creation of the mathematical description of functioning of system of the gas supply including consecutive connection of regulators of pressure of gas is considered. Results of the analysis of stability of two-level system of regulation of pressure are presented. The order of the solution of a task about stability of such system is offered.*

*Keywords: pneumatic system, pressure regulator, mathematical model, stability condition.*

M.M. Shihov

## THE METHOD OF CALCULATIONS ON SUBSTITUTIONS FOR PARALLEL INFERENCE ON KNOWLEDGE

*The paper proposes a calculation method for the parallel inference on the knowledge represented by the formulas first order predicate calculus. A modification of the formal system, an organization of parallel computations on substitutions and an example of the computations is described. Also an assessment of the proposed method is provided.*

*Keywords: parallel logical conclusion, predicate logic, calculations.*

S.G.Yarushin

## METHOD OF THE SAFE RECYCLING OF LARGE-SIZE SOLID PROPELLANT ROCKET MOTOR WITH DEFECTIVE CHARGES

*The impossibility of the safe recycling of large-size solid propellant rocket motors (SPRM) by the traditional method was shown by analyzing.*

*способ, переводящий горение зарядов из радиального в торцевой режим и с защитой дефектов от горения за счет вертикального расположения РДТТ и заполнения канала водой*

*Ключевые слова: утилизация;  
крупногабаритный РДТТ; безопасность.*

*There was proposed the alternative method which moves the charges combustion from radial to butt-end mode with defect protection from the combustion due to the vertical SPRM arrangement and filling the channel with water.*

*Keywords: recycling; large-size SPRM; safety*

### **Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью**

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

### **Договор публичной оферты по обработке персональных данных**

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих редакционных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработке его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей

№3 2012

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 10.06.2012 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

9,1 усл.печ.л. 10,5 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 709.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420012. г. Казань, ул. Муштары, 12

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»