

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№2 2016

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

Казань

2016

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №2 2016г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – 192 с.

ISSN 2079-5920

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

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

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.; В.С.

Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.; В.К. Половняк – д.х.н., проф.;

П.П. Суханов – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ**01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА**

<i>В.В. Дружинин, А.А. Лазарев</i> СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ	9
<i>Б.В. Заятуев, Н.Н. Дондукова, Ю.Ю. Нефедов</i> О ЛОКАЛЬНО КОНФОРМНО-КЕЛЕРОВЫХ СТРУКТУРАХ НА КАСАТЕЛЬНОМ РАССЛОЕНИИ	12
<i>Д.Ю. Иванов, Р.И. Дзержинский</i> БЕЗУСЛОВНАЯ РАВНОМЕРНАЯ КОРРЕКТНОСТЬ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО РОДА ДЛЯ АБСТРАКТНОГО ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ	16
<i>И.В. Кулешов, О.Г. Москалёва</i> СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВЫХ ШУМОВ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	20
<i>Э.С. Сибгатуллин, О.Г. Новоселов, К.Э. Сибгатуллин</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ОБЪЕМНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТРЕХОСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ	24
<i>В.Л. Усольцев</i> О РЕШЕТКАХ КОНГРУЭНЦИЙ АЛГЕБР С ОДНИМ ОПЕРАТОРОМ И ОСНОВНОЙ ОПЕРАЦИЕЙ ПОЧТИ ЕДИНОГЛАСИЯ	28

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Е.В. Волосова, Е.В. Пашкова, А.Н. Шипуля, Ю.А. Безгина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ БИОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ХИМИЧЕСКИ ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ В ИХ СТРУКТУРУ ФЕРМЕНТАМИ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	31
<i>И.В. Макарова, А.И. Легаев</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТУПЕНЧАТОЙ ЭКСТРАКЦИИ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ НА-КМЦ	34
<i>Е.В. Пашкова, Е.В. Волосова, А.Н. Шипуля, Ю.А. Безгина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ ГАЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	37
<i>В.В. Хасанов, Р.Д. Ульбашева, Л.Г. Гринева</i> КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И РАСТВОРИМОСТЬ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ РАСТВОРИТЕЛЬ-ОКСИД	40

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов</i> АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОДАЧИ ЗАГОТОВКИ В ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ	44
<i>А.П. Буйносов, В.А. Тихонов</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ БАНДАЖЕЙ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ	48
<i>А.П. Буйносов, И.В. Умылин</i> ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ	51
<i>А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова</i> ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭКИПАЖНОЙ ЭЛЕКТРОВОЗА	54
<i>Т.Н. Охлопков, Н.В. Петров, Е.Е. Анисимов, А.И. Борисов, Д.В. Андреев, И.Н. Ушницкий</i> ДВОЙНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ ВЕТРОВЫХ СТЕКОЛ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	57
<i>А.П. Сергиев, А.В. Журавлев, А.В. Макаров, В.С. Долгих</i> ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ ВИБРАЦИОННОЙ АБРАЗИВНОЙ МАШИНЫ НА ДИНАМИКУ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	60

05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

<i>А.С. Грибанов, А.Г. Ефимов, И.В. Нелин</i> ПОСАДКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ОТСУТСТВИИ ВИДИМОСТИ	64
<i>Х.М. Гукетлов, Л.Т. Карданов, Ш.М. Сурхайханов, И.А. Хамукова</i> К ВОПРОСУ УЧЕТА РЕСУРСОВ СВЕТОВОГО КЛИМАТА ГОРОДА НАЛЬЧИКА	69
<i>В.П. Друзьянова, А.В. Спиридонова, М.Я. Рожина</i> ПИРОЛИЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В АВТОТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ ЯКУТИИ	72
<i>Л.Т. Карданов, Х.М. Гукетлов, М.И. Бжахов, И.И. Афашоков, И.А. Хамукова</i> ВЕКТОРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕНОСА СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ОСВЕЩЕНИИ	75
<i>Р.Ш. Мисбахов</i> ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ПУТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	78
<i>В.А. Скуратов, И.В. Нелин</i> АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС БРЛ-2.2 ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ, ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ МАЛЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ	81
<i>А.В. Федотов, П.С. Иванов</i> ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОИСКА ТИПОВОГО ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ «ОПЕРАТОР – ПРИБОР НАБЛЮДЕНИЯ»	85
<i>В.Н. Хмелев, М.В. Хмелев, С.Н. Цыганок, В.А. Шакура, Ю.М. Кузовников</i> ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ ОТ ЗАУСЕНЦЕВ	88

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>И.А. Акимов, Е.О. Каракулина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВТОРОГО ЭТАПА ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ ШОЛЬЦА	93
<i>И.З. Ахметзянов, В.С. Каримов</i> ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ ПОЛНОГО ПОРЯДКА ПРИ СИНТЕЗЕ КВАЗИАДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ ПО ВЫХОДУ	97
<i>Т.А. Деменкова, Д.Д. Яровов</i> АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ ИХ АДАПТАЦИИ ДЛЯ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ	100
<i>А.А. Денисевич, Е.В. Ефремов, М.И. Грачев</i> РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КАЛЬЦИТОАНГИДРИТА	103
<i>Д.В. Дроздов, Е.А. Солдатова</i> АУДИТ IT-ИНФОСТРУКТУРЫ	106
<i>С.Н. Задворский, А.А. Силаев</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ СЕТЕВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ КОТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ	109
<i>В.Н. Зайцев, Т.В. Бурнышева</i> ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТА КЛАУДЕРА К ЗАДАЧЕ ПОДАВЛЕНИЯ ВОЛН-ПОМЕХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА	113
<i>А.В. Иващенко, Н.А. Горбаченко, С.Ю. Леднева, Н.Л. Омерова</i> КОМПОНЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИМУЛЯЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ	116
<i>Ю.П. Кирич, В.В. Кирьянов</i> РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА	120
<i>В.В. Киселев, С.Ф. Минацевич, В.Д. Володин, А.А. Шаронов, Р.С. Решетов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ПОГРУЖНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ СРЕДСТВАМИ МАТЛАБ/SYMLINK	124
<i>И.З. Краснов, Н.С. Цыганков</i> АЛГОРИТМ РАСЧЕТА УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ТРЕБУЕМОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	127

<i>М.Д. Линденбаум, О.В. Игнатьева, Т.М. Линденбаум</i> ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ЗАКОНЕ ГАУССА ПО КРИТЕРИЮ КОЛМОГОРОВА ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРАХ	131
<i>Е.А. Малыш, Г.М. Водинчар</i> АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ВИСТЛЕРОВ В СПЕКТРОГРАММАХ	134
<i>О.А. Митина</i> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	138
<i>О.А. Митина</i> СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	141
<i>О.А. Митина</i> ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	144
<i>А.В. Мотова, Г.А. Гареева, Д.Р. Григорьева</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОНЪЮНКТУРЫ РЫНКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК	147
<i>А.Ф. Няшин, К.А. Татосова</i> ОСОБЕННОСТИ КОНВЕКЦИИ МАРАНГОНИ В ТОНКОЙ ПЛЕНКЕ РАСТВОРА	150
<i>В.Н. Осколков</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-ОПЕРАТОРНОГО ТЕРМИНАЛА С SAN- ШИНОЙ	156
<i>А.О. Очоа Бикэ, Д.А. Сериков</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ УРАНА	159
<i>Т.В. Сазонова, О.И. Христодуло, А.В. Богданов</i> ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ МНОГОМЕРНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ И МЕТОДА КВАЙНА-МАК-КЛАСКИ	163
<i>Е.А. Солдатова</i> СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АУДИТ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	167
<i>Т.Г. Сопельниченко, О.В. Егорова, Н.В. Ливенцова</i> ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО УЗЛА ПРОИЗВОДСТВА ФТОРА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА	169
<i>А.А. Шакирова, Г.А. Гареева, Д.Р. Григорьева</i> СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ РЫНКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ	172
<i>В.А. Шапов</i> АРХИТЕКТУРА СЕРВИСА ОБРАБОТКИ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРЕ	175
АННОТАЦИИ	179

THE RELEASE MAINTENANCE**01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS**

<i>V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev</i> THE SUM OF THE GENERALIZED ARITHMETIC PROGRESSIONS	9
<i>B.V. Zayatyuev, N.N. Dondukova, Y.Y. Nejjodov</i> ON THE LOCAL CONFORMAL KEHLERIAN STRUCRURES ON A TANGENT BUNDLE	12
<i>D.Yu. Ivanov, R.I. Dzerzhinskij</i> UNCONDITIONAL UNIFORM CORRECTNESS OF BOUNDARY-VALUE PROBLEMS WITH BOUNDARY CONDITIONS OF FIRST AND SECOND KIND FOR THE ABSTRACT ELLIPTIC EQUATION	16
<i>I.V. Kuleshov, O.G. Moskalyova</i> STATISTICAL SIMULATION OF ANGULAR NOISE EXTENDED OBJECTS	20
<i>E.S. Sibgatullin, O.G. Novoselov, K.E. Sibgatullin</i> DEFINITION OF SAFETY FACTOR VOLUMETRIC FINITE ELEMENTS UNDER TRIAXIAL STRESS STATE	24
<i>V.L. Usoltsev</i> ON CONGRUENCE LATTICES OF ALGEBRAS WITH ONE OPERATOR AND BASIC NEAR-UNANIMITY OPERATION	28

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

<i>E.V. Volosova, E.V. Pashkova, A.N. Shipulya, Yu.A. Bezgina</i> STUDY BIOPOLYMER MATERIALS WITH CHEMICALLY IMMOBILIZED IN THE ENZYME STRUCTURE THEIR OPTICAL METHODS	31
<i>I.V. Makarova, A.I. Legaev</i> MATHEMATICAL FORMULATION OF THE STEPWISE EXTRACTION OF IMPURITIES FROM THE TECHNICAL NA-CMC	34
<i>E.V. Pashkova, E.V. Volosova, A.N. Shipulya, Yu.A. Bezgina</i> RESEARCH OF INFLUENCE OF ELECTROCHEMICAL ACTIVATED WATER ON ENZYMATIC ACTIVITY OF THE CATALASE BY THE GAS-METRIC METHOD	37
<i>V.V. Khasanov, R.D. Ulbasheva, L.G. Grinyova</i> THE ACID-BASE PROPERTIES AND SOLUBILITY OF COMPONENTS OF SYSTEMS SOLVENT-OXIDE	40

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

<i>F.D. Bairamov, B.F. Bairamov</i> AUTOMATIC REGULATION OF FEED SPEED OF THE WORKPIECE IN GRINDING MACHINES	44
<i>A.P. Buinosov V.A. Tikhonov</i> INCREASE OF EFFICIENCY OF PROCESSING OF BANDAGES BY TRIBOTECHNICAL STRUCTURE DUE TO CHANGE OF THE DESIGN OF THE BRAKE SHOE	48
<i>A.P. Buinosov, I.V. Umylin</i> TRIBOTECHNICAL STRUCTURES, THEIR APPLICATION FOR INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF FRICTION PAIRS	51
<i>A.P. Buinosov, N.G. Fetisova</i> BASIC PRINCIPLES OF CREATION OF COMPUTER MODEL VEHICULAR ELECTRIC LOCOMOTIVE	54
<i>T.N. Okhlopkov, N.V. Petrov, E.E. Anisimov, A.I. Borisov, D.V. Andreyev, I.N. Ushnitsky</i> DOUBLE GLAZING OF WINDSHIELDS OF VEHICLES	57
<i>A.P. Sergiev, A.V. Makarov, A.V. Zhuravlev, V.S. Dolgich</i> THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL VIBRATION ABRASIVE MACHINE DOWNLOAD ON THE DYNAMICS OF VIBRATIONAL SYSTEM	60

05.11.00 — TECHNICAL SCIENCES — INSTRUMENTATION, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES

<i>A.S. Griбанov, A.G. Efimov, I.V. Nelin</i> AIRCRAFT LANDING IN THE ABSENCE OF VISIBILITY	64
---	----

<i>H.M. Guketlov, L.T. Kardanov, Sh.M. Surhayhanov, I.A. Hamukova</i> ON THE QUESTION OF TAKING INTO ACCOUNT THE RESOURCES OF THE CITY OF NALCHIK LIGHT CLIMATE	69
<i>V.P. Druzyanova, A.V. Spiridonova, M.I. Rozhina</i> PYROLYSIS TECHNOLOGY IN THE TRUCKING INDUSTRY YAKUTIA	72
<i>L.T. Kardanov, H.M. Guketlov, M.I. Bzhahov, I.I. Afashokov, I.A. Hamukova</i> VECTOR REPRESENTATION OF THE TRANSFER OF LIGHT ENERGY IN THE COMBINED LIGHT	75
<i>R.Sh. Misbakhov</i> FINDING EFFECTIVE WAYS DESIGN OF MONITORING PASSIVE OPTICAL NETWORKS	78
<i>V.A. Skuratov, I.V. Nelin</i> HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX BRL-2.2 TO MONITOR MOTOR ACTIVITY, BREATHING AND HEARTBEAT OF SMALL LABORATORY ANIMALS	81
<i>A.V. Fedotov, P.S. Ivanov</i> FORMALIZATION OF THE MODEL OF THE SEARCH OBJECT IN THE SYSTEM "OPERATOR – DEVICE MONITORING"	85
<i>V.N. Khmelev, M.V. Khmelev, S.N. Ciganok, V.A. Shakura, Yu.M. Kuzovnikov</i> RESEARCH OF DETAILS CLEANING FROM BURRS BY ULTRASONIC CAVITATION EFFECTS	88

05.13.00 — TECHNICAL SCIENCES — COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>I.A. Akimov, E.O. Karakulina</i> RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF THE SECOND STAGE OF THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS IN THE INSTALLATION SCHOLZ	93
<i>I.Z. Ahmetzyanov, V.S. Karimov</i> APPLICATION OF FULL ORDER OBSERVER IN THE SYNTHESIS OF QUASIADAPTIVE CONTROL SYSTEMS WITH DELAYS ON THE OUTPUT	97
<i>T.A. Demenkova, D.D. Yarovov</i> ALGORITHMS AND ADAPTATION METHODS FOR HARDWARE IMPLEMENTATION	100
<i>A.A. Denisevich, E.V. Efremov, M.I. Grachev</i> DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL DIAGRAM OF AUTOMATION OF PRODUCTION CALCITE ANHYDRIDE	103
<i>D.V. Drozdov, E.A. Soldatova</i> AUDIT IT-INFRASTRUCTURE	106
<i>S.N. Zadvorskiy, A.A. Silaev</i> AUTOMATIC MANAGEMENT NETWORK GROUP PUMPS FOR BOILER PLANT	109
<i>V.N. Zaytsev, T.N. Burnisheva</i> APPLICATION OF KLAUDER WAVELET TO PROBLEM WAVE INTERFERENCE SUPPRESSION IN SEISMIC WAVE SIGNAL	113
<i>A.V. Ivaschenko, N.A. Gorbachenko, S.Yu. Ledneva, N.L. Omerova</i> A COMPONENT ORIENTED APPROACH FOR SIMULATION SOLUTIONS DEVELOPMENT	116
<i>Y.P. Kirin, V.V. Kiryanov</i> ROBUST MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PRODUCTION OF THE SPONGY TITAN	120
<i>V.V. Kiselev, S.F. Minatsevich, V.D. Volodin, A.A. Sharonov, R.S. Reshetov</i> SIMULATION OF PROCESS OF DATA TRANSMISSION IN SYSTEM OF SUBMERSIBLE TELEMETRY MEANS OF MATLAB/SIMULINK	124
<i>I.Z. Krasnov, N.S. Tsygankov</i> ALGORITHM FOR CALCULATING THE LEVEL OF COMPETENCE OF THE REQUIRED HUMAN ACTIVITIES	127
<i>M.D. Lindenbaum, O.V. Ignateva, T.M. Lindenbaum</i> TEST THE HYPOTHESIS OF GAUSS'S LAW ON KOLMOGOROV IN THE UNKNOWN PARAMETERS	131
<i>E.A. Malysh, G.M. Vodinchar</i> PATTERN RECOGNITION ALGORITHM OF WHISTLER IN THE SPECTROGRAM	134
<i>O.A. Mitina</i> DEVELOPMENT PROSPECTS FOR INFORMATION SUPPORT OF ENTERPRISE INNOVATION ACTIVITY	138

<i>O.A. Mitina</i> PROTECTION OF INFORMATION SYSTEM OF REAL-TIME ENTERPRISES	141
<i>O.A. Mitina</i> THE OPERATION OF INFORMATION SYSTEMS DISTRIBUTED ENTERPRISES	144
<i>A.V. Motova, G.A. Gareeva, D.R. Grigoreva</i> FORECASTING METHODS OF MARKET CONDITIONS IN RAIL TRANSPORTATION IN COMPARATIVE CHARACTERISTICS	147
<i>A.F. Nyashin, K.A. Tatosov</i> FEATURES OF MARANGONI CONVECTION IN THIN FILMS OF SOLUTION	150
<i>V.N. Oskolkov</i> MODERNIZATION PROGRAM-OPERATOR TERMINAL CAN BUS	156
<i>A.O. Ochoa Bique, D.A. Serikov</i> CELLULAR AUTOMATA APPLICATION FOR SIMULATION OF URANIUM CRYSTALLIZATION PROCESS	159
<i>T.V. Sazonova, O.I. Khristodulo, A.V. Bogdanov</i> PROCESSING PRODUCTION RULES MULTIDIMENSIONAL FUZZY CONTROLLER WITH THE INTERVAL UNCERTAINTY ON THE BASIS OF SEQUENTIAL EQUATIONS AND THE METHOD QUINE MC-KLASKO	163
<i>E.A. Soldatova</i> STRATEGIC INFORMATION SYSTEMS AUDIT	167
<i>T.G. Sopelnichenko, O.V. Egorova, N.V. Liventsova</i> OBJECT MODEL OF THE FLUORINE PRODUCTION ELECTROLYSIS CENTER FOR THE COMPUTER SIMULATOR	169
<i>A.A. Shakirova, G.A. Gareeva, D.R. Grigoreva</i> A STATISTICAL APPROACH TO FORECASTING OF DYNAMICS OF THE TELECOMMUNICATIONS MARKET	172
<i>V.A. Shchapov</i> ARCHITECTURE OF A SERVICE FOR PROCESSING INTENSE EXPERIMENTAL DATA STREAMS ON A SUPERCOMPUTER	175
ABSTRACTS	179

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.06

В.В. Дружинин д.ф.-м.н., А.А. Лазарев

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

СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ

Получены формулы для расчета сумм произвольных одинаковых степеней действительных чисел с различными разностью и начальным числом. Приведены результаты для степеней от «1» до «5» и с разностью от «1» до «5». Рассмотрены приложения полученных результатов.

Ключевые слова: сумма членов арифметической прогрессии, суммы одностепенных положительных действительных чисел.

Вопрос о конечных суммах чисел старая задача, и она обсуждалась в работах Эйлера, Бернулли и других математиков [1,2,3]. Мы рассматриваем сумму вида

$$S(n; m; t; x) = \sum_{k=1}^n (x + (k-1)m)^t, \quad (1)$$

и называем ее суммой членов обобщенной арифметической прогрессии (СОАП). В (1) m – разность ОАП, т. е. разность между основаниями соседних чисел, x – начальное число, m и x – любые действительные числа, n – количество слагаемых, t – целая неотрицательная степень числа. Сразу же отметим, что $S(n; m; 0; x) = n$; $S(1; m; t; x) = x^t$. Сумма n членов просто арифметической прогрессии $\{x + m(k-1)\}$, $1 \leq k \leq n$, в наших обозначениях есть $S(n; m; 1; x) = n(2x + m(n-1))/2$.

Вопрос о суммировании ОАП в общем виде до конца не решен, и мы предлагаем новые формулы. Частично этот вопрос затронут в статье авторов [4]. В справочниках [5,6,7] приведены формулы сумм наиболее простых ОАП с разностью $m = 1$ вплоть до $t = 7$. Например,

$$S(n; 1; 1; 1) = \sum_{k=1}^n k = \frac{n^2}{2} + \frac{n}{2}; \quad S(n; 1; 2; 1) = \sum_{k=1}^n k^2 = \frac{n^3}{3} + \frac{n^2}{2} + \frac{n}{6};$$

$$S(n; 1; 3; 1) = \sum_{k=1}^n k^3 = \frac{n^4}{4} + \frac{n^3}{2} + \frac{n^2}{4}; \quad S(n; 1; 4; 1) = \sum_{k=1}^n k^4 = \frac{n^5}{5} + \frac{n^4}{2} + \frac{n^3}{3} - \frac{n}{30}. \quad (2)$$

Кроме этого в [6] приведена общая формула для произвольных степеней t $S(n; 1; t; 1) = \sum_{k=1}^n k^t$ через биномиальные коэффициенты $C_t^k = t!/k!(t-k)!$ и числа Бернулли B_k . Таким образом, вопрос для СОАП с $m = x = 1$ в принципе решен, хотя числа Бернулли сами рассчитываются через разложение функции $f(x) = (x/(\exp(x) - 1))$ в ряд Маклорена и берутся из таблиц. Точно также решен вопрос для сумм с разностью $m = 2$. В справочниках [6,7,8] даны только три такие формулы:

$$S(n; 2; 1; 1) = n^2; \quad S(n; 2; 2; 1) = \frac{4n^3}{3} - \frac{n}{3}; \quad S(n; 2; 3; 1) = 2n^4 - n^2. \quad (3)$$

Мы специально записываем эти известные суммы не через произведение полиномов в скобках, а через отдельные слагаемые, т.к. при такой записи отчетливо видно рекуррентное соотношение между такими суммами.

Что касается СОАП со скважностью $m = 3; 4; 5; \dots$ и произвольным начальным членом x , то мы не нашли соответствующих формул. В данной работе мы приводим сравнительно простые выражения для таких сумм при произвольных $\{n; m; t; x\}$ без использования чисел Бернулли.

Вначале получим по нашему методу общую формулу, связывающую суммы последовательных натуральных чисел в различных степенях $S(n; 1; t; 1)$. Рассмотрим пример:

$$S(n; m; 2; 1) = \sum_{k=1}^n k^2 = \sum_{k=1}^n (1 + m(k-1))^2 = \\ = n + 2m \sum_{k=1}^{n-1} k + m^2 \sum_{k=1}^{n-1} k^2 = 1 + \sum_{k=0}^2 C_2^k m^k S(n-1; 1; k; 1). \quad (3)$$

Обобщая (3), запишем общее рекуррентное соотношение

$$S(n; 1; t; 1) = \frac{1}{t+1} [(n+1)^{t+1} - 1 - \sum_{k=0}^{t-1} C_{t+1}^k S(n; 1; k; 1)], \quad (4)$$

которое позволяет по предыдущим суммам с разностью $m = 1$ получить последующую сумму.

Приведем некоторые СОАП полученные по формуле (4)

$$\begin{cases} S(n; 1; 8; 1) = (10n^9 + 45n^8 + 60n^7 - 42n^5 + 20n^3 - 3n)/90; \\ S(n; 1; 9; 1) = (2n^{10} + 10n^9 + 15n^8 + 42n^5 + 45n^4 - 52n^2 - 42n)/20; \\ S(n; 1; 10; 1) = \frac{n^{11}}{11} + \frac{n^{10}}{2} + 5\frac{n^9}{6} - n^7 + n^5 - \frac{n^3}{2} + \frac{5n}{66}. \end{cases} \quad (5)$$

Анализ равенства (4) по методу математической индукции выявил очень простой способ построения $S(n; 1; t+1; 1)$ по известной сумме $S(n; 1; t; 1)$. Пусть

$$S(n; 1; t; 1) = \sum_{k=1}^{t+1} (c_k(t)) \cdot n^k. \quad (6)$$

Тогда коэффициенты $c_k(t+1)$ следующей суммы

$$S(n; 1; t+1; 1) = \sum_{k=1}^{t+2} (c_k(t+1)) \cdot n^k \quad (7)$$

связаны с предыдущими коэффициентами $c_k(t)$ соотношением

$$(k+1) \cdot (c_{k+1}(t+1)) = (c_k(t)) \cdot (t+1). \quad (8)$$

При этом $(c_1(t+1))$ находится по формуле

$$(c_1(t+1)) = 1 - \sum_{k=2}^{t+2} (c_k(t+1)). \quad (9)$$

Из (8) сразу же вытекают следствия: $c_{t+1}(t) = 1/(t+1)$; $c_t(t) = 1/2$.

Рассмотрим пример, подтверждающий формулу (8). Пусть дано $S(n; 1; 3; 1)$ с коэффициентами $c_4(3) = 1/4$; $c_3(3) = 1/2$; $c_2(3) = 1/4$; $c_1(3) = 0$, см. (2). Находим

$$c_5(4) = \frac{4}{4 \cdot 5} = \frac{1}{5}; \quad c_4(4) = \frac{4}{2 \cdot 4} = \frac{1}{2}; \quad c_3(4) = \frac{4}{4 \cdot 3} = \frac{1}{3}; \quad c_2(4) = 0; \quad c_1(4) = -\frac{1}{30}.$$

Далее перейдем к разностям $m = 2; 3; 4; \dots$. Вначале рассмотрим пример.

$$S(4; 3; 3; 1) = 1 + 4^3 + 7^3 + 10^3 = 1 + (1 + 3 \cdot 3 + 3 \cdot 3^2 + 3^3) + \\ + (1 + 3 \cdot 6 + 3 \cdot 6^2 + 6^3) + (1 + 3 \cdot 9 + 3 \cdot 9^2 + 9^3) = \\ = 1 + 3 + 3^2 S(3; 1; 1; 1) + 3^3 S(3; 1; 2; 1) + 3^3 S(3; 1; 3; 1). \quad (10)$$

Равенство (10) показывает, что сумму с разностью $m = 3$ можно выразить через суммы с разностями $m = x = 1$, которые мы можем найти по (4,8). Обобщая (10) имеем общую формулу

$$S(n; m; t; 1) = 1 + \sum_{k=0}^t m^k C_t^k S(n-1; m; k; 1). \quad (11)$$

Если начальное число ОАП не «1», а произвольное действительное число x , то этим же методом мы получим общую формулу

$$S(n; m; t; x) = x^t + \sum_{k=0}^t C_t^k x^{t-k} m^k S(n-1; m; k; 1). \quad (12)$$

При $x = 1$ (12) переходит в (11), а при $x = m = 1$ в (4). Обозначим $a_0 = n$, $a_k = S(n-1; 1; k; 1)$ при $k \geq 1$ и получим

$$a_1 = (n^2 - n)/2; \quad a_2 = (a_1 \cdot (2n - 1))/3; \quad a_3 = a_1^2; \quad a_4 = (a_2 \cdot (3n^2 - 3n - 1))/5; \\ a_5 = (a_1^2) (2n^2 - 2n - 1)/3. \quad (13)$$

После этого запишем таблицу СОАМ по (12).

$$\begin{aligned} S(n; m; 1; x) &= a_0 x + m a_1; & S(n; m; 2; x) &= a_0 x^2 + 2m x a_1 + m^2 a_2; \\ S(n; m; 3; x) &= a_0 x^3 + 3m x^2 a_1 + 3m^2 x a_2 + m^3 a_3; \\ S(n; m; 4; x) &= a_0 x^4 + 4m x^3 a_1 + 6m^2 x^2 a_2 + 4m^3 x a_3 + m^4 a_4; \\ S(n; m; 5; x) &= a_0 x^5 + 5m x^4 a_1 + 10m^2 x^3 a_2 + 10m^3 x^2 a_3 + 5m^4 x a_4 + m^5 a_5. \end{aligned}$$

Из этой таблицы по методу математической индукции получаем общую формулу СОАП при произвольных параметрах в виде обобщенного биннома Ньютона

$$S(n; m; t; x) = \sum_{k=0}^t C_t^k x^{t-k} m^k a_k. \quad (13)$$

Полученные результаты резко сокращают расчет СОАП и могут использоваться для

доказательства теорем и получения новых математических формул. Обыкновенная АП дает бесчисленное количество примеров применения. Функция $S(n; m; t; x)$, явно зависящая от четырех параметров, позволяет строить графики, интегрировать ее и дифференцировать и решать дифференциальные уравнения. Также легко определяются пределы

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S(n; m; t; x)}{n^{t+1}} = \frac{m^t}{t+1}; \lim_{x \rightarrow 0} \frac{S(n; m; t; x)}{x} = m^t a_t;$$

Мы не приводим других аналитических выражений сумм, так как они громоздки и читатель может сам получить их по формулам (4,12). Применение формул СОАП обширно: экономия компьютерного времени, решение нелинейных диофантовых уравнений, анализ сумм типа последней теоремы Ферма и ее обобщения, генерация простых чисел.

Авторы благодарят членов кафедры В.П. Чернявского и Т.В. Юфереву за обсуждение результатов.

Список литературы

1. Сизый С.В. Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.
2. Позняков С.Н. и Рыбин С.В. Дискретная математика. М., Академия, 2008.
3. Dicson L.E. History of the Theory of Numbers, v. II, СРС, New York, 1971.
4. Drushinin V.V., Lazarev A.A. Austrian Journal Technical and Natural Science, № 1-2, 20-21, 2016.
5. Корн. Г., Корн. Т. Справочник по математике, Наука, ГРФМЛ, М., 1974. стр. 31, 135.
6. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. ГИФМЛ, Москва, 1962. стр. 15-16.
7. Краткий физико-технический справочник. под. ред. К.П. Яковлева, ГИФМЛ, м., 1969. стр.9.

01.01.04

Б.В. Заятуев, Н.Н. Дондукова, Ю.Ю. Нефедов

Бурятский государственный университет,
институт математики и информатики, кафедра алгебры, геометрии и мпм
Улан-Удэ, zayatujev@yandex.ru, nadezda@yandex.ru, yn-solar-wind@yandex.ru

О ЛОКАЛЬНО КОНФОРМНО-КЕЛЕРОВЫХ СТРУКТУРАХ НА КАСАТЕЛЬНОМ РАССЛОЕНИИ

В данной статье мы изучаем касательное расслоение над римановым многообразием, снабженным почти эрмитовой структурой инвариантного типа [1]. Получены условия, при которых эта структура является локально конформно-келеровой структурой. Также изучено касательное расслоение над двумерным римановым ориентируемым многообразием.

Ключевые слова: касательное расслоение, почти эрмитова структура, келерова структура.

Напомним [2], что почти эрмитово многообразие (M^n, J, g) называется *локально-конформно келеровым* (короче – л.к.к.), если существует его открытое покрытие $\{U_\alpha\}$ и гладкие функции $\sigma_\alpha: U_\alpha \rightarrow \mathbb{R}^n$ такие, что $\{J, g_\alpha = e^{-\sigma_\alpha} g\}$ келерова структура на U_α . В случае, когда покрытие состоит из одного элемента $\{M^n\}$, структура называется *глобально-конформно келеровой*.

Вайсманом [3] были получены следующие две характеристики таких многообразия: Необходимым и достаточным условием локальной конформной келеровости многообразия (M^n, J, g) , $(n > 4)$ является справедливость тождества

$$d\Omega = \omega \wedge \Omega, \quad (1)$$

где Ω – фундаментальная 2-форма структуры, $\omega = \frac{1}{\frac{n}{2}-1} \delta\Omega \circ J$ – 1-форма, называемая

формой Ли. Можно показать, что при $n > 4$ форма Ли замкнута вследствие (1) и невырожденности Ω . В случае $n = 4$, к (1) добавляется еще одно условие: $d\omega = 0$.

Другой эквивалентной характеристикой таких многообразия при $n > 4$ является условие почти комплексности так называемой *связности Вейля*

$$\tilde{\nabla}_X Y = \nabla_X Y - \frac{1}{2} \omega(X) Y - \frac{1}{2} \omega(Y) X + \frac{1}{2} g(X, Y) \xi, \quad (2)$$

где ∇ – риманова связность метрики g , ξ – вектор, двойственный форме Ли, называемый *вектором Ли*. При $n = 4$ также добавляется условие $d\omega = 0$.

Если форма Ли точна, то есть $\omega = d\sigma$, то структура $\{J, g\}$ является глобально-конформно келеровой и $\{J, e^{-\sigma} g\}$ – келерова структура на M^n .

Пусть $(T(M^n), \bar{J}, \bar{g})$ – касательное расслоение над почти эрмитовым многообразием (M^n, J, g) , снабженное почти эрмитовой структурой инвариантного типа [1], где

$$\bar{J}(X^H) = (JX)^H;$$

$$\bar{J}(X^V) = (JX)^V;$$

$X \in \mathcal{X}(M); (\dots)^H, (\dots)^V$ – горизонтальный и вертикальный лифты [4].

$$\bar{g}(X^H, Y^H) = \lambda g(X, Y);$$

$$\bar{g}(X^H, Y^V) = 0;$$

$$\bar{g}(X^V, Y^V) = g(X, Y);$$

где λg – риманова метрика, полученная конформным преобразованием метрики g .

Относительно римановой связности $\bar{\nabla}$ метрики \bar{g} , имеют место следующие формулы [5]

$$\begin{aligned}
 (\bar{\nabla}_{X^H} Y^H)_Z &= (\nabla'_X Y)^H - \frac{1}{2}(R(X, Y)Z)^V; \\
 (\bar{\nabla}_{X^H} Y^V)_Z &= \frac{1}{2\lambda}(R(Z, Y)X)^H + (\nabla_X Y)^V; \\
 (\bar{\nabla}_{X^V} Y^H)_Z &= \frac{1}{2\lambda}(R(Z, X)Y)^H; \\
 \bar{\nabla}_{X^V} Y^V &= 0;
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где $X, Y \in \mathcal{X}(M)$; $Z \in T(M^n)$; ∇, ∇' – соответственно, римановы связности метрик g и λg ; R – тензор кривизны связности ∇ .

С учетом (3), имеем

$$\begin{aligned}
 \delta\bar{\Omega}(X^H) &= \delta\Omega'(X), \\
 (\delta\bar{\Omega}(X^V))_Z &= \frac{1}{2\lambda} tr(JR(Z, X)),
 \end{aligned}$$

где $\delta\bar{\Omega}$ – кодифференциал фундаментальной формы структуры $\{\bar{J}, \bar{g}\}$; $\delta\Omega'$ – кодифференциал фундаментальной формы структуры $\{J, \lambda g\}$.

Отсюда

$$\begin{aligned}
 \bar{\omega}(X^H) &= \frac{n-2}{2(n-1)} \omega'(X); \\
 (\bar{\omega}(X^V))_Z &= \frac{1}{2(n-1)\lambda} tr(JR(Z, JX)).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

где $\bar{\omega}$ – форма Ли структуры $\{\bar{J}, \bar{g}\}$; ω' – форма Ли структуры $\{J, \lambda g\}$.

Далее, с учетом (2), (3) и (4) получим

$$\begin{aligned}
 1) \quad (\tilde{\nabla}_{X^H} (\bar{J})Y^H)_Z &= (\nabla''_X (J)Y)^H + \frac{1}{2}(JR(X, Y)Z - JR(X, JY)Z)^V + \\
 &+ \lambda(g(X, Y)J\xi_V - \Omega(X, Y)\xi_V); \\
 2) \quad (\tilde{\nabla}_{X^H} (\bar{J})Y^V)_Z &= \frac{1}{2\lambda}(R(Z, JY)X - JR(Z, Y)X)^H + \omega_V(JY)X^H - \\
 &- \omega_V(Y)(JX)^H + (\nabla_X (J)Y)^V; \\
 3) \quad (\tilde{\nabla}_{X^V} (\bar{J})Y^H)_Z &= \frac{1}{2\lambda}(R(Z, X)JY - JR(Z, Y)X)^H + \omega_H(JY)X^V - \\
 &- \omega_H(Y)(JX)^V; \\
 4) \quad \tilde{\nabla}_{X^V} (\bar{J})Y^V &= \Omega(X, Y)\xi_H - g(X, Y)J\xi_H + \omega_V(JY)X^V - \\
 &- \Omega(X, Y)\xi_V + g(X, Y)J\xi_V - \omega_V(Y)(JX)^V;
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где ∇'' – связность Вейля структуры $\{J, \lambda g\}$; $\omega_H(X) = \frac{n-2}{2(n-1)} \omega'(X)$, $\omega_V(X)_Z = \frac{1}{2(n-1)\lambda} tr(JR(Z, JX))$.

Пусть связность Вейля $\tilde{\nabla}$ почти комплексна относительно \bar{J} , то есть $\tilde{\nabla}_{\bar{X}} \bar{J} = 0, \bar{X} \in \mathcal{X}(TM)$. Тогда из (5)₃, получаем

$$\omega_H(JY)X^V - \omega_H(Y)(JY)^V = 0.$$

Отсюда, в силу линейной независимости векторных полей X^V и $\bar{J}(X^V) = (JX)^V$, следует $\omega_H = 0$. С учетом этого и (5)₄, получаем

$$\omega_V(JY)X^V - \Omega(X, Y)\xi_V + g(X, Y)J\xi_V - \omega_V(Y)(JX)^V = 0.$$

Произведя в этом выражении свертку по первому нижнему и верхнему аргументам, имеем $(n-1)\omega_V(JY) + g(J\xi_V, Y) = 0$. Затем, заменяя $Y \rightarrow JY$ $(n-2)\omega_V(Y) = 0$. Таким образом, если $n > 2$, то $\omega_V = 0$. Итак, если $n > 2$, то форма Ли $\bar{\omega} = 0$. Тем самым, условие $\tilde{\nabla}_{\bar{X}} \bar{J} = 0$ при $n > 2$ равносильно $\bar{\nabla}_{\bar{X}} \bar{J} = 0$, то есть келеровости структуры $\{\bar{J}, \bar{g}\}$. Как известно [5], келеровость структуры $\{\bar{J}, \bar{g}\}$ равносильна $R = 0$ и $\lambda = const$. Тем самым, доказана

Теорема 1. *Касательное расслоение $(T(M^n), \bar{J}, \bar{g})$ ($n > 2$) является локально-конформно келеровым многообразием тогда и только тогда, когда (M^n, J, g) – плоское келерово многообразие и $\lambda = \text{const}$.*

Пусть теперь (M^2, J, g) – двумерное (связное) келерово многообразие. Тогда, как известно [6], $(T(M^2), \bar{J}, \bar{g})$ – эрмитово многообразие, названное нами *тангенциальной эрмитовой поверхностью*. Из двумерности риманова многообразия (M^2, g) имеем $R(X, Y)Z = \kappa(g(X, Z)Y - g(Y, Z)X)$, где κ – гауссова кривизна. Следовательно, соотношения (6) примут вид

$$\begin{aligned} \bar{\omega}(X^H) &= 0; \\ (\bar{\omega}(X^V))_Z &= -\frac{\kappa}{\lambda} g(Z, X). \end{aligned} \quad (6)$$

Как известно [3], для эрмитовых поверхностей условие $\tilde{\nabla}_{\bar{X}} \bar{J} = 0$ имеет место тождественно. В нашем случае, это также легко проверить используя формулы (5) и (6).

Вычислив ковариантную производную формы Ли $\bar{\omega}$, получим

$$\begin{aligned} \bar{\nabla}_{X^H} (\bar{\omega}) Y^H &= 0, \\ (\bar{\nabla}_{X^H} (\bar{\omega}) Y^V)_Z &= \partial_X \left(-\frac{\kappa}{\lambda}\right) g(Z, Y), \\ \bar{\nabla}_{X^V} (\bar{\omega}) Y^H &= 0, \\ \bar{\nabla}_{X^V} (\bar{\omega}) Y^V &= -\frac{\kappa}{2\lambda} g(X, Y). \end{aligned}$$

где $\partial_X = X^i \frac{\partial}{\partial x^i}$.

Отсюда

$$\begin{aligned} d\bar{\omega}(X^H, Y^H) &= 0, \\ (d\bar{\omega}(X^H, Y^V))_Z &= \partial_X \left(-\frac{\kappa}{2\lambda}\right) g(Z, Y), \\ d\bar{\omega}(X^V, Y^V) &= 0. \end{aligned}$$

Таким образом, получаем, что $d\bar{\omega} = 0$ тогда и только тогда, когда $\partial_X \left(\frac{\kappa}{\lambda}\right) = 0$. С учетом связности многообразия M^2 , $\partial_X \left(\frac{\kappa}{\lambda}\right) = 0$ тогда и только тогда, когда $\frac{\kappa}{\lambda} = \text{const}$. Кроме того, в силу положительности функции λ , это равенство имеет смысл только тогда, когда гауссова кривизна κ знакоопределенна.

Покажем теперь, что замкнутость формы Ли $\bar{\omega}$ влечет ее точность. Действительно, в адаптированном кобазисе $\{(dx)^V, (dx)^H\}$ имеем

$$\begin{aligned} \bar{\omega} &= \left(-\frac{\kappa}{\lambda}\right) g_{is} y^s (dx^i)^H = \left(-\frac{\kappa}{\lambda}\right) (g_{is} dy^i y^s + g_{is} \Gamma_{ij}^i y^l y^s dx^j) = \left(-\frac{\kappa}{\lambda}\right) (g_{is} dy^i y^s + \frac{1}{2} dg_{is} y^l y^s) = \\ &= d\left(-\frac{\kappa}{2\lambda} g_{ij} y^i y^j\right), \end{aligned}$$

где (x^i, y^i) – стандартная локальная система координат на $T(M^2)$, $\{g_{ij}\}$ – компоненты римановой метрики g в этой системе координат. Таким образом, форма Ли $\bar{\omega} = d\sigma$, где $\sigma = -\frac{\kappa}{2\lambda} g_{ij} y^i y^j$. Очевидно, что σ – глобально определенная функция на $T(M)$. Тем самым доказано, что $(T(M^2), \bar{J}, \bar{g})$ – глобально-конформно келерово многообразие тогда и только

тогда, когда выполняются следующие два условия:

- 1) (M^2, g) – риманово многообразие со знакоопределенной гауссовой кривизной κ ;
- 2) $\lambda = A\kappa$, где $A = \text{const}$ и $\text{sign}(A) = \text{sign}(\kappa)$.

В процессе доказательства мы получили несколько большее, чем условия глобально-конформно келеровости структуры $\{\bar{J}, \bar{g}\}$. А именно, с учетом критерия глобально-конформно келеровости, имеет место

Теорема 2. Пусть (M^2, J, g) – келерово многообразие со знакоопределенной гауссовой кривизной κ . Тогда эрмитова поверхность $(T(M^2), \bar{J}, e^{-\sigma} \bar{g})$, где $\sigma = -\frac{\kappa}{2\lambda} g_{ij} y^i y^j$, является келеровой поверхностью тогда и только тогда, когда $\lambda = A\kappa$, где $A = \text{const}$ и $\text{sign}(A) = \text{sign}(\kappa)$.

Список литературы

1. Заятуев Б.В. О некоторых классах АН-структур на касательном расслоении // Труды международной конференции, посвященной А.З. Петрову, 2000.-с.53-54.
2. Gray A., Hervella L. The sixteen classes of almost manifolds and their linear invariants// Ann. Math. Pura ed. Appl., 1980, v.123, № 4. p. 35-38.
3. Vaisman I. Locally conformal Kahler manifolds with parallel Lee form// Rend. Mat. Rome; 1979, v.12. p. 263-284.
4. Yano K. and S. Ishihara. Tangent and Cotangent Bundles// New York, Marcel Dekker, INC., 1973, XII.
5. Заятуев Б.В. Об одном примере почти эрмитовой структуры на касательном расслоении. // Матем. заметки 2004, том 76, выпуск 5, с. 732–739.
6. Кириченко В.Ф., Заятуев Б.В. Дифференциальная геометрия тангенциальных эрмитовых поверхностей //Успехи мат. наук, 1996, N4. - с. 209-211.

01.01.01

Д.Ю. Иванов к.ф.-м.н., Р.И. Держинский к.т.н.

Московская государственная академия водного транспорта, кафедра высшей математики,
Москва, ivanovdyu@yandex.ru 9015111295@rambler.ru

**БЕЗУСЛОВНАЯ РАВНОМЕРНАЯ КОРРЕКТНОСТЬ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ С
ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО РОДА ДЛЯ
АБСТРАКТНОГО ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**

Доказана безусловная равномерная корректность краевых задач с граничными условиями первого и второго рода для векторного дифференциального уравнения второго порядка с операторным коэффициентом, порождающим эллиптический случай.

Ключевые слова: *краевая задача, эллиптическое уравнение, параболическое уравнение, единственность, существование, устойчивость.*

Векторное дифференциальное уравнение:

$$d^2\mathbf{u}/dx^2 = \mathbf{A}\mathbf{u}(x) \quad (x \in (0, b)), \quad (1)$$

с оператором \mathbf{A} , порождающим эллиптический случай [1, с. 304; 2, с. 73], называется иногда абстрактным эллиптическим уравнением. Краевые задачи для такого уравнения при определенных операторах \mathbf{A} принимают вид граничных задач для уравнений математической физики как эллиптического [3], так и параболического [4, с. 32] типа. Согласно общей теории [1, 2] имеет место только условная корректность некоторых краевых задач для уравнения (1), гарантируемая некоторыми дополнительными спектральными свойствами оператора \mathbf{A} . В настоящей работе для краевых задач с граничными условиями первого и второго рода доказана безусловная корректность, т.е. имеющая место для любого оператора \mathbf{A} , порождающего эллиптический случай.

Введем в рассмотрение четыре краевые задачи для уравнения (1) на основе соответствующих граничных условий:

$$\mathbf{u}(0) = \mathbf{w}_0, \quad \mathbf{u}(b) = \mathbf{w}_b; \quad (2a)$$

$$\mathbf{u}'(0) = \mathbf{w}_0, \quad \mathbf{u}'(b) = \mathbf{w}_b; \quad (2b)$$

$$\mathbf{u}'(0) = \mathbf{w}_0, \quad \mathbf{u}(b) = \mathbf{w}_b; \quad (2c)$$

$$\mathbf{u}(0) = \mathbf{w}_0, \quad \mathbf{u}'(b) = \mathbf{w}_b. \quad (2d)$$

Здесь векторная функция $\mathbf{u} = \mathbf{u}(x)$ задана на промежутке $[0, b]$, а ее значения вместе с элементами \mathbf{w}_0 и \mathbf{w}_b принадлежат комплексному банахову пространству E . Область определения $D(\mathbf{A})$ оператора \mathbf{A} является всюду плотным множеством в пространстве E , и оператор \mathbf{A} порождает эллиптический случай, т.е. обладает следующими свойствами: при любом $\lambda \in (-\infty, 0]$ существует резольвента $\mathbf{R}(\lambda; \mathbf{A}) \equiv (\lambda \mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ (\mathbf{I} — тождественный оператор в пространстве E), и

$$\exists M > 0: \forall \lambda \leq 0 \quad \|\mathbf{R}(\lambda; \mathbf{A})\| \leq M/(1 + |\lambda|) \quad (3)$$

[1, с. 135]. Класс операторов, порождающих эллиптический случай, обозначим через \mathcal{E} . Для оператора $\mathbf{A} \in \mathcal{E}$ может быть определен квадратный корень $\mathbf{A}^{1/2}$, и оператор $\mathbf{A}^{1/2}$ является генератором C_0 -полугруппы $\mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})$:

$$\mathbf{A}^{1/2}\mathbf{f} = \lim_{\tau \rightarrow +0} [\mathbf{f} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})\mathbf{f}] \quad (\mathbf{f} \in D(\mathbf{A}^{1/2})).$$

Обозначим через $C(E)$ пространство непрерывных векторных функций $\mathbf{u} = \mathbf{u}(x)$ со значениями в E , определенных на множестве $[0, b]$. В пространстве $C(E)$ введем норму:

$$\|\mathbf{u}\|_{C(E)} = \max_{x \in [0, b]} \|\mathbf{u}(x)\|_E.$$

Определение. Краевые задачи (1), (2) называются равномерно корректными, если для

любых w_0, w_b из E существует единственное обобщенное решение этой задачи [1, с.309], непрерывно зависящее в норме пространства $C(E)$ от $w_0, w_b \in E$.

Известно [1, с. 318; 2, с. 76; 3], что краевые задачи (1), (2a) и (1), (2b) равномерно корректны при условии $1 \notin \sigma(\mathbf{T}(2b; \mathbf{A}^{1/2}))$, а задачи (1), (2c) и (1), (2d) – при условии $-1 \notin \sigma(\mathbf{T}(2b; \mathbf{A}^{1/2}))$ ($\sigma(\cdot)$ – спектр оператора), причем общая теория разрешимости краевых задач для уравнения (1) приведена в монографиях [1, 2], а в работе [3] явно выписаны решения задач (1), (2) и условия $\pm 1 \notin \sigma(\mathbf{T}(2b; \mathbf{A}^{1/2}))$. В настоящей работе доказана теорема, согласно которой $\pm 1 \notin \sigma(\mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2}))$ при $\tau > 0$ для произвольного оператора $\mathbf{A} \in \mathfrak{E}$, следовательно, краевые задачи (1), (2) безусловно равномерно корректны.

Введем в рассмотрение функциональное исчисление для оператора $\mathbf{A} \in \mathfrak{E}$ согласно [1, с.133]. Обозначим через Γ_a контур, образованный двумя полупрямыми $\arg(\lambda - a) = \pm(\pi - \phi)$ ($\operatorname{Re} \lambda \leq a$). При этом $0 < \phi < \pi/2$, $\sin \phi \leq q/M$ и $a \in (0, q/M]$, где $q \in (0, 1)$, а константа M определяет оценку (3). Будем рассматривать некоторые функции $g(\lambda)$, полагая, что они аналитичны в плоскости с разрезом вдоль полуоси $(-\infty, 0]$ и обладают свойством: при некотором $\delta > 0$, зависящем от функции, предельное соотношение $\lambda^\delta g(\lambda) \rightarrow 0$ при $|\lambda| \rightarrow \infty$ выполняется равномерно в любой области вида $|\arg \lambda| \leq \pi - \varepsilon$ ($\varepsilon \in (0, \pi)$). Для каждой функции $g(\lambda)$ интеграл

$$g(\mathbf{A}) = (2\pi i)^{-1} \int_{\Gamma_a} g(\lambda) \mathbf{R}(\lambda; \mathbf{A}) d\lambda \tag{4}$$

абсолютно сходится и определяет в пространстве E некоторый ограниченный оператор $g(\mathbf{A})$. Функции $g(\lambda)$ образуют коммутативную алгебру F , и для любых $g_1(\lambda), g_2(\lambda) \in F$ имеют место равенства:

$$g_1(\mathbf{A}) g_2(\mathbf{A}) = (2\pi i)^{-1} \int_{\Gamma_a} g_1(\lambda) g_2(\lambda) \mathbf{R}(\lambda; \mathbf{A}) d\lambda, \tag{5}$$

вследствие чего операторы $g(\mathbf{A})$ также образуют коммутативную алгебру.

Так, например, в алгебру F входят функции вида $g(\lambda) = \lambda^{-\alpha}$ ($\alpha > 0$), если последние рассматривать как однозначные в плоскости с разрезом вдоль полуоси $(-\infty, 0]$ ($g(1) = 1$). Отрицательные дробные степени оператора \mathbf{A} определяются формулой:

$$\mathbf{A}^{-\alpha} \equiv (2\pi i)^{-1} \int_{\Gamma_a} \lambda^{-\alpha} \mathbf{R}(\lambda; \mathbf{A}) d\lambda \quad (\alpha > 0),$$

и вместе с тождественным оператором \mathbf{I} образуют C_0 -полугруппу.

Операторы $\mathbf{A}^{-\alpha}$ обратимы при любом $\alpha > 0$. Положительные дробные степени \mathbf{A}^α вводятся как операторы, обратные к соответствующим отрицательным степеням. Области определения $D(\mathbf{A}^\alpha)$ плотны в E .

Такие операторы, как \mathbf{A}^α ($\alpha \in (0, 2^{-1}]$), являются генераторами C_0 -полугрупп $\mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^\alpha)$. Функции $g(\lambda) = \exp(-\lambda^\alpha \tau)$ ($\tau > 0, \alpha \in (0, 2^{-1}]$) принадлежат алгебре F , и C_0 -полугруппы $\mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^\alpha)$ допускают представление:

$$\mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^\alpha) = (2\pi i)^{-1} \int_{\Gamma_a} \exp(-\lambda^\alpha \tau) \mathbf{R}(\lambda; \mathbf{A}) d\lambda \quad (\tau > 0). \tag{6}$$

Условимся операторы вида $g(\mathbf{A})$ ($g(\lambda) \in F$) определять на основе формулы (4).

Теорема. Пусть $\mathbf{A} \in \mathfrak{E}$. В этом случае множество $|\mu| \geq 1$ входит в резольвентное множество каждого из операторов $\mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})$ ($\tau > 0$).

Доказательство. Пусть $\tau > 0$ и $|\mu| \geq 1$. Рассмотрим семейство функций $g^\alpha(\lambda) \equiv \lambda^{-\alpha} / [\mu - \exp(-\tau\sqrt{\lambda})]$ ($\alpha > 0$). Докажем, что $g^\alpha(\lambda) \in F$. Для этого заметим, что

$$g^\alpha(\lambda) = c^{-1} \lambda^{-\alpha} (1 + g_1(\lambda)), \quad (7)$$

где $g_1(\lambda) \equiv \exp(-\tau\sqrt{\lambda}) / [\mu - \exp(-\tau\sqrt{\lambda})]$. Функция $g_1(\lambda)$ принадлежит алгебре F . Действительно, функция $g_1(\lambda)$ аналитична в плоскости с разрезом вдоль полуоси $(-\infty, 0]$. Кроме того, в силу оценок

$$\begin{aligned} \exp(-\tau\sqrt{\lambda}) &\leq \exp\{-\tau\sqrt{|\lambda|} \cos[(\pi - \varepsilon)/2]\}, \\ \left| [\mu - \exp(-\tau\sqrt{\lambda})]^{-1} \right| &\leq \left(1 - \exp\{-\tau\sqrt{|\lambda|} \cos[(\pi - \varepsilon)/2]\} \right)^{-1}, \end{aligned}$$

имеющих место при $|\arg \lambda| \leq \pi - \varepsilon$ ($\varepsilon \in (0, \pi)$), функция $g_1(\lambda)$ стремится к нулю при $|\lambda| \rightarrow \infty$ равномерно по $\arg(\lambda) \in [-\pi + \varepsilon, \pi - \varepsilon]$ быстрее любой степени $|\lambda|$ для любого $\varepsilon \in (0, \pi)$. Следовательно, $g_1(\lambda) \in F$. Так как $\lambda^{-\alpha} \in F$ ($\alpha > 0$), то отсюда в силу представления (7) вытекает, что $g^\alpha(\lambda) \in F$, и

$$g^\alpha(\mathbf{A}) = \mu^{-1} \mathbf{A}^{-\alpha} (\mathbf{I} + g_1(\mathbf{A})). \quad (8)$$

Оператор $\mathbf{I} + g_1(\mathbf{A})$ ограничен, нормы операторов $\mathbf{A}^{-\alpha}$ ($\alpha \in [0, \beta]$) ограничены в совокупности при любом $\beta > 0$ вследствие сильной непрерывности операторного семейства $\mathbf{A}^{-\alpha}$ ($\alpha \geq 0$). Поэтому формула (8) позволяет сделать вывод о равномерной ограниченности операторов $g^\alpha(\mathbf{A})$ ($\alpha \in (0, \beta]$) при произвольном $\beta > 0$.

Принимая во внимание представление (6) и формулу (5), несложно убедиться в справедливости следующих равенств:

$$g^\alpha(\mathbf{A}) [\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})] = \mathbf{A}^{-\alpha}, \quad [\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})] g^\alpha(\mathbf{A}) = \mathbf{A}^{-\alpha} \quad (\alpha > 0). \quad (9)$$

Так как операторы $\mathbf{A}^{-\alpha}$ ($\alpha \geq 0$) обратимы, то из соотношений (9) следует обратимость оператора $\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})$, т.е. оператор $\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})$ имеет тривиальное ядро и всюду плотную в пространстве E область значений $R(\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2}))$. Переходя в первом уравнении (9) к сильному пределу при $\alpha \rightarrow +0$ и учитывая, что $\mathbf{A}^{-\alpha} \mathbf{f} \rightarrow \mathbf{f}$ ($\mathbf{f} \in E$), получаем следующие предельные соотношения в норме E :

$$g^\alpha(\lambda) \mathbf{f} \rightarrow [\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})]^{-1} \mathbf{f} \quad (\mathbf{f} \in R(\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2}))) \quad (10)$$

при $\alpha \rightarrow +0$. Принимая во внимание равномерную ограниченность операторов $g^\alpha(\mathbf{A})$ ($\alpha \in (0, \beta]$), согласно (10) имеем ограниченность оператора $[\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})]^{-1}$, определенного на плотном в E линейном многообразии $R(\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2}))$. Так как оператор $\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})$ замкнут, то отсюда вытекает, что $R(\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})) = E$.

Итак, оператор $\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})$ при любых $\tau > 0$, $|\mu| \geq 1$ имеет ограниченный, всюду определенный в пространстве E обратный оператор. Это означает, что множество $|\mu| \geq 1$ принадлежит резольвентным множествам операторов $\mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})$ ($\tau > 0$). Теорема доказана.

Следствие. Краевые задачи (1), (2) равномерно корректны при любом $\mathbf{A} \in \mathfrak{E}$.

В заключение отметим, что вывод о том, что множество $|\mu| \geq 1$ не пересекается с точечным и остаточным спектрами операторов $\mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})$ ($\tau > 0$), можно сделать на основании теоремы об отображении спектров [5, с. 485], если учесть, что резольвента

оператора $A^{1/2}$ определена в секторе $(\pi - \phi) / 2 < \arg \lambda \leq \pi$ [1, с. 145]. Тем не менее, теорема об отображении спектров не позволяет ничего утверждать об ограниченности операторов $[\mu \mathbf{I} - \mathbf{T}(\tau; \mathbf{A}^{1/2})]^{-1}$ ($\tau > 0$, $\mu \geq 1$) и, как следствие, о непрерывной зависимости решений $\mathbf{u}(x)$ краевых задач (1), (2) от граничных условий $\mathbf{w}_0, \mathbf{w}_b \in E$ в норме $C(E)$.

Список литературы

1. Крейн С.Г. Линейные дифференциальные уравнения в банаховом пространстве. – М.: Наука, 1967. – 464 с.
2. Иванов В.К., Мельникова И.В., Филинков А.И. Дифференциально-операторные уравнения и некорректные задачи. – М.: Физматлит, 1995. – 175 с.
3. Ivanov D.Yu. Inverse boundary value problems for an abstract elliptic equation // Differential equations. 2000. V. 36. No. 4. – P. 579-586.
4. Иванов Д.Ю. Исследование и численное решение многомерных обратных граничных задач теплопроводности, обладающих полугрупповой симметрией: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. – М.: 1999. – 134 с.
5. Хилле Э., Филлипс Р. Функциональный анализ и полугруппы. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 829 с.

01.01.00

И.В. Кулешов О.Г. Москалёва

Филиал НОУ ВО Московский технологический институт в г.Оренбурге,
кафедра информатики и автоматизации,
Оренбург, 1234@56.ru mos_og25@mail.ru

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВЫХ ШУМОВ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В работе сделан вывод о том, что шумы мерцаний имеют характерные всплески, обусловленные протяженным характером объекта и особенностями его движения, имеет место корреляция ЭПР (эффективной поверхности рассеивания) и шумов мерцания, кроме того законы распределения случайных величин носят негауссовский характер.

Ключевые слова: *протяженный объект, система дифференциальных уравнений, угловой шум, корреляция, радиолокация.*

Известно, что сигналы, отраженные от протяженных объектов, вследствие их многоточечного характера и флуктуирующего фазового фронта, при обработке в радиолокационных трактах, несут информацию об угловом, дальномерном и доплеровском шумах цели (шумах мерцания).

Поэтому, при исследованиях необходимо знание спектров эффективной поверхности рассеивания объекта и шумов мерцания, степени корреляции ЭПР и шумов мерцания для подвижного объекта. Пусть протяженный объект представляет собой N отражателей, расположенных на отрезке длиной L , вращающейся вокруг своего центра в плоскости наблюдателя с угловой скоростью $\Omega(t)$. Угловой шум протяженного объекта будет определяться выражением:

$$v(t) = \frac{d\theta(\psi(t))}{d\psi} = \frac{\sum_j \sum_i A_j A_i K \left(\frac{dr_j}{d\psi} \right) \cos(K(r_j - r_i) + (\Phi_j - \Phi_i))}{\sum_j \sum_i A_j A_i \cos(K(r_j - r_i) + (\Phi_j - \Phi_i))}, \quad (1.1)$$

где K - волновое число, Ψ - угол наблюдения цели, A_j - амплитуда j -ого отражателя, $r_j/2$ - расстояние от РЛС до j -ого отражателя, Φ_j - относительная фаза для j -ого отражателя [1].

А с учетом вращения объекта (1.1) примет вид

$$v(t) = \frac{XW + YZ}{X^2 + Y^2}, \quad (1.2)$$

$$\text{Где } X = \sum_j A_j \cos(Su_j + \Phi_j), \quad Y = \sum_j A_j \sin(Su_j + \Phi_j),$$

$$W = \sum_j A_j u_j \cos(Su_j + \Phi_j), \quad (1.3)$$

$$Z = \sum_j A_j u_j \sin(Su_j + \Phi_j), \quad u_j = -\frac{\Delta\omega_j}{\Omega(t)},$$

$$S = \text{tg} \left(\int_0^t \Omega(\tau) d\tau \right). \quad (1.4)$$

Шум мерцания угловой координаты описывается несимметричным распределением Стьюдента с двумя степенями свободы:

$$W(v) = \frac{\mu(1-r^2)}{2(1-2r\mu + \mu^2 v^2)^{3/2}}, \quad (1.5)$$

где $\mu = \frac{K\alpha \cos(\psi)}{\sqrt{3}}$, r - параметры распределения. Для описания доплеровского шума величина μ заменяется на $d = \left(\frac{\Delta\omega}{\Omega}\right)_{\max} \sqrt{3}$.

Несмотря на достаточно простой вид распределения (1.5), при использовании его в классической процедуре сглаживания, исследователи наталкиваются на серьезные математические трудности, что приводит к необходимости анализа ошибок сглаживания методом статистического моделирования [2]. Для этого необходимо задавать регулярную последовательность истинного значения величины Y_i , и аддитивно суммировать этот детерминированный ряд со случайными величинами V_i , $i = 1$, закон распределения которых описывается соотношением (1.5), т.е. генерировать выборочные значения величины V .

Для решения этой задачи воспользуемся методом обратных функций, основанных на свойствах рядов С. Ли. В соответствии с этим методом можно утверждать, что случайная величина $X = V$.:

$$x = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{[\alpha - F(x_i)]^k}{k! D^k(x)} \Bigg|_{x_i=x_0} \tag{1.6}$$

имеет плотность распределения $W(x) = \frac{dF(x)}{dx}$. Здесь

$$D^{k+1}(x) = D(x) \frac{dD(x)}{dx}, \tag{1.7}$$

где $D(x) = \frac{\alpha}{W(x)dx}$ - оператор от X , α - число, равномерно распределенное в интервале

$[0, 1]$; $F(x)$ - значение интегральной функции распределения величины X ; X_0 - точка разложения функции.

Рассмотрим порядок построения имитатора случайных величин, заданных распределением (1.5). Оператор преобразования для случая (1.5) может быть представлен в виде:

$$D(x) = a(1 - 2r\mu x - x^2\mu^2)^{\frac{3}{2}} \frac{d}{dx}, \tag{1.8}$$

где $a = \frac{2}{\mu(1-r)}$. В соответствии с соотношением (1.7) получим:

$$\begin{aligned} D^2(x) &= 3a^2\mu(1 - 2r\mu x + x^2\mu^2)^2(\mu x - r); \\ D^3(x) &= 3a^3\mu^2(1 - 2r\mu x + x^2\mu^2)^{\frac{5}{2}} \cdot \\ &\cdot (4(\mu x - r)^2 + (1 - 2r\mu x + x^2\mu^2)) \end{aligned} \tag{1.9}$$

В общем виде $D^k(x)$ может быть представлено в следующей форме:

$$D^k(x) = \Psi_k(x) \Big|_{x=x_0} a^k \mu^{k-1} (1-r^2)^{2k+\frac{1}{2}}, \tag{1.10}$$

где $\Psi_k(x_0)$ - полином степени $(k-1)$, представленный в форме $\Psi_k(x_0) = \sum_{i=0}^{k-1} C_i^k x_0^i$.

Причем $C_i^{k+1} = (k+i)C_{i+1}^k + (i-1)C_{i-1}^k$. Точка разложения X_0 должна удовлетворять условию

$$\frac{dW(x)}{dx} \Big|_{x=x_0} = 0.$$

Решение уравнения (1.8) с учетом (1.9) дает $x_0 = r/\mu$. Из (1.8) и (1.9) видно, что при $x = x_0$ четные члены $D^k(x)$ равны нулю. С учетом этого обстоятельства моделирующий алгоритм может быть представлен в следующем окончательном виде:

$$x = \sum_{n=0}^{\infty} (\alpha - F(x_0))^{2n+1} \alpha^{2n+1} \mu^{2n} (1-r)^{4n+\frac{3}{2}} \Psi_{2n+1}(x_0). \quad (1.11)$$

Полученное соотношение позволяет моделировать величину X , распределенную по соотношению (1.5).

Оценка сходимости экспериментального ряда X_i , $i = \overline{1, N}$, полученного из (1.11), производилась при помощи критерия Колмогорова-Смирнова. Исследования показывают, что при $N \geq 100$ с вероятностью $P = 0,65 - 0,7$ в качестве модели, описывающей выборочные значения X_i , может быть выбран закон (1.5). Для учета корреляции между отсчетами необходимо пропустить совокупность полученных независимых величин через соответствующий формирующий фильтр [3].

К решению данной задачи можно подойти следующим образом. Пусть объект имеет некоторую протяженность перпендикулярную его длине, Φ_j - случайные переменные независимые от u_k и A_k для всех K , равномерно распределенные в интервале от 0 до 2π . Тогда W , X , Y , Z не коррелированы и при больших N подчиняются нормальному распределению. Положив $\Omega(t) = \Omega_0$ при малых значениях $\int_0^t \Omega(\tau) d\tau$, что справедливо для

стационарных процессов. Запишем

$$\begin{aligned} \langle x(t)x(t+\tau) \rangle &= \langle x(0)x(\tau) \rangle = \sum_j \langle A_j^2 (\cos(Su_j)\cos(\bar{S}u_j)\cos^2(\Phi_j) + \\ &+ \sin(Su_j)\sin(\bar{S}u_j)\sin^2(\Phi_j) - (\sin(Su_j)\cos(\bar{S}u_j) + \cos(Su_j)\sin(\bar{S}u_j)) \cdot \\ &\cdot \sin(\Phi_j)\cos(\Phi_j) \rangle = \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \cos((\bar{S}-S)u) du = \frac{\sin(\eta)}{\eta} = \langle y(t)y(t+\tau) \rangle, \end{aligned} \quad (1.12)$$

где $\eta = (\bar{S}-S)a = (S(t+\tau) - S(t))a$.

$$\langle Z(t)Z(t+\tau) \rangle = \langle W(t)W(t+\tau) \rangle = 3a^2 \left(\frac{\sin(\eta)}{\eta} + \frac{2\cos(\eta)}{\eta^2} - \frac{2\sin(\eta)}{\eta^3} \right).$$

Рассмотрим реализацию формирующего фильтра. Сигналы $x(t)$ и $y(t)$ должны воспроизводиться на выходе системы первого порядка, на вход которой подается нормальный гауссовский процесс $\frac{x(S)}{e(S)} = \frac{\pi}{bT} \frac{bK_1}{2S+b}$,

S - фиктивная переменная. То есть процессы $x(t)$ и $y(t)$ удовлетворяют дифференциальному уравнению вида $\frac{dx(t)}{dt} = \frac{(K_1\pi T)e(t) - bx(t)}{2}$ [4].

Для постоянного спектра мощности входного сигнала $(-V_m, V_m)$ отличного от нуля для $\frac{2V_m}{b} \gg 0$ запишем $\frac{K_1\pi}{T} = \sqrt{\frac{4bv_m}{\pi}}$. Сигналы $z(t)$ и $w(t)$ могут быть получены аналогично

на выходе системы второго порядка $\frac{z(S)}{e(S)} = \frac{3a^2 T \pi K_2}{b} \frac{b^2 S}{(2STb)^2}$, то есть $z(t)$ и $w(t)$

удовлетворяют дифференциальному уравнению вида $\frac{dz(t)}{dt} = \frac{3a^2 b T \pi K_2 e(t) - 4bz(t) - b^2 h(t)}{4}$,

где $h(t)$ соответствует $\frac{dh(t)}{dt} = z(t)$ и $3a^2bT\pi K_2 \approx 2\sqrt{3}a\sqrt{\frac{4bv_m}{\pi}}$.

На основе решения системы дифференциальных уравнений, приведенных выше, можно сделать вывод, что шумы мерцаний имеют характерные всплески, обусловленные протяженным характером объекта и особенностями его движения, имеет место корреляция ЭПР и шумов мерцания, кроме того законы распределения случайных величин носят негауссовский характер.

Список литературы

1. Моделирование угловых шумов протяженных радиолокационных целей [Электронный ресурс] / О.Н. Акиншин [и др.] // Нелинейный мир. – 2009. – № 12. – С. 912-917. – Режим доступа : <http://www.radiotec.ru/catalog.php?cat=jr11&art=7049>. – Дата обращения : 25.03.2016.
2. Никульчев Е.В. Моделирование систем с хаотической динамикой на основе оценки слабого нарушения симметрий в реконструированных аттракторах / Е. В. Никульчев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 227.
3. Кулешов И.В. Исследование дисперсионных явлений при импульсной томографии / И. В. Кулешов, О. Г. Москалева // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань : «Научно-технический вестник Поволжья», 2015. – Т. 2. – Стр. 147-150. – ISSN: 2079-5920.
4. Кулешов И.В., Москалёва О.Г. Выбор и обоснование математического аппарата для анализа товарооборота // Образовательная среда сегодня и завтра: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., 26-27 ноября 2015г. / Под ред. Г.Г. Бубнова, Плужника Е.В., Солдаткина В.И. – М.: НОУ ВО Моск. техн. ин-т, 2015. – С. 376-378.

01.01.07

Э.С. Сибгатуллин, О.Г. Новоселов, К.Э. Сибгатуллин

Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, инженерно-строительное отделение, кафедра промышленного, гражданского строительства и строительных материалов,
Набережные Челны, cibes@mail.ru, shi-set@mail.ru, kamilll@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ОБЪЕМНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТРЕХОСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Рассматриваются объемные конечные элементы (ОКЭ) в форме прямоугольных призм. В общем случае сложного сопротивления ОКЭ отличны от нуля все 18 внутренних силовых факторов (ВСФ) – девять сил и девять моментов. Материал ОКЭ – изотропный, поразному сопротивляющийся растяжению и сжатию. Принято, что значения ВСФ известны из решения соответствующей задачи механики деформируемого твердого тела. Коэффициент запаса прочности ОКЭ определяется путем сопоставления известного вектора ВСФ \vec{R}^* с соответствующим искомым вектором прочности \vec{R} в пространстве ВСФ.

Ключевые слова: массивные тела, изотропия, сложное сопротивление, коэффициент запаса прочности, пространство сил и моментов.

Аналогичная, рассматриваемой здесь задаче, проблема для стержней решена в работе [1]. Уравнение поверхности прочности для изотропного материала в пространстве напряжений σ_{ik} ($i, k = \overline{1,3}$) примем в следующем виде:

$$a(\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2) + 2b(\sigma_{11}\sigma_{22} + \sigma_{22}\sigma_{33} + \sigma_{33}\sigma_{11}) + 2c(\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) + d(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2) = 1. \quad (1)$$

С использованием жесткопластической модели деформируемого твердого тела, ассоциированный закон деформирования и гипотез кинематического характера, в работе [2] получены параметрические уравнения поверхности прочности в пространстве ВСФ, которые, если исходить из (1), принимают вид

$$\begin{aligned} T_{11} &= \frac{1}{2a}(I_{11}\dot{e}_{11} + I_{31}\dot{\alpha}_{21} - I_{41}\dot{\alpha}_{31} - 2cA_1); \dots; \\ T_{31} &= \frac{1}{2a}[I_{11}\dot{e}_{31} + 0.5I_{31}(\dot{\alpha}_{11} - \dot{\alpha}_{33}) - 2cA_3]; \\ M_{11} &= \frac{1}{2d}[I_{31}\dot{e}_{31} - I_{41}\dot{e}_{12} + 0.5J_{74}(\dot{\alpha}_{11} - \dot{\alpha}_{33}) - 0.5J_{41}(\dot{\alpha}_{22} - \dot{\alpha}_{11})]; \dots; \\ M_{31} &= -\frac{1}{2a}(I_{31}\dot{e}_{11} + J_{74}\dot{\alpha}_{21} - J_{31}\dot{\alpha}_{31}) + \frac{2c}{9}\tilde{S}_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь интегралы I_{11}, \dots, J_{31} определяются формулами $I_{11} = \int_{A_1} \frac{dA}{\lambda}; \dots; J_{31} = \int_{A_1} \frac{\xi_2 \xi_3 dA}{\lambda}$, где λ ($\dot{e}_{11}, \dots, \dot{\alpha}_{33}$) ≥ 0 – скалярная функция.

В работе [3] построены некоторые сечения поверхности прочности, описываемой уравнениями (2).

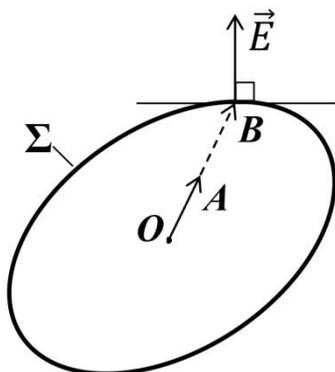


Рис. 1. Σ -схематическая предельная поверхность прочности

Пусть вектор ВСФ $\vec{OA} = \vec{R}^* = \{T_{11}^*, T_{12}^*, T_{13}^*, T_{21}^*, T_{22}^*, T_{23}^*, T_{31}^*, T_{32}^*, T_{33}^*, M_{11}^*, M_{12}^*, M_{13}^*, M_{21}^*, M_{22}^*, M_{23}^*, M_{31}^*, M_{32}^*, M_{33}^*\}^T$ нам известен (рис.1). Необходимо определить соответствующий ему вектор прочности $\vec{OB} = \vec{R} = \{T_{11}, T_{12}, T_{13},$

$T_{21}, T_{22}, T_{23}, T_{31}, T_{32}, T_{33}, M_{11}, M_{12}, M_{13}, M_{21}, M_{22}, M_{23}, M_{31}, M_{32}, M_{33}\}^T$ и определить коэффициент запаса прочности для рассматриваемого ОКЭ

$$k = |\vec{R}|/|\vec{R}^*|. \quad (3)$$

Начала векторов \vec{R}^* и \vec{R} совпадают с началом координат O в пространстве ВСФ (рис.1); эти векторы имеют одинаковые направления. Компоненты коллинеарных векторов \vec{R}^* и \vec{R} удовлетворяют следующим равенствам:

$$\begin{aligned} \frac{T_{11}}{T_{11}^*} = \frac{T_{12}}{T_{12}^*} = \frac{T_{13}}{T_{13}^*} = \frac{T_{21}}{T_{21}^*} = \frac{T_{22}}{T_{22}^*} = \frac{T_{23}}{T_{23}^*} = \frac{T_{31}}{T_{31}^*} = \frac{T_{32}}{T_{32}^*} = \frac{T_{33}}{T_{33}^*} = \\ = \frac{M_{11}}{M_{11}^*} = \frac{M_{12}}{M_{12}^*} = \frac{M_{13}}{M_{13}^*} = \frac{M_{21}}{M_{21}^*} = \frac{M_{22}}{M_{22}^*} = \frac{M_{23}}{M_{23}^*} = \frac{M_{31}}{M_{31}^*} = \frac{M_{32}}{M_{32}^*} = \frac{M_{33}}{M_{33}^*} = k \end{aligned} \quad (4)$$

Используя (4), можно записать следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} T_{12}^* T_{11} - T_{11}^* T_{12} = 0; & \quad T_{13}^* T_{12} - T_{12}^* T_{13} = 0; & \quad T_{21}^* T_{13} - T_{13}^* T_{21} = 0; \\ T_{22}^* T_{21} - T_{21}^* T_{22} = 0; & \quad T_{23}^* T_{22} - T_{22}^* T_{23} = 0; & \quad T_{31}^* T_{23} - T_{23}^* T_{31} = 0; \\ T_{32}^* T_{31} - T_{31}^* T_{32} = 0; & \quad T_{33}^* T_{32} - T_{32}^* T_{33} = 0; & \quad M_{11}^* T_{33} - T_{33}^* M_{11} = 0; \\ M_{12}^* M_{11} - M_{11}^* M_{12} = 0; & \quad M_{13}^* M_{12} - M_{12}^* M_{13} = 0; & \quad M_{21}^* M_{13} - M_{13}^* M_{21} = 0; \\ M_{22}^* M_{21} - M_{21}^* M_{22} = 0; & \quad M_{23}^* M_{22} - M_{22}^* M_{23} = 0; & \quad M_{31}^* M_{23} - M_{23}^* M_{31} = 0; \\ M_{32}^* M_{31} - M_{31}^* M_{32} = 0; & \quad M_{33}^* M_{32} - M_{32}^* M_{33} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставив (2) в (5), получим:

$$\begin{aligned} T_{12}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{11} \dot{e}_{11} + I_{31} \ddot{a}_{21} - I_{41} \ddot{a}_{31} - 2cA_1) \right\} - T_{11}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{12} \dot{e}_{12} + 0.5I_{42} (\ddot{a}_{22} - \ddot{a}_{11}) - 2cA_2] \right\} = 0; \\ T_{13}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{12} \dot{e}_{12} + 0.5I_{42} (\ddot{a}_{22} - \ddot{a}_{11}) - 2cA_2] \right\} - T_{12}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{13} \dot{e}_{31} + 0.5I_{33} (\ddot{a}_{11} - \ddot{a}_{33}) - 2cA_2] \right\} = 0; \\ T_{21}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{13} \dot{e}_{31} + 0.5I_{33} (\ddot{a}_{11} - \ddot{a}_{33}) - 2cA_2] \right\} - T_{13}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{11} \dot{e}_{12} + 0.5I_{41} (\ddot{a}_{22} - \ddot{a}_{11}) - 2cA_3] \right\} = 0; \\ T_{22}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{11} \dot{e}_{12} + 0.5I_{41} (\ddot{a}_{22} - \ddot{a}_{11}) - 2cA_3] \right\} - T_{21}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{12} \dot{e}_{22} + I_{22} \ddot{a}_{32} - I_{42} \ddot{a}_{12} - 2cA_2) \right\} = 0; \\ T_{23}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{12} \dot{e}_{22} + I_{22} \ddot{a}_{32} - I_{42} \ddot{a}_{12} - 2cA_2) \right\} - T_{22}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{13} \dot{e}_{23} + 0.5I_{23} (\ddot{a}_{33} - \ddot{a}_{22}) - 2cA_1] \right\} = 0; \\ T_{31}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{13} \dot{e}_{23} + 0.5I_{23} (\ddot{a}_{33} - \ddot{a}_{22}) - 2cA_1] \right\} - T_{23}^* \left\{ [I_{11} \dot{e}_{31} + 0.5I_{31} (\ddot{a}_{11} - \ddot{a}_{33}) - 2cA_3] \right\} = 0; \\ T_{32}^* \left\{ [I_{11} \dot{e}_{31} + 0.5I_{31} (\ddot{a}_{11} - \ddot{a}_{33}) - 2cA_3]; \right\} - T_{31}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{12} \dot{e}_{23} + 0.5I_{22} (\ddot{a}_{33} - \ddot{a}_{22}) - 2cA_1] \right\} = 0; \\ T_{33}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{12} \dot{e}_{23} + 0.5I_{22} (\ddot{a}_{33} - \ddot{a}_{22}) - 2cA_1] \right\} - T_{32}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{13} \dot{e}_{33} - I_{23} \ddot{a}_{23} + I_{33} \ddot{a}_{13} - 2cA_3) \right\} = 0; \\ M_{11}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{13} \dot{e}_{33} - I_{23} \ddot{a}_{23} + I_{33} \ddot{a}_{13} - 2cA_3) \right\} \\ - T_{33}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{31} \dot{e}_{31} - I_{41} \dot{e}_{12} + 0.5J_{74} (\ddot{a}_{11} - \ddot{a}_{33}) - 0.5J_{41} (\ddot{a}_{22} - \ddot{a}_{11})] \right\} = 0; \\ M_{12}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{31} \dot{e}_{31} - I_{41} \dot{e}_{12} + 0.5J_{74} (\ddot{a}_{11} - \ddot{a}_{33}) - 0.5J_{41} (\ddot{a}_{22} - \ddot{a}_{11})] \right\} \\ - M_{11}^* \left\{ -\frac{1}{2a} (I_{42} \dot{e}_{22} + J_{42} \ddot{a}_{32} - J_{85} \ddot{a}_{12}) + \frac{2c}{9} \tilde{S}_2 \right\} = 0; \\ M_{13}^* \left\{ -\frac{1}{2a} (I_{42} \dot{e}_{22} + J_{42} \ddot{a}_{32} - J_{85} \ddot{a}_{12}) + \frac{2c}{9} \tilde{S}_2 \right\} - M_{12}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{33} \dot{e}_{33} - J_{23} \ddot{a}_{23} + J_{33} \ddot{a}_{13}) - \frac{2c}{9} \tilde{S}_3 \right\} = 0; \\ M_{21}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{33} \dot{e}_{33} - J_{23} \ddot{a}_{23} + J_{33} \ddot{a}_{13}) - \frac{2c}{9} \tilde{S}_3 \right\} - M_{13}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{41} \dot{e}_{11} + J_{31} \ddot{a}_{21} - J_{41} \ddot{a}_{31}) - \frac{2c}{9} \tilde{S}_1 \right\} = 0; \\ M_{22}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{41} \dot{e}_{11} + J_{31} \ddot{a}_{21} - J_{41} \ddot{a}_{31}) - \frac{2c}{9} \tilde{S}_1 \right\} \\ - M_{21}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{42} \dot{e}_{12} - I_{22} \dot{e}_{23} + 0.5J_{85} (\ddot{a}_{22} - \ddot{a}_{11}) - 0.5J_{22} (\ddot{a}_{33} - \ddot{a}_{22})] \right\} = 0; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 & M_{23}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{42} \dot{e}_{12} - I_{22} \dot{e}_{23} + 0.5J_{85}(\ddot{x}_{22} - \ddot{x}_{11}) - 0.5J_{22}(\ddot{x}_{33} - \ddot{x}_{22})] \right\} \\
 & \quad - M_{22}^* \left\{ -\frac{1}{2a} (I_{23} \dot{e}_{33} - J_{66} \ddot{x}_{23} + J_{23} \ddot{x}_{13}) + \frac{2c}{9} \tilde{S}_3 \right\} = 0; \\
 & M_{31}^* \left\{ -\frac{1}{2a} (I_{23} \dot{e}_{33} - J_{66} \ddot{x}_{23} + J_{23} \ddot{x}_{13}) + \frac{2c}{9} \tilde{S}_3 \right\} - M_{23}^* \left\{ -\frac{1}{2a} (I_{31} \dot{e}_{11} + J_{74} \ddot{x}_{21} - J_{31} \ddot{x}_{31}) + \frac{2c}{9} \tilde{S}_1 \right\} = 0; \\
 & M_{32}^* \left\{ -\frac{1}{2a} (I_{31} \dot{e}_{11} + J_{74} \ddot{x}_{21} - J_{31} \ddot{x}_{31}) + \frac{2c}{9} \tilde{S}_1 \right\} - M_{31}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{22} \dot{e}_{22} + J_{22} \ddot{x}_{32} - J_{42} \ddot{x}_{12}) - \frac{2c}{9} \tilde{S}_2 \right\} = 0; \\
 & M_{33}^* \left\{ \frac{1}{2a} (I_{22} \dot{e}_{22} + J_{22} \ddot{x}_{32} - J_{42} \ddot{x}_{12}) - \frac{2c}{9} \tilde{S}_2 \right\} \\
 & \quad - M_{32}^* \left\{ \frac{1}{2d} [I_{23} \dot{e}_{23} - I_{33} \dot{e}_{31} + 0.5J_{66}(\ddot{x}_{33} - \ddot{x}_{22}) - 0.5J_{33}(\ddot{x}_{11} - \ddot{x}_{33})] \right\} = 0.
 \end{aligned}$$

Так как в рассматриваемом здесь случае существенное значение имеет только направление вектора $\vec{E} = \{\dot{e}_{11}, \dot{e}_{22}, \dot{e}_{33}, \dot{\gamma}_{12}, \dot{\gamma}_{23}, \dot{\gamma}_{31}, \ddot{x}_{11}, \ddot{x}_{12}, \ddot{x}_{13}, \ddot{x}_{21}, \ddot{x}_{22}, \ddot{x}_{23}, \ddot{x}_{31}, \ddot{x}_{32}, \ddot{x}_{33}\}^T$ (рис.1), который связан ассоциированным законом с искомым вектором прочности \vec{R} , а длина вектора \vec{E} может быть произвольной, в качестве дополнительного к системе (6) примем уравнение.

$$\begin{aligned}
 & \dot{e}_{11}^2 + \dot{e}_{22}^2 + \dot{e}_{33}^2 + \dot{\gamma}_{12}^2 + \dot{\gamma}_{21}^2 + \dot{\gamma}_{31}^2 + \ddot{x}_{11}^2 + \ddot{x}_{12}^2 + \\
 & + \ddot{x}_{13}^2 + \ddot{x}_{21}^2 + \ddot{x}_{22}^2 + \ddot{x}_{23}^2 + \ddot{x}_{31}^2 + \ddot{x}_{32}^2 + \ddot{x}_{33}^2 = 1.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Алгоритм определения коэффициента запаса прочности ОКЭ:

1. Определить вектор ВСФ $\vec{R}^* = \{T_{11}^*, T_{12}^*, T_{13}^*, T_{21}^*, T_{22}^*, T_{23}^*, T_{31}^*, T_{32}^*, T_{33}^*, M_{11}^*, M_{12}^*, M_{13}^*, M_{21}^*, M_{22}^*, M_{23}^*, M_{31}^*, M_{32}^*, M_{33}^*\}^T$ в рассматриваемом элементе массивного тела как результат решения соответствующей краевой задачи.

2. Решая систему уравнений (6), (7) относительно $\dot{e}_{11}, \dot{e}_{22}, \dot{e}_{33}, \dot{\gamma}_{12}, \dot{\gamma}_{23}, \dot{\gamma}_{31}, \ddot{x}_{11}, \ddot{x}_{12}, \ddot{x}_{13}, \ddot{x}_{21}, \ddot{x}_{22}, \ddot{x}_{23}, \ddot{x}_{31}, \ddot{x}_{32}, \ddot{x}_{33}$, найти вектор \vec{E} , связанный с вектором прочности \vec{R} ассоциированным законом.

3. Подставляя найденные в п.2 компоненты вектора \vec{E} в уравнения (2), определить компоненты вектора прочности $\vec{R} = \{T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{21}, T_{22}, T_{23}, T_{31}, T_{32}, T_{33}, M_{11}, M_{12}, M_{13}, M_{21}, M_{22}, M_{23}, M_{31}, M_{32}, M_{33}\}^T$.

4. Проверить выполнение условий (4).

5. По формуле (3) определить коэффициент запаса прочности для рассматриваемого ОКЭ.

Некоторые результаты расчетов. Рассмотрим ОКЭ в виде куба с единичными размерами. Прочностные свойства материала куба описываются уравнением:

$$\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2 + 3(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2) = 1. \tag{8}$$

Здесь напряжения отнесены к характерной величине σ_0 , имеющей размерность напряжений. В таблице 1 приведены некоторые результаты, полученные с использованием программы для ЭВМ, составленной на основе вышеописанного алгоритма. Не приведенные в таблице столбцы сплошь состоят из нулей.

Таблица 1 - Коэффициент запаса при различных ВСФ

№	$\frac{T_{11}}{T_{11}^*}$	$\frac{T_{12}}{T_{12}^*}$	$\frac{T_{22}}{T_{22}^*}$	$\frac{T_{23}}{T_{23}^*}$	$\frac{T_{31}}{T_{31}^*}$	$\frac{T_{33}}{T_{33}^*}$	$\frac{M_{11}}{M_{11}^*}$	$\frac{M_{12}}{M_{12}^*}$	$\frac{M_{13}}{M_{13}^*}$	$\frac{M_{21}}{M_{21}^*}$	$\frac{M_{22}}{M_{22}^*}$	$\frac{M_{23}}{M_{23}^*}$	$\frac{M_{13}}{M_{13}^*}$	$\frac{M_{32}}{M_{32}^*}$	$\frac{M_{33}}{M_{33}^*}$	k
	1.00	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	1.00	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.05
2	0	0	0	0	0	0	0.22	0.163	0	0	0	0	0	0	0	1.35
3	0.577	0.320	0	0.577	0.320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8
4	0	0.233	0.116	0	0.233	0.116	0.233	0.116	0	0	0	0	0.093	0.046	0.093	2.0

Заключение и выводы. Предлагаемая нами методика проверки прочности изотропных ОКЭ имеет, на наш взгляд, следующие достоинства:

1. Исключается обратный переход в пространство напряжений σ_{ik} из пространства ВСФ с целью проверки прочности в отдельной точке массивного тела.

2. Все копоненты ВСФ на равных правах участвуют в процессе проверки прочности.

3. Отношение $|\vec{R}|/|\vec{R}^*|$ ближе к реальности оценивает запас прочности элемента конструкции, чем отношение $|\sigma_u|/\max|\sigma_{\text{экв}}|$ [4]. Здесь σ_u – опасное для материала напряжение, $\sigma_{\text{экв}}$ – эквивалентное напряжение по той или иной теории прочности.

4. Процесс проверки прочности массивного тела становится более обозримой, так как вместо проверки прочности в отдельных точках тела проверяется прочность ограниченного числа ОКЭ.

Предлагаемая методика проверки прочности ОКЭ расширяет область применения уравнений (2); можно предположить, что она найдет применение в практике расчетов и проектирования различных сооружений.

Список литературы

1. Сибгатуллин К.Э., Сибгатуллин Э.С. Определение коэффициента запаса несущей способности анизотропных брусьев в общем случае их сложного сопротивления // *Фундаментальные исследования*. – 2015. - №11. – Часть 1. – С. 105-109.
2. Сибгатуллин Э.С., Новоселов О.Г., Сибгатуллин К.Э. Предельное состояние объемных конечных элементов при трехосных напряженных состояниях // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2015. №3.- С. 54-58.
3. Сибгатуллин Э.С., Новоселов О.Г., Сибгатуллин К.Э. Построение сечений предельных поверхностей прочности для объемных конечных элементов при трехосном напряженном состоянии // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2015. №5.- С. 36-38.
4. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974. 312 с.

01.01.06

В.Л. Усольцев к. ф.-м. н.

Волгоградский государственный социально-педагогический университет, факультет математики, информатики и физики, кафедра информатики и информатизации образования, Волгоград, usl2004@mail.ru

О РЕШЕТКАХ КОНГРУЭНЦИЙ АЛГЕБР С ОДНИМ ОПЕРАТОРОМ И ОСНОВНОЙ ОПЕРАЦИЕЙ ПОЧТИ ЕДИНОГЛАСИЯ

Описаны простые алгебры в классе алгебр с одним оператором и основной операцией почти единогласия, заданной специальным образом. Получены необходимые и достаточные условия совпадения решеток конгруэнций алгебр из данного класса и унарных редуктов этих алгебр.

Ключевые слова: *алгебра с операторами, решетка конгруэнций, простая алгебра, операция почти единогласия.*

Алгеброй с операторами называется универсальная алгебра с дополнительной системой операторов – унарных операций, действующих как эндоморфизмы относительно основных операций.

Если f – унарная операция из сигнатуры Ω , то унарным редуктом алгебры $\langle A, \Omega \rangle$ называется унар $\langle A, f \rangle$. Поскольку любая конгруэнция алгебры $\langle A, \Omega \rangle$ всегда является конгруэнцией ее унарного редукта, то представляют интерес условия, при которых каждая конгруэнция унара $\langle A, f \rangle$ будет конгруэнцией алгебры $\langle A, \Omega \rangle$. Важной задачей в универсальной алгебре также является описание простых алгебр в различных классах. Простой называется неоднородная алгебра, имеющая только тривиальные конгруэнции.

Цель работы – получить необходимые и достаточные условия совпадения решеток конгруэнций алгебр с оператором и их унарных редуктов в классе алгебр $\langle A, g^{(n)}, f \rangle$ с оператором f и основной n -арной операцией почти единогласия $g^{(n)}$, заданной специальным образом, а также описать простые алгебры в данном классе.

Операцией почти единогласия (near-unanimity operation) называется операция φ , удовлетворяющая тождествам

$$\varphi(x, \dots, x, y) = \varphi(x, \dots, x, y, x) = \dots = \varphi(y, x, \dots, x) = x.$$

В тернарном случае такую операцию называют операцией большинства. Алгебрам с тернарной операцией почти единогласия уделяется много внимания в современной универсальной алгебре (см., напр., [1]) и теоретической информатике [2].

Пусть $d(x_1, x_2, x_3)$ – операция большинства на непустом множестве A . Определим на A семейство n -арных операций $h^{(n)}$ по правилу: $h^{(3)}(x_1, x_2, x_3) = d(x_1, x_2, x_3)$ и $h^{(n)}(x_1, x_2, \dots, x_n) = d(h^{(n-1)}(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}), x_n)$ для всех $n > 3$. С помощью индукции по n получаем следующее предложение.

Предложение 1. *Определенные выше операции $h^{(n)}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ являются операциями почти единогласия для всех $n > 2$.*

В [3] показано, что на любом унаре $\langle A, f \rangle$ можно так определить операцию большинства $m(x, y, z)$, что алгебра $\langle A, m, f \rangle$ становится алгеброй с оператором f . Там же дано полное описание простых и строго простых алгебр $\langle A, m, f \rangle$.

Операция $m(x, y, z)$ определяется следующим образом. Пусть $\langle A, f \rangle$ – произвольный унар и $x, y \in A$. Для любого элемента z унара $\langle A, f \rangle$ через $f^n(z)$ обозначается результат n -кратного применения операции f к элементу z ; $f^0(z) = z$. Положим $M_{x,y} = \{n \in \mathbb{N} \cup \{0\} \mid f^n(x) = f^n(y)\}$, а также $k(x, y) = \min M_{x,y}$, если $M_{x,y} \neq \emptyset$, и $k(x, y) = \infty$, если $M_{x,y} = \emptyset$. Положим далее

$$m(x, y, z) = \begin{cases} z, & \text{если } k(x, y) \geq k(y, z) \\ x, & \text{если } k(x, y) < k(y, z) \end{cases} \quad (1)$$

Данная конструкция восходит к предложенной в [4]. Определим на унаре $\langle A, f \rangle$ для $n \geq 3$

семейство n -арных операций $g^{(n)}$ по правилу:

$$g^{(3)}(x_1, x_2, x_3) = m(x_1, x_2, x_3), \quad g^{(n)}(x_1, x_2, \dots, x_n) = m(g^{(n-1)}(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}), x_{n-1}, x_n). \quad (2)$$

По предложению 1, $g^{(n)}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ является операцией почти единогласия. Индукцией по n получаем, что операции $g^{(n)}$ и f перестановочны на A , то есть, алгебра $\langle A, g^{(n)}, f \rangle$ является алгеброй с оператором f . В дальнейшем подразумевается, что операция $g^{(n)}$ определена по правилу (2).

Введем основные определения и обозначения. Через $Con A$ обозначается решетка конгруэнций алгебры A , через Δ_A – отношение равенства на A . Для любых целых $n > 0, s \geq 0$ положим $C_n^s = \langle a \mid f^s(a) = f^{n+s}(a) \rangle$, где a – порождающий элемент унара $\langle A, f \rangle$. Унар C_n^0 называется циклом длины n . Через F_1 обозначается свободный однопорожденный унар, через C_n^∞ – объединение возрастающей последовательности унаров $C_n^s \subseteq C_n^t \subseteq \dots$. Под суммой $A+B$ понимается объединение непересекающихся унаров A и B . Элемент a унара назовем узловым, если найдутся такие несовпадающие элементы b и c , отличные от a , что $f(b) = a = f(c)$. Унар, порожденный элементом a , обозначим через $\langle a \rangle$. Пусть B – подунар произвольного унара $\langle A, f \rangle$. Через θ_B обозначается конгруэнция унара $\langle A, f \rangle$, определенная по правилу: условие $x\theta_B y$ для $x, y \in A$ выполняется тогда и только тогда, когда либо $x=y$, либо $x, y \in B$. Через $t(a)$ обозначается глубина элемента a унара $\langle A, f \rangle$. Другие определения и обозначения см. в [5].

Предложение 2. Пусть $\langle A, \Omega \rangle$ – произвольная алгебра с оператором $f \in \Omega$. Если $\langle A, f \rangle$ – один из унаров следующего вида: C_p^0 , где p – простое число; $C_1^0 + C_1^0$; C_1^t , где $t \in \mathbb{N} \cup \{0\} \cup \{\infty\}$, то каждая конгруэнция унара $\langle A, f \rangle$ является конгруэнцией алгебры $\langle A, \Omega \rangle$.

Доказательство. Для первых двух видов унаров утверждение очевидно, так как они являются простыми. Справедливость утверждения для унаров третьего вида следует из предложения 3[5].

Следующая лемма вытекает из определения коэффициента $k(x, y)$.

Лемма 1. Пусть B – подмножество носителя унара $\langle A, f \rangle$, и операция f инъективна на B . Тогда $k(x, y) = \infty$ для всех $x, y \in B$, где $x \neq y$.

Лемма 2. Если операция f на неодноэлементном унаре $\langle A, f \rangle$ инъективна, то алгебра $\langle A, g^{(n)}, f \rangle$ является простой.

Доказательство. Пусть θ – нетривиальная конгруэнция унара $\langle A, f \rangle$. Тогда $b\theta c, b \neq c$ и $(a, b) \notin \theta$ для некоторых $b, c, a \in A$. Для упорядоченной n -ки (b, b, \dots, b, c, a) , где первые $n-2$ элемента равны b , с учетом (1), (2) и леммы 1 имеем $g^{(n)}(b, b, \dots, b, c, a) = m(g^{(n-1)}(b, b, \dots, b, c), c, a) = m(b, c, a) = a$. Тогда, поскольку $g^{(n)}(b, b, \dots, b, b, a) = b$, то $\theta \notin Con \langle A, g^{(n)}, f \rangle$.

Теорема 1. Пусть $\langle A, g^{(n)}, f \rangle$ – алгебра с оператором f и операцией почти единогласия $g^{(n)}(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определенной по правилу (2). Каждая конгруэнция унара $\langle A, f \rangle$ является конгруэнцией алгебры $\langle A, g^{(n)}, f \rangle$ тогда и только тогда, когда $\langle A, f \rangle$ – один из унаров следующего вида: 1) C_p^0 , где p – простое число; 2) $C_1^0 + C_1^0$; 3) C_1^t , где $t \in \mathbb{N} \cup \{0\} \cup \{\infty\}$.

Доказательство. Достаточность следует из предложения 2. Докажем необходимость. Пусть $\langle A, f \rangle$ – унар, неизоморфный ни одному из перечисленных в условии теоремы. Достаточно указать такую его конгруэнцию, которая не стабильна относительно операции $g^{(n)}$.

Допустим сначала, что унар $\langle A, f \rangle$ не содержит циклов. Тогда он имеет подунар B , изоморфный F_1 . Последнее означает, что B имеет нетривиальную конгруэнцию θ . Так как операция f инъективна на B , то по лемме 2, алгебра $\langle B, g^{(n)}, f \rangle$ проста, то есть, отношение θ не стабильно относительно операции $g^{(n)}$, что влечет отсутствие стабильности относительно $g^{(n)}$ и для конгруэнции $\theta \cup \Delta_A$ унара $\langle A, f \rangle$.

Пусть теперь $\langle A, f \rangle$ содержит подунар B , изоморфный C_s^0 , где $s \in \mathbb{N}$.

Пусть $s > 1$. Если $B=A$, то, по условию, число s – составное. Отсюда, подунар B имеет нетривиальную конгруэнцию. Поскольку B – цикл, то операция f на нем инъективна. Дальнейшие рассуждения аналогичны проведенным выше.

Пусть $B \neq A$. Тогда найдется элемент $a \in A \setminus B$. Поскольку $s > 1$, то $b\theta_B c$ для некоторых

$b, c \in B, b \neq c$. По лемме 1, $k(b, c) = \infty$. Отсюда, $g^{(n)}(b, b, \dots, b, c, a) = m(g^{(n-1)}(b, b, \dots, b, c), c, a) = m(b, c, a) = a$, а из предложения 1 получаем, что $g^{(n)}(b, b, \dots, b, b, a) = b$. При этом, поскольку $(a, b) \notin \theta_B$, то $(g^{(n)}(b, b, \dots, b, c, a), g^{(n)}(b, b, \dots, b, b, a)) \notin \theta_B$, откуда $\theta_B \notin \text{Con} \langle A, g^{(n)}, f \rangle$.

Пусть $s=1$. Рассмотрим случай, когда унар $\langle A, f \rangle$ имеет более одного одноэлементного подунара. Тогда он содержит подунар $D = \{b, c\}$, где $f(b) = b, f(c) = c, b \theta_D c$, который по условию является собственным. Отсюда, найдется элемент $a \in A \setminus D$. Так как элементы b и c лежат в разных компонентах связности, то $k(b, c) = \infty$. Отсюда, как и выше, получаем, что $(a, b) = (g^{(n)}(b, b, \dots, b, c, a), g^{(n)}(b, b, \dots, b, b, a)) \notin \theta_D$, то есть, $\theta_D \notin \text{Con} \langle A, g^{(n)}, f \rangle$.

Пусть теперь $\langle A, f \rangle$ имеет единственный одноэлементный подунар. Предположим, что унар $\langle A, f \rangle$ – связный. По условию, он не изоморфен $C_1^t, t \in \{0\} \cup \mathbb{N} \cup \{\infty\}$ и, следовательно, имеет узловой элемент a . Тогда найдутся такие отличные от a элементы $b, c \in A$, что $b \neq c, f(b) = a, f(c) = a$. Отсюда, $a \in \langle b \rangle, c \notin \langle b \rangle$, что влечет $a \theta_{\langle b \rangle} b$ и $(c, b) \notin \theta_{\langle b \rangle}$. Подунар $\langle b \rangle$ изоморфен $C_1^{t(b)}$. Тогда, по следствию 2 из леммы 10[5], $k(b, a) = t(b)$. Аналогично, $k(a, c) = t(c)$. Так как $f(b) = a = f(c), t(b) > 0, t(c) > 0$, то $t(b) = t(c)$. Отсюда, с учетом (1), $g^{(n)}(b, b, \dots, b, a, c) = m(g^{(n-1)}(b, b, \dots, b, a), a, c) = m(b, a, c) = c$, а по предложению 1, $g^{(n)}(b, b, \dots, b, b, c) = b$. Таким образом, $\theta_{\langle b \rangle} \notin \text{Con} \langle A, g^{(n)}, f \rangle$.

Предположение о несвязности унара $\langle A, f \rangle$ приводит к одному из рассмотренных выше случаев, так как по условию, одноэлементный подунар может содержаться только в одной компоненте связности, и, следовательно, другие компоненты содержат либо неодноэлементный цикл, либо подунар, изоморфный F_1 .

Лемма 3. Если унар $\langle A, f \rangle$ содержит такой элемент a , что $f(x) = a$ для любого $x \in A$, то неодноэлементная алгебра $\langle A, g^{(n)}, f \rangle$ является простой.

Доказательство. При $|A|=2$ утверждение очевидно. Пусть $|A| > 2$ и θ – нетривиальная конгруэнция унара $\langle A, f \rangle$. Тогда найдутся такие $b, c, d \in A$, что $b \theta c, b \neq c$ и $(b, d) \notin \theta$. Так как $f(b) = f(c) = f(d) = a$, то $k(b, c) = 1 = k(c, d)$. Отсюда, с учетом (1), $g^{(n)}(b, b, \dots, b, c, d) = m(g^{(n-1)}(b, b, \dots, b, c), c, d) = m(b, c, d) = d$, а по предложению 1, $g^{(n)}(b, b, \dots, b, b, d) = b$. Таким образом, $\theta \notin \text{Con} \langle A, g^{(n)}, f \rangle$.

Теорема 2. Неодноэлементная алгебра $\langle A, g^{(n)}, f \rangle$ с оператором f и операцией почти единогласия $g^{(n)}$, определенной по правилу (2), является простой тогда и только тогда, когда либо операция f инъективна, либо унар $\langle A, f \rangle$ содержит такой элемент a , что $f(x) = a$ для любого $x \in A$.

Доказательство. Достаточность следует из лемм 2 и 3, необходимость – из предложения 2[5].

Список литературы

1. Marković P., McKenzie R. Few subpowers, congruence distributivity and near-unanimity terms // Algebra Universalis. 2008. Vol. 58. P. 119-128.
2. Jeavons P., Cohen D., Cooper M. Constraints, consistency and closure // Artificial Intelligence. 1998. Vol. 101. P. 251-265.
3. Усольцев В.Л. О строго простых тернарных алгебрах с операторами // Чебышевский сб. 2013. Т. 14. Вып. 4. С. 196-204.
4. Карташов В.К. Об унарах с мальцевской операцией // Универсальная алгебра и ее приложения: Тез. докл. межд. семинара, посв. памяти проф. МГУ Л.А. Скорнякова. Волгоград: Перемена, 1999. С. 31-32.
5. Усольцев В.Л. Простые и псевдопростые алгебры с операторами // Фунд. и прикл. математика. 2008. Т. 14. Вып. 7. С. 189-207.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.02

Е.В. Волосова, Е.В. Пашкова, А.Н. Шипуля, Ю.А. Безгина

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет,
факультет экологии и ландшафтной архитектуры, кафедра химии и защиты растений,
Ставрополь, volosova_elena@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ХИМИЧЕСКИ ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ В ИХ СТРУКТУРУ ФЕРМЕНТАМИ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В работе представлены результаты изучения процессов химической иммобилизации протеолитических ферментов на примере трипсина в структуру биополимерных материалов и возможности определения удельной активности физико-химическими методами.

Ключевые слова: *биополимерные материалы, химическая иммобилизация, активность.*

Современные тенденции при конструировании композиционных биоматериалов, как основы для химической иммобилизации, состоят в придании им ряда важных свойств: способность подвергаться биоразложению, низкий уровень неспецифических взаимодействий с примесями и биологически активными веществами; механическая стабильность, наличие функциональных групп, пригодных для селективной химической модификации; экологическая безопасность процесса получения [1].

Химические методы иммобилизации ферментов в настоящее время являются доминирующим способом получения гетерогенных биокатализаторов. В работе [2] выявлено, что наиболее предпочтительным носителем является анионообменная смола АВ-17-2П. Оптимальным методом иммобилизации является модифицированный глутаральдегидный способ ковалентного связывания фермента с носителем, заключающийся в процессе наращивания связывающего звена между ферментом и анионитом при обработке рядом органических реагентов.

Мирзарахметовой Д.Т. с соавт. [3] проведена ковалентная иммобилизация дрожжевой инвертазы с помощью глутарового альдегида на активированном угле, предварительно модифицированном обработкой мочевиной и диметилформамидом. Изучены некоторые физико-химические свойства иммобилизованного и растворимого фермента в водной и в водно-органической средах. Оптимальные условия для проявления гидролитической и трансферазной активностей иммобилизованной инвертазы – рН 6,0 и 7,0 соответственно, при температуре 30 °С.

Морозова О.В. с соавт. [4] исследовали адсорбцию некоторых протеолитических ферментов (бычьего L-химотрипсина, субтимезина и свиного пепсина) на неорганических носителях (силохром С-80 и С-120, макропористое стекло, целит 535). Способность ферментов сорбироваться на носителе зависела от удельной поверхности носителя и свойств самого фермента. Наилучшая адсорбция наблюдалась для катионного фермента L-химотрипсина (рН 8,2) 270 мг (9,6 мкмоль) фермента на 1 г силохрома. Для субтилизина (рН 8,15) максимальная адсорбционная емкость силохрома С-80 составила 100 мг (3,5 мкмоль) на 1 г силохрома.

Данная работа посвящена химической иммобилизации фермента трипсина в пленочные полимерные материалы на основе полисахаридов и новому способу исследования удельной активности фермента физико-химическими методами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе использовали раствор протеолитического фермента класса гидролаз трипсина с относительной молекулярной массой 21000 (производитель ФГУП НПО «Микроген»).

Определение протеолитической активности трипсина основано на количественном определении тирозина в продуктах расщепления казеина [5]. Для этого готовили 1 %-ный раствор казеина в 0,05 М ацетате натрия. К 1 мл полученного раствора казеина добавляли 1,5 мл фосфатного буфера (рН = 8,0), 0,5 мл раствора трипсина (10 мг трипсина в 100 мл 0,005М HCl). Пробу термостатировали при 37°C в течение 20 минут, вносили 3 мл 10 % трихлоруксусной кислоты (ТХУ). В качестве контроля использовали пробу аналогичную опытной, но ТХУ добавляли предварительно. Осадок отделяли фильтрованием.

Оптическую плотность измеряли в пробе против контроля в кювете с толщиной слоя 1 см при длине волны 260 и 280 нм. Затем, исходя из оптической плотности, определяли количество тирозина в растворе и рассчитывали удельную активность фермента [6]. Количественное определение белка проводили по методу О. Warburg и W. Christian сравнением поглощения белков при 280 и 260 нм на спектрофотометре СФ-46 [7]. Концентрацию белка вычисляли по формуле:

$$C = 1,55 A_{280} - 0,76 A_{260}, \text{ где}$$

A_{260} и A_{280} – показатели поглощения при длине волны λ ;

1,55 и 0,76 – постоянные коэффициенты.

Способ получения композиций, подвергающихся биодеструкции, представлен в работе [8] и состоит в следующем. Для получения 3-5 % раствора метилцеллюлозу (МЦ) вносили в воду температурой 50÷60 °С (для замедления гелеобразования) и выдерживали 1,5÷2 часа. Для исключения образования пузырьков воздуха в 5 % растворе МЦ необходимо выдерживание полученного раствора при температуре 8÷10 °С в течение 12-15 часов. В полученный коллоидный гель МЦ вводили реагент для модификации реологических характеристик (желатин в концентрации 3 - 8 масс. %) и пластификатор (глицерин в концентрации 0,5 - 1 масс. %), затем перемешивали до однородного состояния. Полученную композицию наносили на гладкую стеклянную поверхность желаемой формы толщиной от 1 до 3 мм и оставляли на воздухе при температуре 20÷22 °С на 2-3 суток до полного высыхания [9]. Анализ физико-химических свойств полученных пленок предполагал исследование спектров поглощения в УФ - области, предела прочности, влагоёмкости. Данные характеристики могут позволить расширить область применения синтезированных пленочных материалов [10]. Полученные данные представлены на рисунке 1.

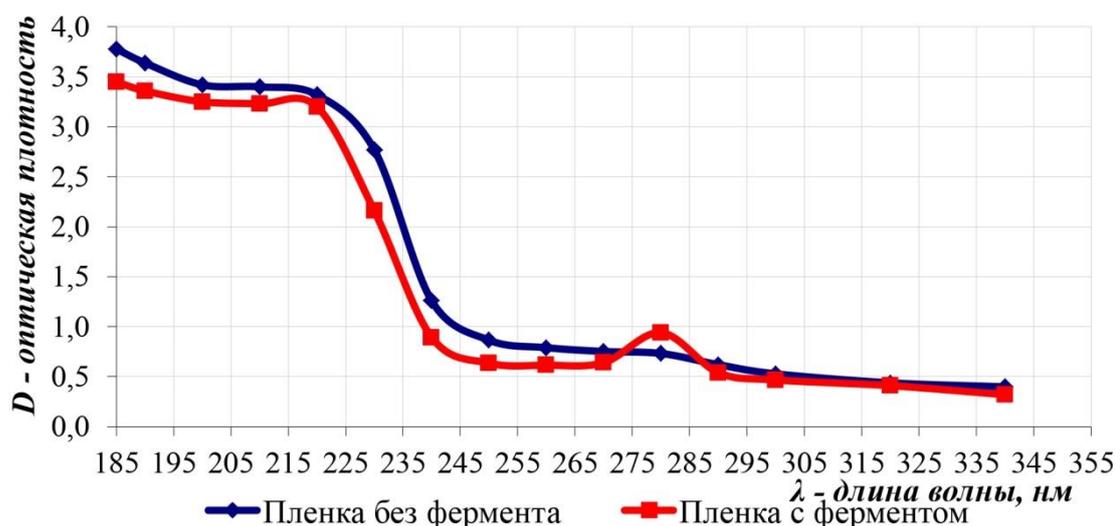


Рис. 1 - Влияние содержания фермента трипсина на оптические свойства пленки на основе МЦ, желатина, глицерина

Из рисунка 1 следует, что увеличение массовой доли вводимого пластификатора способствует увеличению поглощения в УФ - области.

Данные сравнительного анализа спектров поглощения в УФ - области разработанных и традиционных пленочных материалов свидетельствуют о повышении барьера поглощения, что может быть связано с повышением плотности упаковки в аморфных областях МЦ за счет

модификации структуры молекулами глицерина и желатина. Модификация МЦ молекулами желатина может осуществляться путем ковалентного связывания боковых аминокислотных остатков полипептидных цепей последнего с функциональными группами МЦ. Появление дополнительного пика поглощения при длине волны 280 нм связано с присутствием фермента трипсина в структуре пленки. Этот факт может быть использован для определения содержания фермента в структуре пленки. [8].

Таким образом, можно заключить, что полученные биополимерные материалы с химически иммобилизованным ферментом трипсином отличаются гидрофильностью, эластичностью, прозрачностью и способностью к деградации путем гидролиза основных связей макромолекул основы при взаимодействии с физиологической средой. Это позволяет получить ферментный препарат пролонгированного действия, который может найти применение в медицине и косметологии.

Список литературы

1. Новиченко А.Н., Новикова Т.П., Зеленко И.Н., Мазолевский Д.М., Бондаренко А.П. Применение новых отечественных раневых покрытий для местного лечения ожоговых ран // Скорая медицинская помощь. - 2006. - № 3. - С. 127-128.
2. Ковалева Т.А., Кожокина О.М., Багно О.П., Трофимова О.Д., Беленова А.С. Иммобилизация гидролитических ферментов на анионитах // Сорбционные и хроматографические процессы. - 2008. - Т. 8. № 6. – С. 1035-1041.
3. Мирзарахметова Д.Т., Дехконов Д. Б., Рахимов М.М. Свойства инвертазы, ковалентно иммобилизованной на активированном угле // Прикладная биохимия и микробиология. - 2009. - Т. 45. № 3. - С. 287-291.
4. Морозова О.В., Воюшина Т.Л., Степанов В.М. О взаимодействии с носителями протеолитических ферментов, используемых для энзиматического синтеза пептидов в органических растворителях // Прикладная биохимия и микробиология. - 1994. - Т. 30. № 6. - С. 786-793.
5. Алейникова Т.Л., Рубцова Г.В. Руководство к практическим занятиям по биологической химии. М.: Изд-во Высшая школа, 1988. - С. 44-69.
6. Волосова Е.В. Стабилизация биологически активных соединений методом включения их в структуру природных биоразлагаемых полимерных материалов: дис. канд. биол. наук. – Ставрополь, 2011. – С. 134.
7. Дарбре А. Практическая химия белка: пер. с англ. М: Мир, 1989. – С. 22–23.
8. Воробьева О.В., Иванова А.М., Аванесян С.С., Волосова Е.В., Андрусенко С.Ф. Модификация природных полимеров для синтеза материалов подвергающихся биодegradации // Химия в интересах устойчивого развития. - 2011. - №19. - С. 137-140.
9. Аванесян С.С., Андрусенко С.Ф., Волосова Е.В., Воробьева О.В., Каданова А.А. Способ получения композиций, подвергающихся биодеструкции на основе простого эфира целлюлозы // Патент России № 2395540 С 2. 2010, Бюл. № 21.
10. Аванесян С.С., Андрусенко С.Ф., Воробьева О.В., Иванова А.М., Волосова Е.В., Каданова А.А., Филь А.А. Пленка для «авоськи» // Экология и жизнь. - 2009. - № 10. - С. 30-32.

02.00.06

И.В. Макарова, А.И. Легаев

Бийский технологический институт (филиал)

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (БТИ АлтГТУ), факультет химической технологии и машиностроения, кафедра машины и аппараты химических и пищевых производств, Бийск, inna-makarova.91@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТУПЕНЧАТОЙ ЭКСТРАКЦИИ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ Na-КМЦ

Данная статья посвящена математическому описанию процесса экстракции примесей из технической Na-КМЦ. Разработана математическая модель процесса экстракции примесей из технической Na-КМЦ. Приведенная модель позволяет с учетом основных закономерностей процесса выбрать оптимальные технологические режимы получения очищенной Na-КМЦ.

Ключевые слова: *карбоксиметилцеллюлоза, математическая модель, экстракция, изопропиловый спирт.*

Натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы представляет собой простой эфир целлюлозы и гликолевой кислоты. Благодаря своим стабилизирующим, загущающим и плёнкообразующим действиям она находит широкое применение в пищевой, фармацевтической, косметической и нефтедобывающей промышленности. Очищенная карбоксиметилцеллюлоза в зависимости от области применения должна содержать примесей не более 7%. [1]

Наиболее рациональным способом очистки технической Na-КМЦ является экстрагирование примесей спиртовыми растворами.

Исходя, из анализа литературных данных, предварительных экспериментов по изучению процесса очистки технической карбоксиметилцеллюлозы для математического описания процесса был сделан ряд упрощающих допущений [2,3]:

- 1) Можно считать, что твердые частицы имеют сферическую форму;
- 2) Частицы обладают изотропной структурой, т.е. диффузионная проводимость распределяемого вещества в них одинакова по всем направлениям;
- 3) В процессе экстракции геометрические размеры частицы не изменяются;
- 4) Массопередача в жидкой фазе не лимитирует процесс. (Основное сопротивление массопередачи вещества сосредоточено в твердой фазе).

При извлечении растворенного вещества из частицы его концентрация является функцией координаты и времени, т.е. $C = \varphi(r, \tau)$.

Математическая модель процесса экстракции примесей технической Na-КМЦ позволяет рассчитать и проанализировать кинетику процесса. Одновременно с этим математическая модель может быть использована для расчета оптимальных технологических условий его проведения.

Математическое описание процесса экстрагирования представляет собой систему уравнений, состоящую из нестационарного уравнения диффузии, краевых условий и дифференциального уравнения баланса массы:

$$\begin{cases} \frac{\partial C_{нк}}{\partial \tau} = D_{\varphi} \left(\frac{\partial^2 C_{нк}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_{нк}}{\partial r} \right); 0 \leq r \leq R \\ -D_{\varphi} \frac{\partial C_{нк}}{\partial r} = \beta \left(\frac{C_{нк}}{\varphi} - C_{nc} \right); r = R \\ \frac{d\bar{C}_{нк}}{d\tau} \times \rho \times V_{к} = \frac{d\bar{C}_{nc}}{d\tau} \times \rho_c \times V_c \end{cases},$$

где $C_{пк}$ – концентрация примесей в продукте (карбоксиметилцеллюлозе), %;

τ – текущее время, с;

$D_{эф}$ – эффективный коэффициент диффузии, зависящий от структурных параметров материала, m^2/c ;

r – текущий радиус сферической твердой частицы, м ;

R – радиус исходной сферической твердой частицы, м;

β – коэффициент массоотдачи, м/с;

$C_{пс}$ – концентрация примеси в основной массе жидкости (экстрагенте), %;

φ – коэффициент распределения примеси в твердой и жидкой фазах, $\varphi = \frac{C_{пк}}{C_{пс}^*}$;

$C_{пс}^*$ – равновесная концентрация примеси в жидкой фазе, %;

$\bar{C}_{пк}$ – средняя концентрация примесей в частице, % $\bar{C}_{пк} = \frac{3}{R^3} \int_0^R C_{пк} \cdot r^2 dr$;

$\bar{C}_{пс}$ – средняя концентрация примесей в экстрагенте, $\bar{C}_{пс} = C_{пс}^*$ %;

ρ_k – плотность твердой фазы (карбоксиметилцеллюлозы), kg/m^3 ;

ρ_c – плотность экстрагента (раствора изопропилового спирта), kg/m^3 ;

V_k – объём твердой фазы, m^3 ;

V_c – объём экстрагента, m^3 .

Дополнительно к данной системе уравнений рассматриваются граничные условия:

При $\tau=0$ величина $C_r=C_{нач}$ – начальной концентрации примеси в частице;

скорость массоотдачи от поверхности частицы велика, т.е. $\beta \rightarrow \infty$

$$C_{пк, r=R} = C_{пс} \times \varphi$$

Моделирование процесса экстрагирования позволяет на стадии проектирования изучить данный процесс при тех или иных технологических параметрах и выявить оптимальные технологические режимы получения очищенной Na-КМЦ.

Нами рекомендован метод экстракционной очистки технической Na-КМЦ. Которая состоит из последовательных стадий смешения (продукта с экстрагентом) и разделения (продукта и жидкой фазы). Предложенная модель ступенчатой экстракции представлена в виде блок-схемы, которая изображена на рис. 1.

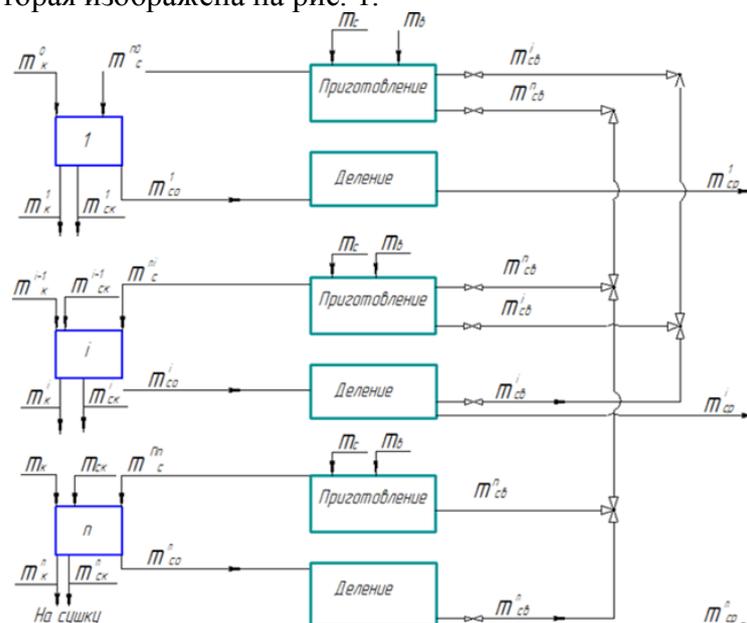


Рис.1 – Блок-схема ступенчатой экстракции технической карбоксиметилцеллюлозы

На первую стадию экстракции поступает продукт, массой m_k^0 , который характеризуется концентрацией примесей в карбоксиметилцеллюлозе ($C_{ПК}$), содержанием основного вещества (ОВ,%), влажностью (W,%). Который затем смешивается с определенным количеством чистого экстрагента, массой m_c^0 (водного раствора изопропилового спирта, заданной концентрации). Через некоторый промежуток времени, когда из смеси в раствор перейдет определенное количество извлекаемого вещества (примесей из КМЦ) и раствор достигнет требуемой концентрации (состояния равновесия), происходит разделение твердого продукта и жидкой фазы.

Исходя из технологических особенностей процесса, часть экстрагента остается на продукте, который переходит на следующую ступень экстракции.

Каждая стадия приготовления экстрагента рассматривается в виде блока. Экстрагент, который отделяется от продукта, может быть направлен либо на регенерацию, либо на приготовление экстрагента для некоторой стадии экстракции либо может частично подаваться на регенерацию и частично подаваться на приготовление свежего экстрагента. Поток отработанного экстрагента, который идет из делителя и свежий экстрагент из них может быть приготовлена смесь промывного раствора.

На i -ю ступень экстракции поступает продукт, массой m_k^{i-1} , который характеризуется концентрацией примесей в карбоксиметилцеллюлозе ($C_{кп}$), содержанием основного вещества (ОВ,%); экстрагент, удерживаемый на продукте, массой $m_{ск}^{i-1}$, который характеризуется концентрацией спиртового раствора (C_c^{i-1}), концентрацией примесей в спиртовом растворе (C_{nc}^{i-1}) и экстрагент, получаемый на стадии приготовления, массой m_c^j с концентрацией спиртового раствора (C_c^j), концентрацией примесей в экстрагенте (C_{nc}^j). По завершению процесса ступени экстракции, отработанный экстрагент отводится на стадию деления. Полученный продукт с оставшейся на нем частью экстрагента поступает на следующую ступень. Отработанный экстрагент с последней стадии промывки идет на приготовление промывных растворов предыдущих стадий, а полученный продукт поступает на сушку.

Входными параметрами для расчета процесса экстрагирования примесей технической Na-КМЦ являются: исходный состав технической Na-КМЦ (масса, влажность, содержание основного вещества).

В качестве управляющих параметров выбраны: концентрация водного раствора изопропилового спирта, количество ступеней экстракции, жидкостной модуль – соотношение массы карбоксиметилцеллюлозы к массе водного раствора изопропилового спирта, коэффициент удержания экстрагента на продукте, коэффициент деления экстрагента (какая часть отработанного растворителя подается на приготовление свежего экстрагента).

Моделирование процесса экстрагирования позволило на стадии проектирования изучить данный процесс при различных технологических параметрах. Выбрать оптимальные технологические режимы получения очищенной Na-КМЦ, а именно трехступенчатую экстракцию примесей технической Na-КМЦ, жидкостной модуль 1:10, концентрацию спирта в водно-спиртовом растворе для первой стадии 65%, для второй 70%, для третьей 80%, что позволяет получить продукт со степенью очистки 96.5%.

Список литературы

1. *Бытенский, В.Я.* Производство эфиров целлюлозы /В.Я. Бытенский, Е.П. Кузнецова – Л.: Химия, 1974. –160-174с.
2. *Аксельруд, Г.А.* Экстрагирование. Система твердое тело-жидкость [Текст] / Г.А. Аксельруд, В.М. Лысянский. – Л.: Химия. – 1974. – 256 с.
3. *Рудобашта, С.П.* Диффузия в химико-технологических процессах [Текст] / С.П. Рудобашта. – М.: КолосС, 2010. – 478 с.

02.00.02

Е.В. Пашкова, Е.В. Волосова, А.Н. Шипуля, Ю.А. Безгина

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, факультет экологии и ландшафтной архитектуры, кафедра химии и защиты растений, Ставрополь, plush.al@ya.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ ГАЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В работе представлены результаты исследования влияния щелочной фракции электрохимически активированной воды на ферментативную активность каталазы семян озимой пшеницы химическим методом анализа и определении кинетических параметров ферментативной реакции.

Ключевые слова: *электрохимически активированная вода, каталаза, ферментативная активность, озимая пшеница.*

Важным фактором внешней среды, регулирующим жизнедеятельность семян агрокультур является вода. Обеспечение их необходимым количеством воды создает условия для прорастания. Процессы, активируемые на этапах прорастания семян, осуществляются ферментами [1].

Установлено [2], что электроактивированная вода с $\text{pH} = 7...12$ оказывает биостимулирующее действие на развитие растений, при этом ускоряется поступление воды и питательных веществ, связанное, по-видимому, с изменением проницаемости мембран, усиливается ферментативная активность энзимов, что обеспечивает ускорение темпа клеточного деления и активацию ростовых процессов в целом [3].

Данная работа посвящена исследованию влияния электрохимически активированной воды (ЭХА) на активность каталазы семян озимой пшеницы, а также изучению кинетических параметров ферментативной реакции.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе использовали щелочную фракцию электрохимически активированной воды полученную на установке циклического действия. Исследование оптимальных условий получения щелочной фракции ЭХА воды, во взаимосвязи с ее биологической активности были проведены ранее [4].

Активность каталазы определяли газометрическим методом, который основан на измерении объема вытесненного кислорода после взаимодействия субстрата с каталазой в присутствии пероксида водорода [5]. Определение активности фермента проводили в семенах и 3-х, и 7-и дневных проростках пшеницы из приготовленных вытяжек. Навеску 100 шт. семян (пророщенных проростков) помещали в фарфоровую ступку, добавляли 0,5 г карбоната кальция, 0,3 г стеклянного песка и 5 – 10 мл воды. Навеску тщательно растирали, переносили в мерную колбу на 100 мл, доливали водой и выдерживали в течение 3 – 4 часов. Контрольную вытяжку из семян готовили на водопроводной воде, а экспериментальную вытяжку на щелочной фракции ЭХА воды. По истечении срока настаивания проводили определение активности фермента. Для каждого определения брали 10 мл вытяжки, добавляли 5 мл 3%-ного раствора H_2O_2 . Активность каталазы выражали в мл кислорода, которые выделяются ферментом 1г семян за 1, 3, 6, 9 минут, а также в константах скорости мономолекулярной реакции.

Константы скорости реакции вычисляли по формуле мономолекулярных реакций:

$$k = \frac{2,3}{t} \cdot \lg \frac{a}{a-x} ,$$

где k – константа скорости; t – время от начала реакции, сек.; a – максимально возможное в условиях опыта выделение O_2 ; x – количество кислорода, выделенное ко времени t .

Из данных констант скорости химической реакции вычисляли температурный коэффициент Вант-Гоффа:

$$Q = \frac{k_2}{k_1}$$

а также значение энергии активации, показывающей количество энергии, которое может в данных условиях перевести в активированное состояние молекулы H_2O_2 :

$$E = 4,5678 \lg \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1}$$

В результате проведенных исследований установлено, что каталаза контрольных семян обладает малой активностью и имеет высокое значение E , равное 46,26 кДж/моль, при воздействии ЭХА воды на семена активность фермента несколько выше и имеет значение E , равное 44,75 кДж/моль. При проращивании семян активность каталазы в проростках возрастает. Скорость расщепления пероксида водорода каталазой при активировании католитом имеет большую тенденцию к увеличению, по сравнению с контролем, как при 12°C, так и при 22°C.

Таким образом, результаты исследований показывают, что ЭХА вода оказывает сильное активирующее действие на каталазу, и это приводит к увеличению активности фермента и снижению термических коэффициентов Q_{10} и E . Это отмечено как при воздействии на семена, так и в большей степени на проростки пшеницы. Возможно, стимулирующее действие ЭХА воды объяснимо тем, что высоко реакционноспособные частицы ЭХА воды, соединяясь с феронами ферментов, приводят к изменению энергетического уровня ферментов, тем самым повышая способность фермента к трансформации энергии.

Для определения кинетических параметров активности фермента был использован традиционный способ линеаризации зависимости скорости ферментативной реакции от концентрации фермента [6].

Активность фермента определяли, регистрируя скорость расщепления субстрата с выделением кислорода в мл/сек и использовали для нахождения значений V и $1/V$. Начальную скорость реакции определяли при разных концентрациях субстрата. Концентрация фермента $[E_0]$ была установлена в семенах в соответствии с эталоном и соответствует значению $3 \cdot 10^{-9}$ моль. В качестве эталона использован препарат каталазы производства фирмы Albiochem, США.

В таблице 1 представлены данные по измерению объема выделенного кислорода за 540 сек. при действии каталазы на субстрат, которые использовали для нахождения значений V и $1/V$.

Таблица 1- Определение значений начальных скоростей протекания ферментативных реакций

Варианты	$S \cdot 10^3$, М	$1/10^{-3}$, М ⁻¹	$V \cdot 10^{-2}$, М·сек ⁻¹	$1/V \cdot 10^2$, Е·сек	$V(\text{O}_2)$, мл
Семена (контроль) вода без ЭХ обработки	1,47	0,68	2,07	0,48	11,2
	4,41	0,23	2,92	0,34	15,8
	7,35	0,14	3,18	0,31	17,2
Семена (опыт) щелочная фракция ЭХА воды	1,47	0,68	2,40	0,41	13,2
	4,41	0,23	3,63	0,27	19,6
	7,35	0,14	4,07	0,25	22,0

Экспериментальные данные были представлены в координатах Лайнуивера-Берка ($1/V$, $1/[S_0]$), или в координатах «двойных обратных величин». Как следует из выражения:

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_m} + \frac{K_{M(\text{каж})}}{V_m} \cdot \frac{1}{[S_0]}$$

график зависимости имеет вид прямой линии, пересекающей ось абсцисс и ординат в точках $1/K_{M(\text{каж})}$ и $1/V_m$ соответственно (рисунок 1).

Значение полученных кинетических параметров ферментативной реакции представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Кинетические параметры каталазы в семенах пшеницы

Варианты	$K_{M(каж)}$, мг/мл	$V_m \cdot 10^{-2}$, Е · сек ⁻¹	$K_{кат} \cdot 10^7$, Е/сек·М
Семена (контроль) вода без ЭХ обработки	1,16	3,70	1,23
Семена (опыт) щелочная фракция ЭХА воды	1,28	4,54	1,67

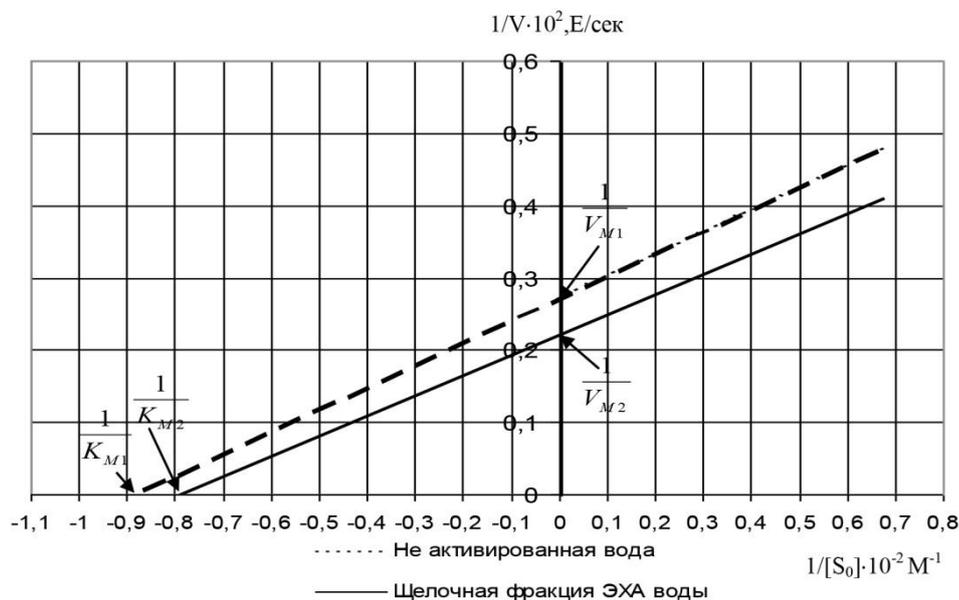


Рис. 1 - Определение максимальной скорости V_m и кажущейся константы Михаэлиса $K_{M(каж)}$ для ферментативной реакции каталазы в семенах пшеницы озимой пшеницы

Результаты проведенных исследований указывают на то, что действие ЭХА воды на семена пшеницы увеличивает в одинаковой степени значения V_m и $K_{M(каж)}$, что по механизму ферментативной реакции данный процесс соответствует бесконкурентной активации.

Таким образом, впервые изучены кинетические параметры действия ЭХА воды на семена озимой пшеницы, установлен механизм бесконкурентной активации с описанием ферментативной реакции расщепления перекиси водорода каталазой. Это позволит расширить возможность использования электрохимически активированной воды в технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Аксенов С.И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. М.: Наука, 1990. – С. 66-71.
2. Бахир В.М. Электрохимическая активация. М.: ВНИИИМТ, 1992. - С. 189-195.
3. Борисенко, А.А., Борисенко Л.А., Шаманаева Е.А. Факторы и механизмы формирования высокоактивных физико-химических и биологических свойств ЭХА воды / Биоресурсы. Биотехнологии. Инновации Юга России: // Матер. междунар. научно-практич. конф. – Ставрополь – Пятигорск: изд-во СГУ, 2003. – Часть 1. – С. 63-67.
4. Плющ Е.В. Разработка технологии получения из молочной сыворотки регуляторов роста растений с использованием электроактивированной воды, процессов сорбции и ферментации: дис. канд. техн. наук. – Ставрополь, 2005. – с. 150.
5. Основы аналитической химии. В 2 кн. Учеб. для вузов / Ю.А. Золотов, Е.Н. Дорохова, В.И. Фадеева и др. Под ред Ю.А. Золотова. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Высшая школа, 2000. - С.358.
6. Практический курс химической и ферментативной кинетики: Учеб. пособие для химических специальностей ун-тов / И.В. Березин, А.А. Клесов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 320 с.

02.00.01

В.В. Хасанов, Р.Д. Ульбашева, Л.Г. Гринева

Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова,
химический факультет, кафедра неорганической и физической химии,
Нальчик, Vlad.khasanov.2017@mail.ru

КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И РАСТВОРИМОСТЬ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ РАСТВОРИТЕЛЬ-ОКСИД

Работа посвящена исследованию кислотно-основных взаимодействий в оксидных расплавах, параметрами оценки кислотно-основных свойств выбраны ранее не использовавшиеся для этих целей величины средней электронной плотности и относительной стабильности соединений. Установлено, что растворимость ферритов повышается с ростом кислотности компонентов систем растворитель-оксид. Показано взаимосвязь термодинамических и кислотно-основных характеристик оксидных соединений.

Ключевые слова: *феррит, оксидные соединения, электронная плотность, относительная стабильность, кислотность, основность.*

С целью дальнейшего развития кислотно-основных представлений в химии оксидных расплавов и получения дополнительной информации для целенаправленного поиска растворителей для синтеза объемных монокристаллов и порошков оксидных ферромагнетиков нами была изучена зависимость растворимости оксидных соединений в расплавленных оксидных растворителях от их кислотно-основных свойств.

В качестве параметров для оценки кислотности были выбраны величины электронной плотности ($\overline{ЭП}$) и относительной стабильности ($\overline{ОС}$) атомов, входящих в состав оксидных соединений, впервые предложенные автором настоящей работы в [1].

При вычислении $\overline{ЭП}$ использовали значения орбитальных радиусов, т.е. рассчитанных методами квантовой механики радиусов главных максимумов радиальной плотности электронов на орбиталях атомов [2]. Значения $\overline{ЭП}$ атомов, вычисленные для $R_0(\text{Å})$, а также величины относительной стабильности ($\overline{ОС} = \overline{ЭП}_{\text{ат}}/\overline{ЭП}_{\text{ин}}$) - приведены в таблице 1.

Таблица 1. Величины электронной плотности атомов некоторых элементов ($\overline{ЭП}$) и их относительной стабильности ($\overline{ОС}$), вычисленные из значений орбитальных радиусов (R_0)

Элемент	Z	$R_0, \text{Å}$	$V_{\text{ат}}, \text{Å}^3$	$\overline{ЭП}_{\text{ат}}$	$\overline{ЭП}_{\text{ин}}$	$\overline{ОС}$
V	23	1,40	11,495	2,001	15,5	0,129
Mn	25	1,28	8,784	2,846	16,0	0,178
Fe	26	1,23	7,796	3,335	16,0	0,208
Co	27	1,18	6,883	3,923	16,1	0,244
Ni	28	1,14	6,208	4,510	16,2	0,278
Cu	29	1,19	7,058	4,109	16,2	0,254
Zn	30	1,07	5,132	5,846	16,2	0,361
Mo	42	1,52	14,712	2,855	15,8	0,181
Ba	56	2,06	36,62	1,529	14,5	0,105
Bi	83	1,13	6,045	13,730	15,74	0,872

Для вычисления величин параметров кислотности компонентов исследованных систем использовали принцип аддитивности. Так, например, средняя электронная плотность гексаферрита бария

$$\overline{ЭП} = (\overline{ЭП}_{\text{Ba}} + 12 \overline{ЭП}_{\text{Fe}} + 19 \overline{ЭП}_{\text{O}})/32 = 13,73$$

есть, по Сандерсену, электронная плотность любого атома в молекуле гексаферрита бария. Аналогично вычисляли и величины средней относительной стабильности соединений ($\overline{ОС}$), полученные значения параметров кислотности сведены в таблицу 2. Здесь же

приведены величины средней орбитальной электроотрицательности ($\bar{\chi}$), ранее использовавшиеся в литературе для оценки кислотности оксидных соединений.

Таблица 2. Параметры кислотности некоторых оксидов и оксидных систем

Соединение	$\bar{\chi}$	$\bar{\text{ЭП}}$	$\bar{\text{ОС}}$
K_2MoO_4	5,57	12,50	0,303
$\text{K}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$	5,97	13,93	0,337
$\text{K}_2\text{Mo}_3\text{O}_{10}$	6,17	14,59	0,353
$\text{K}_2\text{Mo}_4\text{O}_{13}$	6,28	14,98	0,363
BaFe_2O_4	5,86	13,14	0,343
$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	6,14	13,73	0,359
$2\text{BaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	5,25	12,11	0,316

Установлено, что последовательность изменения кислотности, оцененной величинами $\bar{\chi}$ адекватна данным, полученным с помощью $\bar{\text{ОС}}$ и $\bar{\text{ЭП}}$ тех же соединений. Сказанное иллюстрируется на примере ряда молибдатных растворителей и ферритов бария (рис. 1).

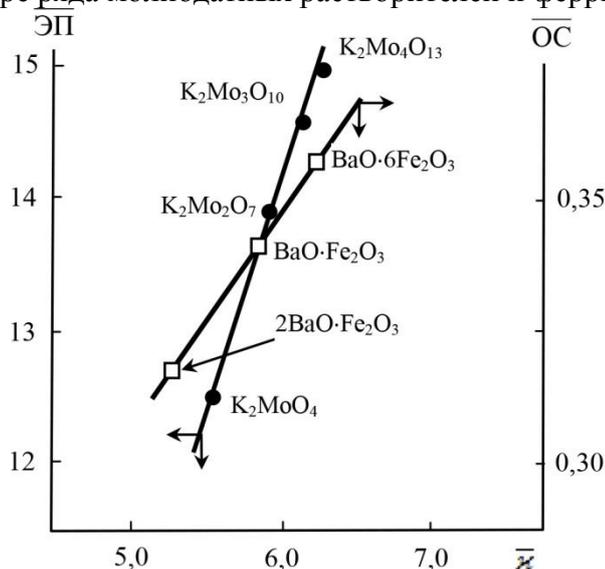


Рис. 1. Взаимосвязь величин $\bar{\chi}$ некоторых оксидных соединений с величинами их $\bar{\text{ЭП}}$ и $\bar{\text{ОС}}$

Таким образом, нами показана возможность использования новых параметров кислотности - средней электронной плотности ($\bar{\text{ЭП}}$) и средней относительной стабильности для оценки их кислотности (основности).

Проверена применимость указанных параметров для оценки растворимости оксидных соединений в исследованных системах растворитель - ферритообразующий оксид. Ранее было установлено, что растворимость тем выше, чем больше разность кислотно-основных свойств компонентов [3].

Установлено, что полученные в данной работе результаты, находятся в удовлетворительном согласии с упомянутой закономерностью. Так, растворимость $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ($\bar{\text{ЭП}} = 13,73$) в $\text{BaO}\cdot 0,6\text{V}_2\text{O}_3$ ($\bar{\text{ЭП}} = 13,31$) составляет при 1000 °С 19,0 мол.%, а в более "кислом" $\text{BaO}\cdot\text{V}_2\text{O}_3$ ($\bar{\text{ЭП}} = 14,0$) - 21,0 мол.%, т.е. повышается с ростом разности кислотности растворителя и растворяемого сложного оксида. Показано, что растворимость соединений возрастает с повышением абсолютной разности кислотности компонентов соответствующих систем (значения растворимости при 1000 °С взяты из исследованных нами диаграмм состояния) [4, 5]. Здесь в качестве параметра кислотности использовали величину $\bar{\text{ОС}}$. Та же закономерность наблюдается и в системах Vi_2O_3 - ферриты, где с возрастанием разности кислотности Vi_2O_3 ($\bar{\chi} = 6,16$; $\bar{\text{ЭП}} = 18,06$; $\text{ОС} = 0,63$) и ферритов $x\text{BaO}\cdot y\text{Fe}_2\text{O}_3$ растет и растворимость.

Таким образом, показана независимость результатов оценки кислотности от характера используемого параметра ($\bar{\chi}$, $\overline{\text{ЭП}}$, $\overline{\text{ОС}}$): во всех случаях получены идентичные результаты.

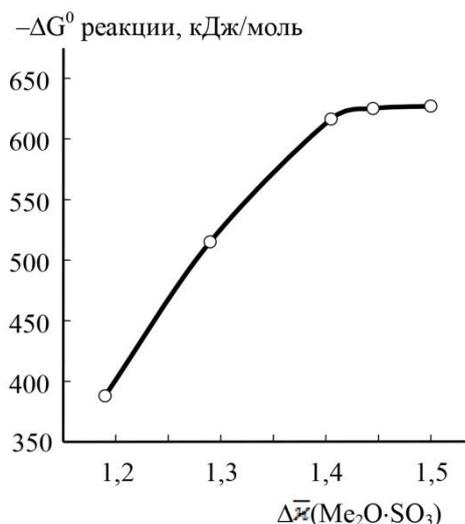


Рис. 2. Зависимость $-\Delta G^0$ реакции образования сульфатов щелочных металлов от $\Delta\bar{\chi}$

Вероятно, что и для объектов настоящего исследования существует взаимосвязь между кислотно-основными и термодинамическими характеристиками оксидных соединений, как это было установлено ранее [4]. Так, абсолютная величина $-G^0$ реакции образования сульфатов щелочных металлов возрастает с ростом разности $\Delta\bar{\chi}$ SO_3 и Me_2O (рис. 2). В то же время следовало ожидать, что величина $-G^0$ реакции $\text{SO}_3 + \text{Me}_2\text{O}$ будет возрастать по мере роста основности щелочного металла. Доказано и наличие такой закономерности (рис. 3), здесь за меру основности Me принята его относительная стабильность ($\overline{\text{ОС}}$).

Установлено, что взаимосвязь кислотно-основных и термодинамических параметров оксидов позволяет, используя величины $\bar{\chi}$ оксидов, путем графической интер- или экстраполяции в координатах $-G^0 = f(\bar{\chi})$ неизвестные величины G^0 .

Так, используя табличные значения G^0 образования силикатов кальция и вычисленные для них значения $\bar{\chi}$ графической интерполяцией можно получить неизвестное значение G^0_{298} силиката $8\text{CaO}\cdot 5\text{SiO}_2$. Оно оказывается равным $-615,0$ кДж/(моль-экв.) (рис. 4).

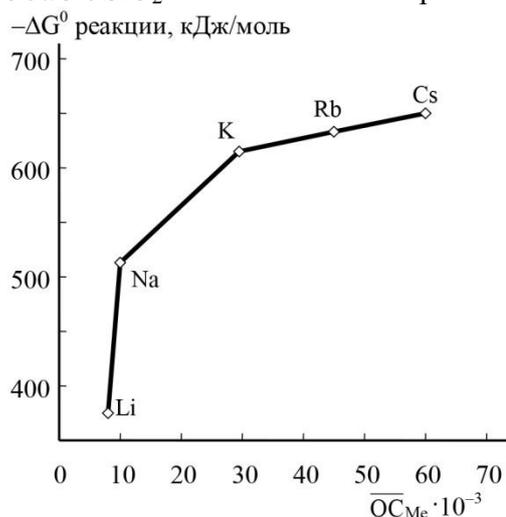


Рис. 3. Зависимость ΔG^0 реакции $\text{Me}_2\text{O} + \text{SO}_3$ от $\overline{\text{ОС}}$ металла

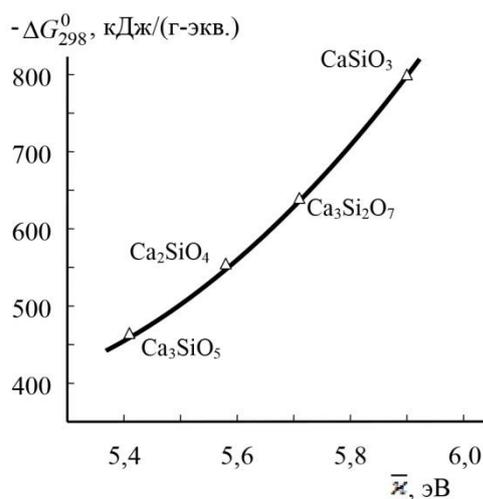


Рис. 4. Зависимость величин $-\Delta G^0_{298}$ силикатов кальция и их кислотности, оцененной величинами $\bar{\chi}$

Проверка применимости для этих целей величин $\overline{\text{ЭП}}$ и $\overline{\text{ОС}}$ показала, что и в этом случае применение предложенного метода позволяет оценивать неизвестные термодинамические характеристики оксидных соединений по вычисленным значениям их параметров кислотности.

Приведенные данные свидетельствуют о полезности использования кислотно-основных представлений не только при подборе оптимального состава растворителя для тех или иных раствор-расплавных технологий, но и для оценки неизвестных термодинамических характеристик оксидных соединений. Обращает на себя внимание независимость результатов таких расчетов от выбора параметра кислотности ($\overline{\text{ж}}$, $\overline{\text{ОС}}$, $\overline{\text{ЭП}}$).

Список литературы

1. Хасанов В.В. Ферритообразование в растворах-расплавах, содержащих оксиды молибдена (VI), висмута, бария, бора и железа(III): Автореферат дисс. ... канд.хим. наук. Москва. 1990.- С 23 .
2. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия / М. МГУ.1987.- С 275 .
3. Витинг Л.М., Исаев А.Ф. Кислотно-основные и физические свойства оксидных растворителей // В кн: Итоги науки и техники. Химическая термодинамика и равновесия. М. 1984. т.6.- С 107-157.
4. Хасанов В.В., Ульбашева Р.Д. Научно-технический вестник Поволжья, №1, 2016,- С 29-32.
5. Витинг Л.М., Хасанов В.В. и др.// Вестник МГУ, 2000, сер. 2.- 41, №1,-С37-38.
6. Витинг Л.М., Кузнецова О.А. Некоторые критерии априорной оценки кислотно-основных свойств оксианионных расплавов// В сб: Всес. Симпозиум «Термодинамика в геологии». Тезисы докладов. Суздаль. М.: наука. 1985. Т2 - С 80-85.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.08

Ф.Д. Байрамов д.т.н., Б.Ф. Байрамов к.ф.-м.н.

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, bbairamov@gmail.com

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОДАЧИ ЗАГОТОВКИ В ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Разработана принципиальная схема гидропривода с автоматическим регулятором скорости подачи стола шлифовального станка. Регулирование скорости осуществляется за счёт изменения частоты вращения вала электродвигателя насоса. Проведено математическое моделирование динамики и получены условия устойчивости работы гидропривода.

Ключевые слова: гидропривод для подачи стола станка, автоматический регулятор расхода рабочей жидкости, математическое моделирование динамики, устойчивость работы.

В шлифовальных станках регулирование скорости перемещения стола с закреплённой на нём заготовкой обычно осуществляется гидроприводом с дроссельным регулированием, то есть за счёт изменения количества рабочей жидкости, поступающей в гидроцилиндр. При этом часть потока рабочей жидкости, поступающей от насоса, непроизводительно отводится на слив, минуя гидродвигатель. Наиболее экономичным является регулирование скорости подачи заготовки за счёт изменения частоты вращения двигателя насоса.

На рис. 1 представлена принципиальная схема гидропривода с автоматическим регулятором расхода рабочей жидкости для продольной подачи стола с закреплённой на нём заготовкой плоскошлифовального станка. Гидропривод состоит из электродвигателя переменного тока 1, гидронасоса 2, напорного трубопровода 3, гидрораспределителя 13, гидроцилиндра 14, сливного трубопровода 5, гидробака 6 и регулятора расхода рабочей жидкости.

Последний, в свою очередь, включает в себя датчик расхода 7, дифференциальный преобразователь с упругой мембраной 9, электромеханическое преобразующее устройство 10 и частотный преобразователь напряжения 11.

Регулятор расхода работает следующим образом. Датчик расхода, представляющий собой сужающую диафрагму, измеряет расход жидкости косвенно через перепад давления. Эта разность давления преобразуется в перемещение мембраны дифференциального преобразователя. Мембрана связана штоком с электромеханическим преобразующим устройством, в котором осуществляется преобразование перемещения штока мембраны в напряжение постоянного тока, пропорциональное этому перемещению. Это напряжение управляет частотным преобразователем. Под воздействием этого управляющего напряжения частотный преобразователь, изменяя частоту напряжения питания, регулирует скорость вращения вала двигателя. Таким образом, осуществляется регулирование расхода подаваемой рабочей жидкости, а, следовательно, скорости перемещения заготовки. Расчётное значение расхода устанавливается соответствующей затяжкой пружины задатчика 8.

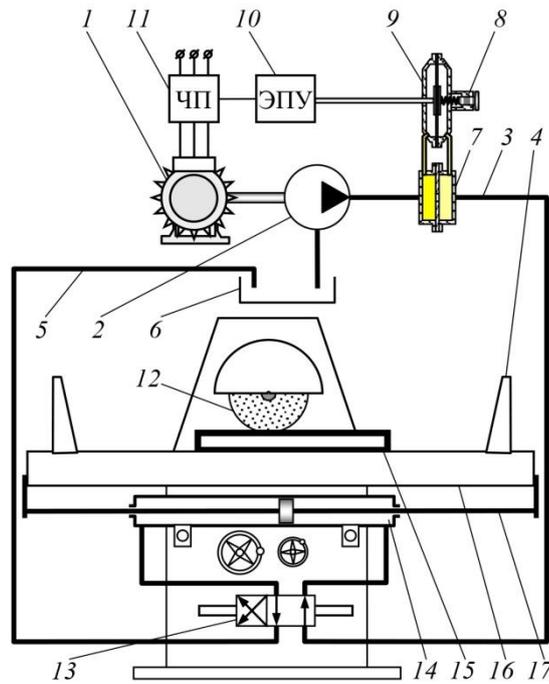


Рис. 1 – Схема гидропривода с регулятором расхода рабочей жидкостью для продольной подачи стола плоскошлифовального станка:

1 – электродвигатель; 2 – гидронасос; 3 – напорный трубопровод; 4 – щиток; 5 – сливной трубопровод; 6 – гидробак; 7 – датчик расхода; 8 – пружинный задатчик расхода; 9 – дифференциальный преобразователь давления; 10 – электромеханическое преобразующее устройство; 11 – частотный преобразователь; 12 – шлифовальный круг; 13 – гидрораспределитель; 14 – гидроцилиндр; 15 – деталь; 16 – стол станка; 17 – шток гидроцилиндра привода стола

Математическая модель. Уравнения динамики для электродвигателя, насоса, напорного трубопровода, датчика расхода с дифференциальным преобразователем, ЭПУ в отклонениях от номинального режима работы гидропривода соответственно имеют вид [1, 2]:

$$2 \cdot \pi \cdot J \cdot \frac{d\Delta n}{dt} = \left(\frac{\partial M_D}{\partial n} \right)_* \cdot \Delta n + \left(\frac{\partial M_D}{\partial u} \right)_* \cdot \Delta u - \Delta M_H; \quad (1)$$

$$\Delta p_H = \Delta p_{H0} - \left(\frac{\partial p_H}{\partial G} \right)_* \cdot \Delta G + \left(\frac{\partial p_H}{\partial n} \right)_* \cdot \Delta n; \quad (2)$$

$$\frac{l_T}{F_T} \cdot \frac{d\Delta G}{dt} = \Delta p_H - \Delta p_1 - k_T \cdot \Delta G; \quad (3)$$

$$\Delta s = k_1 \cdot \Delta G; \quad (4)$$

$$\Delta u = -k_2 \cdot \Delta s; \quad (5)$$

где $\Delta n = n - n_*$; $\Delta G = G - G_*$; $\Delta p_H = p_H - p_{H*}$; $\Delta p_{H0} = p_{H0} - p_{H0*}$; $\Delta s = s - s_*$; $\Delta p_1 = p_1 - p_{1*}$; $\Delta u = u - u_*$; $\Delta M_H = M_H - M_{H*}$; индекс * указывает на значения величин в номинальном режиме; n – частота вращения вала электродвигателя; G – расход рабочей жидкости; p_{H0} , p_H – давления на входе в насос и на выходе из него; p_1 – давление в напорной полости гидроцилиндра (рис. 2); u – напряжение постоянного тока на выходе ЭПУ, которое является управляющим напряжением для частотного преобразователя; s – смещение мембраны дифференциального преобразователя; k_1 , k_2 – положительные коэффициенты пропорциональности; J – суммарный момент инерции всех тел, кинематически связанных с валом электродвигателя; k_T – коэффициент, характеризующий сопротивление в напорном трубопроводе; l_T , F_T – длина и площадь поперечного сечения

напорного трубопровода; M_D , M_H – крутящие моменты электродвигателя и насоса.

Момент M_H имеет вид [1] $M_H = G \cdot (p_H - p_{H0}) / n \cdot \eta \cdot \rho$, где η – полный КПД насоса; ρ – плотность жидкости. Разлагая функцию M_H в ряд Тейлора в окрестности номинального режима и сохраняя только члены первой степени относительно малых приращений, найдём:

$$\Delta M_H = \left(\frac{\partial M_H}{\partial n} \right)_* \cdot \Delta n + \left(\frac{\partial M_H}{\partial G} \right)_* \cdot \Delta G + \left(\frac{\partial M_H}{\partial p_H} \right)_* \cdot (\Delta p_H - \Delta p_{H0}). \quad (6)$$

Составим уравнение динамики гидроцилиндра (рис. 2).

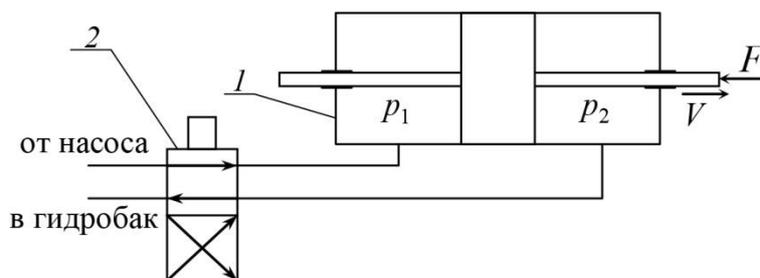


Рис. 2 – Схема гидроцилиндра I с гидрораспределителем 2

Пусть поршень гидроцилиндра движется вправо, преодолевая внешнюю нагрузку на штоке F . Пренебрегая потерями на трение, запишем уравнение динамики поршня гидроцилиндра в отклонениях от номинального режима работы:

$$m \cdot \frac{d\Delta V}{dt} = (\Delta p_1 - \Delta p_2) \cdot \sigma - \Delta F,$$

где $\Delta V = V - V_*$; $\Delta p_1 = p_1 - p_{1*}$; $\Delta p_2 = p_2 - p_{2*}$; $\Delta F = F - F_*$; p_1 , p_2 – давление в левой и правой полостях гидроцилиндра; m , V – масса и скорость движения поршня; σ – кольцевая площадь поршня.

Расход жидкости через гидроцилиндр связан со скоростью поршня формулой $G = \sigma \cdot \rho \cdot V$. Отсюда

$$\Delta G = \sigma \cdot \rho \cdot \Delta V. \quad (7)$$

В номинальном режиме $M_{D*} = M_{H*} = const$, все переменные постоянные, $\Delta s = \Delta u = 0$ и регулятор расхода жидкости находится в нейтральном положении.

Далее будем предполагать $\Delta p_{H0} = \Delta p_2 = 0$, т.е. возмущениями давлений на входе в насос и в сливном трубопроводе пренебрегаем.

Уравнения (1) – (7) описывают динамику гидропривода с регулятором расхода рабочей жидкости. Исключая переменные Δp_H , Δp_1 , ΔV , Δu , Δs , эти уравнения запишем в относительных отклонениях в безразмерной форме:

$$T_D \cdot \frac{dn}{dt} = -a_1 \cdot n - a_2 \cdot g; \quad (8)$$

$$T_T \cdot \frac{dg}{dt} = a_3 \cdot n - a_4 \cdot g + \alpha,$$

$$\text{где } n = \frac{\Delta n}{n_*}; \quad g = \frac{\Delta G}{G_*}; \quad \alpha = \frac{\Delta F}{F_*}; \quad T_D = \frac{2 \cdot \pi \cdot J \cdot n_*}{M_{D*}}; \quad T_T = \left(\sigma \cdot \frac{l_T}{F_T} + \frac{m}{\sigma \cdot \rho} \right) \cdot \frac{G_*}{F_*};$$

$$a_1 = \left[- \left(\frac{\partial M_D}{\partial n} \right)_* + \left(\frac{\partial M_H}{\partial n} \right)_* + \left(\frac{\partial M_H}{\partial p_H} \right)_* \cdot \left(\frac{\partial p_H}{\partial n} \right)_* \right] \cdot \frac{n_*}{M_{D*}};$$

$$a_2 = \left[\left(\frac{\partial M_H}{\partial G} \right)_* - \left(\frac{\partial M_H}{\partial p_H} \right)_* \cdot \left(\frac{\partial p_H}{\partial G} \right)_* \right] \cdot \frac{G_*}{M_{D_*}} + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot u_*}{n_*} \cdot \left(\frac{\partial M_D}{\partial u} \right)_* ; \quad a_3 = \left(\frac{\partial p_H}{\partial n} \right)_* \cdot \frac{\sigma \cdot n_*}{F_*} ;$$

$$a_4 = \left[\left(\frac{\partial p_H}{\partial G} \right)_* + k_T \right] \cdot \frac{\sigma \cdot G_*}{F_*} .$$

Здесь T_D , T_T – постоянные времени электродвигателя и трубопровода, остальные величины – безразмерные коэффициенты усиления.

Устойчивость. Пусть $F = F_* = const$. Характеристическое уравнение системы (8) при $\alpha = 0$

$$\lambda^2 + \frac{a_4 \cdot T_D - a_1 \cdot T_T}{T_D \cdot T_T} \cdot \lambda + \frac{a_2 \cdot a_3 - a_1 \cdot a_4}{T_D \cdot T_T} = 0$$

будет иметь корни с отрицательными вещественными частями при выполнении неравенств

$$a_4 \cdot T_D > a_1 \cdot T_T; \quad a_2 \cdot a_3 > a_1 \cdot a_4, \quad (9)$$

которые согласно критерию Рауса – Гурвица, являются необходимыми и достаточными условиями асимптотической устойчивости системы (8), т.е. номинального режима работы гидропривода с регулятором расхода рабочей жидкости.

Выводы

1. Разработана принципиальная схема гидропривода с автоматическим регулированием скорости подачи заготовки в шлифовальных станках за счёт изменения частоты вращения электродвигателя насоса. Использование предлагаемого гидропривода позволяет наиболее экономично регулировать скорость шлифования и обеспечивает большую равномерность процесса шлифования, а, следовательно, более высокое качество обрабатываемых поверхностей.

2. Условия (9) могут быть использованы при проектировании гидропривода для рационального выбора значений параметров, обеспечивающих устойчивые режимы работы.

Список литературы

1. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейнак А.А. Гидравлика и гидропривод. Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. – М.: МГИУ, 2005. – 352 с.
2. Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф., Фардеев А.Р. Модернизированная система подачи смазочно-охлаждающих технологических средств металлорежущих станков и исследование её динамики // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 125-128.

05.02.04

А.П. Буйносов д.т.н., В.А. Тихонов к.т.н.

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, va.tikhonov@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ БАНДАЖЕЙ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ

В статье приводятся результаты моделирования электровозной гребневой тормозной колодки с измененной конструкцией для повышения эффективности обработки бандажей колесных пар тягового подвижного состава триботехническим составом.

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, триботехнический состав, тормозная колодка, конструкция, изменение.

Керамическое покрытие формируется на поверхности бандажа колесной пары путем расплавления частиц форстерита с последующей их кристаллизацией [1]. Расплавление частиц происходит в момент попадания рассматриваемого участка поверхности бандажа в зону контактного взаимодействия с рельсом. Процесс кристаллизации начинается сразу после выхода из контакта и продолжается до повторного нагрева при следующем обороте колесной пары электровоза. С увеличением толщины покрытия нижние слои проходят этап полного затвердевания, образуя покрытие [2]. В процессе кристаллизации образуемое покрытие является уязвимым к фрикционному износу, воздействие значительной касательной силы трения скольжения приводит к разрушению неокончательно сформированной части керамического слоя.

Этот процесс наблюдался при испытании образцов на стационарной машине трения. Увеличение относительного проскальзывания между образцами типа «ролик» до 20 % при нанесении покрытия на образец вызывало появление частиц износа в виде тонких пленок. После окончания процесса формирования на машине трения и охлаждения образца до температуры окружающего воздуха повторение опыта с повышенным проскальзыванием более не приводило к разрушению покрытия. Таким образом, полностью образованное покрытие оказывает достаточное сопротивление при изнашивании трением.

Ставится задача устранения контактного взаимодействия поверхности гребня бандажа с нанесенным слоем керамического материала и тормозной колодки электровоза до момента полного формирования покрытия. Исключение трения должно обеспечиваться в течение 100 км пробега после установки стержней с активным веществом, при этом тормозная эффективность локомотива не должна снизиться. В рамках решения поставленной задачи произведено усовершенствование геометрии профиля тормозной колодки. На электровозах ВЛ11 всех индексов применяются чугунные гребневые колодки типа М, имеющие твердость 229–302 НВ [3]. Наличие гребневого паза на колодке объясняется действием выталкивающих касательных сил при контакте с бандажами и отсутствием устройств (например, триангелей) для удержания колодок на поверхности катания при торможении.

После приработки профиль рабочей поверхности колодки полностью повторяет поверхность катания бандажа, нагрузка при торможении распределяется по всей поверхности, в том числе на гребне. Предлагается изменить внутренний профиль для исключения гребневого контакта до определенной величины износа, после которой контакт будет производиться по исходной поверхности колодки. Внешний вид предлагаемого профиля гребневой тормозной колодки приведен на рис. 1.

Исследование нагревания тормозных колодок с исходным и предлагаемым профилем при трении о поверхность бандажа выполнено с помощью решения системы дифференциальных уравнений теплового процесса с помощью метода конечных элементов [4]. Рассмотрена ситуация торможения поезда весом 6200 т на спуске 10 ‰ с применением экстренного торможения.

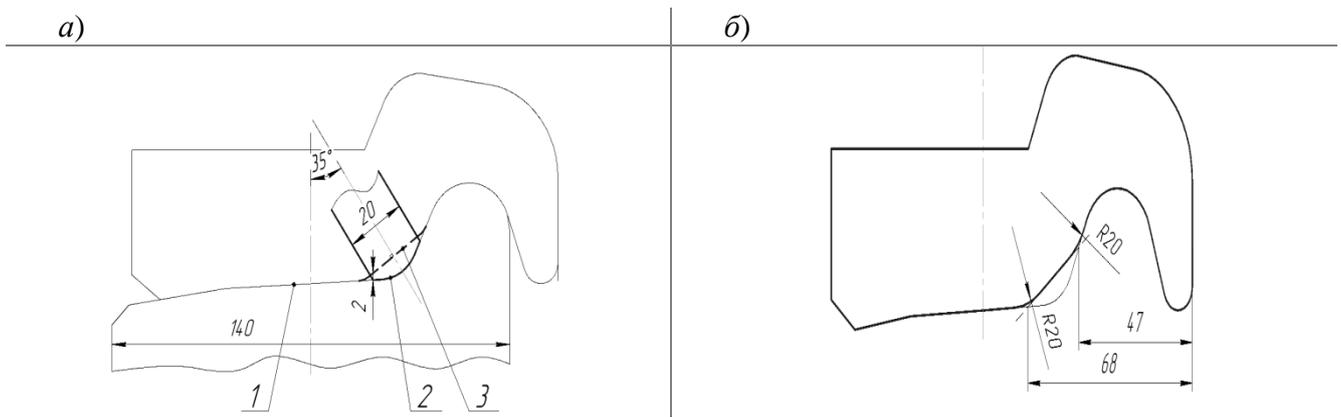


Рис. 1. Изменение профиля гребневой тормозной колодки:

a – определение параметров; *б* – окончательные размеры; 1 – исходный профиль касания бандажа и колодки; 2 – участок формирования покрытия; 3 – предлагаемый профиль колодки

Реализация математической модели теплового процесса выполнена в программном пакете Comsol Multiphysics. Рассмотрено два случая торможения: при использовании колодок с исходным и предлагаемым профилями при прочих равных условиях. В рамках решения поставленной задачи введены следующие допущения: рассматривается ситуация полного перехода потерь энергии при трении в энергию нагревания контактирующих тел без учета потерь на изнашивание и упруго-пластические деформации материалов; коэффициенты теплоемкости, теплопроводности и плотности материала бандажа и колодки постоянны для всего объема тел. Модель представляет собой бандаж и гребневую тормозную колодку, имеющие одну поверхность соприкосновения, разделенную на семь элементов (во втором случае – на шесть) ввиду сложного профиля соприкосновения тел. Для поверхности контакта заданы граничные условия, связывающие между собой тепловой поток, теплоотдачу при конвекции и процесс трения в качестве источника тепла

$$\begin{cases} -n \cdot (-k_k \cdot \nabla T_k) = -h \cdot (T_b - T_k) + r \cdot Q_{тр}; \\ -n \cdot (-k_b \cdot \nabla T_b) = -h \cdot (T_k - T_b) + (1-r) \cdot Q_{тр}, \end{cases} \quad (1)$$

где k_k, k_b – коэффициенты тепловой проводимости материалов колодки и бандажа соответственно Вт/(м·К); T_k, T_b – абсолютная температура соответственно колодки и бандажа, К; n – вектор нормали к контактной поверхности; h – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); ∇ – оператор Гамильтона; r – коэффициент, определяемый свойствами материала колодки; $Q_{тр}$ – работа трения в контакте, Дж.

Процесс передачи тепла внутри тел описывается соответствующим уравнением состояния. Для тормозной колодки выражение имеет вид

$$\rho_k \cdot C_{pk} \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla(k_k \cdot \nabla T_k) = Q_{тр}, \quad (2)$$

где C_{pk} – удельная теплоемкость материала колодки, Дж/(кг·К); ρ_k – плотность материала колодки, кг/м³.

Для всех поверхностей тел кроме контактных, действует уравнение конвективной теплоотдачи. Для тормозной колодки

$$n \cdot (-k_k \cdot \nabla T_k) = h \cdot (T_{возд} - T_k), \quad (3)$$

где $T_{возд}$ – температура окружающего воздуха, К.

Рассматриваемый процесс является нестационарным, скорость движения при торможении изменяется с течением времени. Произведен ввод сетки конечных элементов. Окончательно модель теплового процесса в первом случае имеет 718777 степеней свободы, внешний вид сетки в окне программы построения приведен на рис. 2. Моделирование произведено при шаге по времени $\Delta t = 0,1$ с.

В результате моделирования получены трехмерные графики распределения тепла между деталями с течением времени. Радиальные сечения графиков для случаев исходной и

предлагаемой колодки приведены на рис. 3 (приведены интерполированные графики за полное время моделирования).

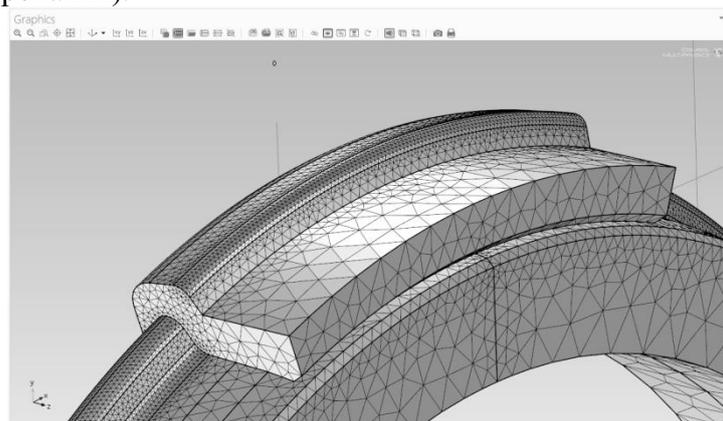


Рис. 2. Визуальное отображение сетки на исследуемых деталях

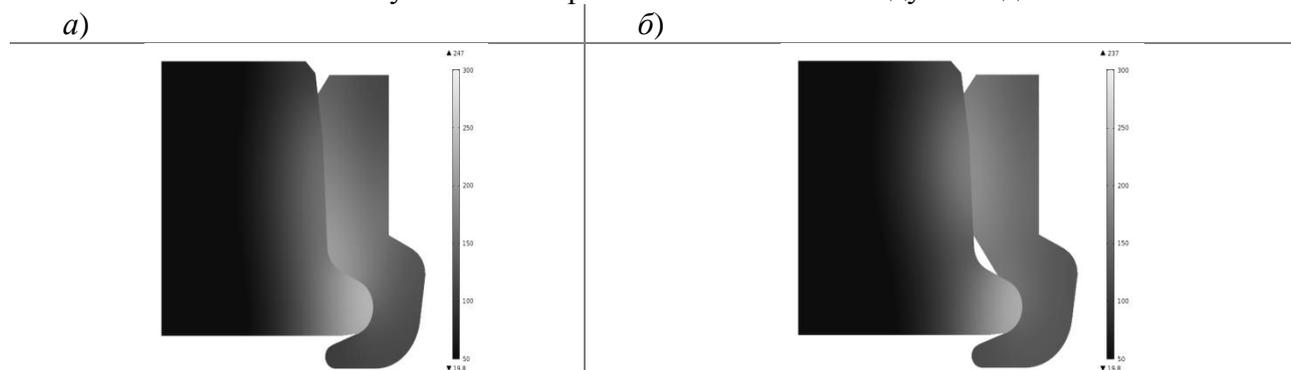


Рис. 3. Результаты анализа распределения температуры

при торможении: *а* – исходный профиль, *б* – предлагаемый профиль тормозной колодки

При моделировании измерялась температура в двух точках на поверхности бандажа. Точка А расположена на пересечении поверхности катания и поперечной оси бандажа, точка Б расположена на гребне. При моделировании исходной колодки получены максимальные значения температур для точек: $T_{1A \max} = 234,85 \text{ } ^\circ\text{C}$ при $t = 56,4 \text{ с}$; $T_{1B \max} = 274,71 \text{ } ^\circ\text{C}$ при $t = 52,0 \text{ с}$. При моделировании второй ситуации выявлено незначительное повышение температуры на поверхности катания ($T_{2A \max} = 249,31 \text{ } ^\circ\text{C}$ при $t = 51,7 \text{ с}$), температура на гребне не превысила $T_{2B \max} = 153,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ при $t = 80,5 \text{ с}$.

Таким образом, применение тормозной колодки с предлагаемым профилем поверхности трения позволит снизить температуру нагревания гребня при торможении в 1,8 раза. При температуре ниже $180 \text{ } ^\circ\text{C}$ процесс кристаллизации покрытия проходит с сохранением свойств материала. Кроме этого, отсутствует абразивный износ покрытия при его формировании.

Описанный выше метод повышения эффективности применения триботехнических составов применим для всех электровозов, на которых используются гребневые тормозные колодки, в том числе и для электровозов нового поколения 2ЭС5, 2ЭС6, 2ЭС7 и 2ЭС10.

Список литературы

1. Буйнов А.П., Тихонов В.А. Применение триботехнического состава для уменьшения интенсивности износа гребней колесных пар электроподвижного состава и рельсов // Технология машиностроения. 2014. № 4. С. 47-52.
2. Буйнов А.П., Тихонов В.А. Повышение износостойкости колесных пар электроподвижного состава за счет обработки гребней триботехническим составом // Транспорт Урала. 2011. № 3. С. 59-64.
3. Буйнов А.П., Тихонов В.А. Оптимизация остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. №4. С. 69-74.
4. Буйнов А.П., Стаценко К.А., Тихонов В.А. Влияние применения триботехнического состава НИОД на ресурс колесных пар электроподвижного состава // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 1. С. 30а-35

05.02.04

А.П. Буйносов д.т.н., И.В. Умылин

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, buynosov@mail.ru, uvil333@mail.ru

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ

В статье рассматриваются различные марки триботехнических составов, возможность их использования в машиностроении для снижения интенсивности процесса изнашивания тяжело нагруженных пар трения, процесс формирования износостойкого покрытия на детали после их применения.

Ключевые слова: машиностроение, пара трения, триботехнический состав, износостойкость, формирование покрытия, применение.

Триботехнические составы – обобщенное определение для группы материалов, представляющих собой сухую смесь мелкодисперсных частиц минералов, наибольшую долю из которых составляет серпентин (до 75 % в зависимости от марки конкретного состава). Триботехнические составы поставляются в виде порошка темно-серого цвета с максимальным размером частиц 10 мкм. Триботехнические составы применяются в машиностроении для снижения интенсивности процесса изнашивания тяжело нагруженных пар трения. Самой распространенной моделью их применения является увеличение ресурса зубчатых передач промышленных механизмов. При этом состав в виде порошка добавляется в смазочный материал картера редуктора, эксплуатируется в течение определенного времени, после чего отработанное масло заменяется на чистое, работа редуктора продолжается. Время обработки и объемная доля триботехнического состава в этом случае регламентированы.

Наиболее известны марки триботехнических составов РВЗ, НИОД, НАП, отличающиеся процентным содержанием элементов и свойствами получаемых покрытий. В УрГУПС проводились исследования по влиянию обработки бандажей колесных пар электровозов серии ВЛ11 триботехническими составами НИОД-2 и НИОД-5 [1]. Использование составов НИОД для снижения изнашивания зубчатых передач и подшипников качения привело к увеличению ресурса узлов в 1,5–2 раза. Помимо серпентина в состав входят магнетит, тальк и ряд минералов (пирротин, кварц), доля которых не превышает 7 %. Химический состав порошков представлен в основном оксидными соединениями и приведен в таблице.

Таблица. Компоненты, входящие в триботехнические составы

Элемент	Содержание для триботехнического состава, %	
	НИОД-2	НИОД-5
SiO ₂	29,4±0,6	34,4±0,6
MgO	23,1±1,0	29,1±1,0
Fe ₂ O ₃	21,5±0,4	14,8±0,4
FeO	7,6±0,5	6,2±0,5
Al ₂ O ₃	3,3±0,3	2,7±0,3
TiO ₂	0,9±0,1	0,8±0,1
CaO	0,5±0,1	0,5±0,1
Cr ₂ O ₃	0,5±0,1	0,5±0,1
Прочие компоненты (S, P, Ni, H ₂ O и др.)	13,2±3,0	11,0±3,0

Процесс формирования керамического слоя на поверхностях может протекать только в момент трения при одновременном повышении температуры и действии значительных нормальных сил в контакте. Достаточным является наличие триботехнического состава только на одной поверхности трения [2]. Под действием нормальной нагрузки частицы состава распределяются по площади контакта, происходит их пластическая деформация под

давлением. Максимальная толщина слоя частиц состава, при которой возможны термические преобразования при трении, составляет 5–10 мкм. При этом минимальное давление в контакте, согласно исследованиям, составляет 50 МПа. Дальнейший процесс состоит из двух этапов.

На первом этапе при нагревании зоны контакта происходит термическая реструктуризация серпентина $Mg_6[Si_4O_{10}][OH]_8$ с последующим разделением на форстерит Mg_2SiO_4 , диоксид кремния SiO_2 и воду. Температуры, применяемые при промышленном изменении структуры исходного материала, составляют 600–1000 °С. Наличие в контакте частиц талька $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ как одного из компонентов триботехнического состава (в пропорции 2–4 % к общей массе) приводит к снижению необходимой для протекания процесса температуры до 300–600 °С.

Второй этап происходит при температуре выше 400–450 °С. Начинается формирование керамического покрытия путем спекания частиц форстерита, образования размягченной стеклообразной массы и последующей ее кристаллизации. Керамический материал образуется на поверхностях в зоне трения за счет наличия поверхностного натяжения основного материала (стали, чугуна) и процесса перемещения вакансий в зернах форстерита на поверхность керамического слоя. Параллельно под действием температуры происходит выведение смазочного материала из покрытия. После выхода поверхностей из области трения действие высокой температуры и давления прекращается, начинается охлаждение и кристаллизация форстеритовой керамики. В качестве центров кристаллизации выступают частицы оксидов Fe_2O_3 , FeO , Al_2O_3 , TiO_2 , находящиеся среди зерен форстерита в образовавшемся слое. Невыполнение приведенных выше условий приводит к отсутствию эффекта формирования керамического покрытия или даже к повышенному изнашиванию поверхностей [3]. Влияние условий протекания процесса образования покрытия на эффективность метода можно представить в виде блок-схемы, приведенной на рисунке.



Рис. Блок-схема процесса формирования покрытия

Приведенная блок-схема позволяет сделать вывод о высоких требованиях, предъявляемых к обработке узлов трения триботехническими составами на основе серпентина. Кроме особенностей протекания процесса образования покрытия существует ряд недостатков, не позволяющих применять технологию для любых пар трения:

1) наличие в некоторых составах микрочастиц сравнительно большого размера (до 300 мкм), попадание которых в узел трения приводит к абразивному изнашиванию поверхностей и снижению ресурса деталей. При сторонних исследованиях было обнаружено отклонение от технических условий при производстве составов. Это касается, в частности, размера частиц. В связи с этим также не рекомендуется использование триботехнических составов в узлах с преобладанием трения скольжения;

2) применение составов в парах трения «мягкий металл–твердый металл» (например, «бронза–чугун») приводит к интенсивному изнашиванию более мягкого материала одновременно с упрочнением более твердого. Данный процесс объясняется прямой зависимостью между параметрами температуры плавления металлов и сплавов и значением их поверхностного натяжения согласно;

3) образуемое форстеритовое керамическое покрытие нарушает процесс теплоотвода от контактирующих поверхностей. В замкнутых системах это может привести к перегреву и выходу узла из строя;

4) ввиду высокой диэлектрической проницаемости керамики не следует применять данный метод в парах трения, обеспечивающих электрическое соединение.

Таким образом, триботехнические составы в том виде, в котором они поставляются потребителям в настоящее время, имеют очень узкий спектр применения. Помимо этого, для каждого конкретного случая требуется разработка технических требований по нанесению состава для увеличения вероятности получения положительного эффекта от обработки.

Ввиду того, что точка нанесения триботехнического состава на поверхность и площадка контакта «колесо–рельс» находятся на значительном расстоянии, необходимо решение, позволяющее удержать частицы состава на поверхности до его попадания в зону трения. Решением стало смешивание частиц триботехнического состава с пластическим смазочным материалом. Полученное таким образом активное вещество при попадании на поверхность удерживает частицы состава до момента формирования покрытия, а затем выводится из керамического материала на втором этапе формирования. Для придания жесткости активное вещество помещается в графитовый стержень. При трении о поверхность бандажа графит стержня изнашивается, обеспечивая дополнительное смазывание поверхности.

Покрытие на поверхности гребня, полученное в результате обработки описанным способом, имеет толщину 50–100 мкм. Наличие слоя керамического материала не изменяет свойства третьего тела и не влияет на химический состав основного металла (бандажной стали). При этом процесс взаимодействия пары трения «бандажная сталь–рельсовая сталь» заменяется комбинацией «керамическое покрытие–рельсовая сталь», что влечет за собой изменение распределения давления и нагрузки в контакте. Форстеритовые керамики в чистом виде имеют следующие характеристики: удельная теплопроводность $\lambda = 1,28–1,36$ Вт/м·К – значительно ниже показателей стали; предел прочности при сжатии $\sigma_{сж} = 10,2–20,5$ МПа, при растяжении $\sigma_p = 2,0–6,5$ МПа, при изгибе $\sigma_{изг} = 5,1–10,0$ МПа – невысокие показатели позволяют использовать данный тип керамики в качестве тонкого покрытия под нагрузкой без образования трещин и выкрашивания материала; коэффициент Пуассона, рассчитанный согласно методике исходя из химического состава образованного покрытия $\nu = 0,193$ – ниже показателей для стали; коэффициент трения пары «керамическое покрытие – рельсовая сталь» относительно пары «бандажная сталь–рельсовая сталь» значительно не изменяется ввиду малой толщины покрытия и отсутствия эффекта шлифовки микрочастицами при соблюдении технологии обработки.

Таким образом, износостойкое керамическое покрытие, которое формируется на поверхности бандажа, непосредственно контактирует с рельсом. При этом изменяется распределение напряжений по контактной площадке и в поверхностных слоях основного металла бандажа, что приводит к снижению интенсивности изнашивания.

Список литературы

1. Буйнов А.П., Умылин И.В. Оптимизация процесса обточки бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 101-104.
2. Буйнов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Уральский государственный университет путей сообщения. Екатеринбург, 2011. 344 с.
3. Буйнов А.П., Шепелева И.О. Увеличение ресурса колесных пар электровозов за счет плазменного упрочнения гребней бандажей // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 182-185.

05.02.18

А.П. Буйносов д.т.н., Н.Г. Фетисова

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

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭКИПАЖНОЙ ЭЛЕКТРОВОЗА

В статье приводятся теоретическое обоснование и основные принципы создания компьютерной математической модели экипажной части электровоза железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, электровоз, экипажная часть, компьютерная модель, создание, принципы.*

Научные достижения и разработки, полученные в лабораторных условиях, перед вводом в эксплуатацию должны пройти натурные испытания, чтобы прийти к выводу о наличии или отсутствии эффективности (например, использование триботехнического состава в контакте «колесо–рельс» как фактор снижения интенсивности износа гребней колесных пар). Но можно пойти по другому пути: создать компьютерную математическую модель, которая, могла бы дать оценку, например, результатов прогнозирования изменения ресурса бандажей колесных пар [1].

Для решения поставленной задачи была реализована математическая модель электровоза методами численного интегрирования уравнений движения с помощью программного комплекса «Универсальный механизм». Объектом моделирования является механическая система электровоза с последующим проведением динамических испытаний при различных условиях эксплуатации. Графический образ компьютерной модели электровоза представляет собой совокупность механических звеньев с заданными параметрами (геометрические размеры, плотность, масса, моменты инерции). Для описания силовых взаимодействий, каждая подсистема элементов проходит поэтапный сбор и объединяется в один блок подсистемы, представленная в виде структуры, отражающая силовые связи тел, входящих в систему (см. рис. 1).

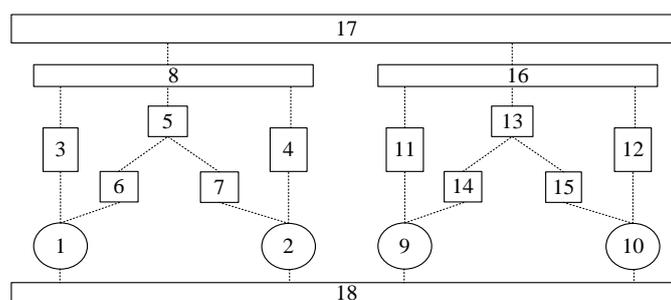


Рис. 1. Структурный блок схема модели электровоза:

1, 2, 9, 10 – колесно-моторный блок; 3, 4, 11, 12 – пружины первой ступени рессорного подвешивания; 5, 13 – листовая рессора; 6, 7, 14, 15 – упруго-диссипативная связь листовой рессоры с подбуксовой балкой; 8, 16 – рама тележки; 17 – кузов электровоза; 18 – путь.

Силовые связи включают: контактные взаимодействия между телами, упругие (пружины первой ступени центрального рессорного подвешивания) и упруго-диссипативные (шарнирные связи рессор) силы. Например, рама тележки, связанная с двумя подсистемами «колесно-моторный блок» связанные с рамой силовыми элементами рессорного подвешивания, формируют подсистему – «тележка» [2]. Листовая рессора заменена телом той же массы, имеющая упруго-диссипативное соединение с подбуксовой балкой играющей роль рычага. Пружина с одной стороны закреплена к раме тележки, с другой с подбуксовой балкой. Пружина заменена упруго-диссипативным элементом [3], параметры которой аналогичны параметрам рессорного подвешивания реального электровоза. Таким образом, произведен переход от последовательно соединенных упругого (пружина) и упруго-

фрикционного (рессора) элементов, имеющих параметры жесткости ($c_{пр.}$ и $c_{ресс.}$), статического прогиба ($f_{ст.пр.}$ и $f_{ст.ресс.}$) и коэффициента трения ($\mu_{ресс.}$) к одному упруго-фрикционному элементу с параметром жесткости $c_{экв.}$ и диссипации $d_{экв.}$. Реализация силы в упруго диссипативном элементе:

$$f = F_0 - c(x - x_0) - d(v - v_0), \tag{1}$$

где x_0 , x – начальная и мгновенная длина силового элемента, м; v_0 , v – начальная и мгновенная скорости силового элемента, м/с; F_0 – сила, действующая на элемент в состоянии покоя, Н; c – коэффициент жесткости (характеризует упругую часть), Н/м; d – коэффициент диссипации, Н·с·м⁻¹.

Таким образом, для каждого силового элемента (пружина, рессора, буксовые поводки и т. д.) отдельно определяется: статическая нагрузка на один элемент; жесткость силового элемента (отношением приращения нагрузки к приращению длины элемента); коэффициент диссипации (учитывает скорость затухания колебаний). После задания тел, шарниров, силовых элементов и подсистем программа производит переход от ввода данных к непосредственному моделированию. Программным комплексом синтезируется математическая модель, представляющая собой совокупность уравнений движения для каждого динамического звена.

При движении бандажа колесной пары по рельсу со скоростью v в пятне контакта действует несколько сил: сила продольного крипа F_{cx} , направленная вдоль линии движения и характеризует величину проскальзывания колеса вдоль оси ОХ; сила поперечного крипа F_{cy} , описывает проскальзывание поверхностей колеса и рельса в плоскости перпендикулярной движению, и направленной вдоль касательной к пятну контакта; результирующая сила F_c ; нормальная реакция N , располагается по нормали к месту контакта и зависит от осевой нагрузки локомотива, характеристик рессорного подвешивания и участка движения.

Во время движения электровоза, сила продольного крипа оказывает наибольшее влияние на износ гребня, так как вызвана явлением самоцентрирования колесной пары в кривой. Для подтверждения данной гипотезы было проведено моделирование динамики электровоза, движущегося с начальной скоростью 25 км/ч, по участку профиля пути на рельсах Р65, который включает в себя: прямую длиной 30 м; переходную кривую длиной 50 м; правую кривую радиусом 150 м и длиной 400 м; левую кривую радиусом 200 м и длиной 300. Исходный профиль бандажа ГОСТ 11018-2011 начальный прокат и подрез гребня отсутствовали. Исследование эволюции профиля поверхности катания бандажа колесной пары проводилось поэтапно. Движение моделировалось на каждом этапе в соответствии с выбранным участком с различными скоростями. Результаты шага сравнивались, выводилось среднее значение параметров крипа и износа, на основании которого строилась кривая измененного профиля колеса. Рассматривались две ситуации моделирования, отличавшихся параметрами материалов контактирующих поверхностей в системе «колесо–рельс»: обработанные и необработанные триботехническим составом НАП [2]. Для каждой ситуации был проведен анализ эволюции профиля, состоящий из ста итераций.

Коэффициент трения Пуассона при использовании ТС НАП был уменьшен до значения 0,22 для учета влияния гребневых колодок на качество получаемого стеклокерамического покрытия. Значение крипа описывается отношением скорости скольжения колеса по рельсу к скорости продольного движения

$$\begin{cases} \xi_x = \frac{v_x}{v_0} \\ \xi_y = \frac{v_y}{v_0} \end{cases}, \tag{2}$$

где v_x , v_y – скорость пятна на поверхности колеса в месте контакта относительно рельса, м/с; v_0 – скорость продольного движения колесной пары, м/с.

Помимо сил крипа в пятне контакта также можно описать спин колеса, так называемый «поворотный крип»

$$\phi = \frac{\omega_n}{v_0}, \quad (3)$$

где ω_n – проекция абсолютной угловой скорости колесной пары на плоскость в которой происходит контакт колеса и рельса, 1/с.

При моделировании движения подвижного состава возможен расчет фактора износа, описывающего работу сил крипа за определенный промежуток времени

$$A_{\text{кр.}} = \int_0^t [-\vec{F}_{cx} \cdot \vec{v}_x - \vec{F}_{cy} \cdot \vec{v}_y] dt, \quad (4)$$

где F_{cx} , F_{cy} – соответственно продольная и поперечная силы крипа, Н; v_x , v_y – скорость скольжения колес относительно рельса в направлении действия продольного и поперечного крипа, м/с.

Исследование эволюции конфигурации профиля бандажей колесных пар локомотива проводилось на основе модели износа ВНИИЖТ-1, встроенной в программный комплекс «Универсальный механизм». Модель основывается на гипотезе о зависимости объемного износа материала колесных пар от работы сил крипа

$$I = k_I \cdot \xi^2 \cdot p, \quad (5)$$

где I – объемный износ металла, м³; k_I – коэффициент износа, м³/Дж. Для стали $k_I = 1 \cdot 10^{-13}$ м³/Дж; p – максимальное контактное давление, Па; ξ – полный крип.

В процессе моделирования для каждой ситуации производилась фиксация значений удельного объемного износа, по результатам которых были построены зависимости параметра $\Delta V_{\text{уд.}}$ от пробега. Графически эти зависимости представлены на рис. 2.

При анализе картины износа было замечено, что, несмотря на увеличение интенсивности объемного износа, с ростом пробега уменьшается толщина слоя изнашиваемого металла. Это можно объяснить несколькими причинами: явлением приработки поверхностей (за исходный был взят неизношенный профиль), постепенным увеличением площади поверхности, на которой происходит изнашивание.

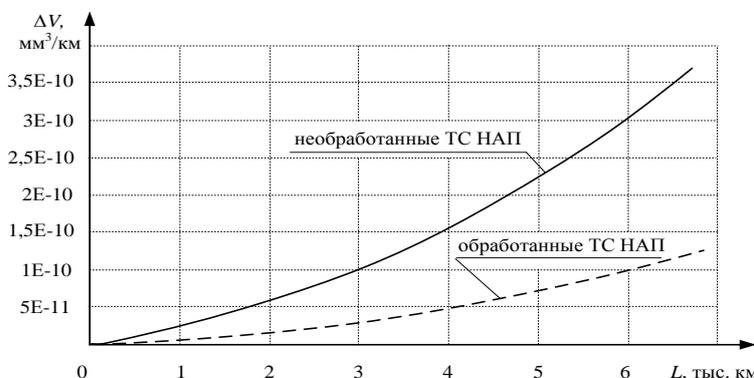


Рис. 2. Зависимость удельного объемного износа от пробега

Величина ресурса бандажа колесной пары до обточки, лимитируемой по минимальной толщине гребня, после обработки гребней триботехническим составом НАП увеличилась 1,95 раза, и составляет 9855 км. При среднемесечном пробеге электровоза 1385 км, наработка бандажа составляет 7,12 месяца. Полученный результат подтверждается данными статистического анализа, что свидетельствует о правильном выборе изменяемых параметров при моделировании. Относительная погрешность расчета не превышает 10 %.

Список литературы

1. Буйносов А.П., Умылин И.В. Оптимизация процесса обточки бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 101-104.
2. Буйносов А.П., Умылин И.В. Новый блок управления системы гребнесмазывания железнодорожного подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 6. С. 99-101.
3. Буйносов А.П. Методика определения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Транспорт: наука, техника, управление. 2013. № 2. С. 37-39.

05.02.00

**Т.Н. Охлопков, Н.В.Петров, Е.Е. Анисимов,
А.И. Борисов, Д.В. Андреев, И.Н. Ушницкий**

ФГАОУ ВПО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
автодорожный факультет кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»
Якутск, tixontanya@mail.ru

ДВОЙНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ ВЕТРОВЫХ СТЕКОЛ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В статье предложен способ повышения комфортности транспортных средств эксплуатируемых в зимних условиях путем двойного остекления ветровых стекол транспортных средств. При эксплуатации транспортных средств в зимний период, где температура окружающего воздуха колеблется в среднем от -30 до -55 градусов по Цельсию на примере г.Якутска Республики Саха (Якутия) комфорт существенно снижается.

Ключевые слова: *фактор, ветровое стекло, видимость, обзорность, комфорт, микроклимат.*

Введение

Техническую эксплуатацию автомобилей можно представить как область практической деятельности и как науку, которая определяет пути и методы наиболее эффективного управления техническим состоянием автомобильного парка с целью обеспечения регулярности, безопасности и экономичности перевозок [1].

Сезонное техническое обслуживание (СО) проводится 2 раза в год при подготовке автомобильного транспорта к эксплуатации в холодное или теплое время года. В качестве отдельно планируемого вида сезонное обслуживание рекомендуется проводить в районах холодного климата. В остальных районах сезонное обслуживание совмещают с ТО-2 (или ТО-1) с увеличением трудоемкости. Все виды технического обслуживания автомобилей проводят в объеме перечня основных операций, приводимых в Положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта и инструкциях заводов-изготовителей автомобилей [2].

Роль ветрового стекла в автомобильном транспорте

Основные функции ветрового стекла:

Отделение салона транспортного средства от окружающей среды для формирования микроклимата - обогрева салона, кондиционирования воздуха, защита от потока воздуха, защита от насекомых, пыли, грязи и других негативных воздействий, формирование аэродинамических характеристик транспортного средства, вклад в формирование облика транспортного средства

Для остекления автомобилей транспортных средств используют безопасные стекла. Стекла безопасные выпускаются двух типов – закаленное стекло и многослойное стекло – «триплекс»

Закаленное стекло представляет собой стекло, подвергнутое специальной термической обработке – закалке, в результате которой в объеме стекла возникают закономерно распределенные внутренние напряжения, повышающие механическую прочность стекла и обеспечивающие особый (безопасный) характер его разрушения.

При изготовлении закаленного стекла используют стекло листовое полированное марок M_1 , M_2 , M_3 ГОСТ 111-90 и окрашенное в массу, выпускаемое по нормативной документации, утвержденной в установленном порядке (НД).

Закаленное стекло получают двух видов – плоское и гнутое. Последнее в свою очередь может иметь постоянную (одинарную) или переменную кривизну.

Главным свойством закаленного стекла является повышенная механическая прочность. При степени закалки, достигаемой в промышленных условиях (до 4 Н/см), предел прочности стекла при изгибе достигает 250 МПа, т.е. более чем в пять раз выше, чем у обычного

листового стекла. При этом упругость закаленного стекла, характеризуемая стрелой прогиба, возрастает в 4-5 раз.

«Триплекс» представляет собой трехслойное листовое изделие, изготовленное путем склеивания двух листов неорганического стекла с помощью бесцветных органических составов и пленок, образующих внутренний (третий) слой. В качестве наружных слоев применяют листовое полированное стекло марок M_1, M_2, M_3 ГОСТ 111-90. В качестве склеивающего материала наиболее распространены пленки. При изготовлении многослойных стекол используют поливинилбутиральную (ПНБ) пленку «Сафлекс». Пленка обладает высокой прозрачностью, высокой адгезией к силикатному стеклу, эластичностью. Наличие эластичной склеивающей прокладки, прочно скрепленной с наружными листами стекла по всей их плоскости, обеспечивает основное свойство «триплекса» - безосколочность при разрушении стекла в результате воздействия механических или тепловых нагрузок: при образовании трещин отдельные куски стекла остаются прикрепленными к пленке [3].

Двойное остекление автомобильного транспорта эксплуатируемых в условиях низких температур

При эксплуатации транспортных средств в зимний период, где температура окружающего воздуха колеблется от -30 до -55 градусов по Цельсию на примере г.Якутска Республики Саха (Якутия) комфорт существенно снижается. Снижается видимость, обзорность, светопропускание ветрового стекла. Это объясняется тем что, ветровое стекло начинает запотевать, далее образуется наледь. Микроклимат в кабине транспортного средства резко меняется вследствие снижения температуры, где основным проводником температуры является ветровое стекло. Все перечисленные факторы снижают комфортность транспортного средства [4,5,6,7].

Предлагается способ повышения комфортности транспортных средств путем двойного остекления.

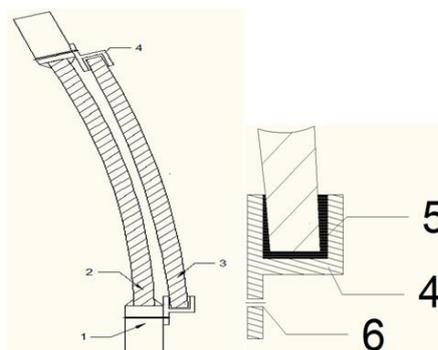


Рис. 1- Схема общего вида двойного остекления: 1-кузов транспортного средства; 2 ветровое стекло транспортного средства; 3-двойное стекло; 4-поддерживающая деталь; 5- Уплотнитель; 6 – отверстие поддерживающей детали

На кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова на автомобиль УАЗ «Фермер» установили двойное остекление.



Рис. 2- Общий вид двойного остекления: 1-поддерживающая деталь; 2-кузов транспортного средства; 3-двойное стекло; 4-клеевое соединение

Технологическая схема процесса следующая:

1. В кузов транспортного средства устанавливают поддерживающую деталь (болтовое, сварное, заклепочное соединение и т.д.). Деталь может быть выполнена из любого прочного материала. Главным отличием детали является то, что, левая его часть обеспечивает необходимое расстояние для создания отдельного микроклимата между стеклами. Кроме этого прочно фиксирует двойное стекло в кузов транспортного средства.

2. Внутреннюю поверхность поддерживающей детали наполняют уплотнителем как показано на рис.2. Уплотнитель выполнен из эластичного материала (резина, герметик, и т.д.). Уплотнитель обеспечивает «мягкую посадку» двойного стекла на поверхность поддерживающей детали. Это необходимо для сохранения геометрических форм кромки двойного стекла.

3. Двойное стекло фиксируется, как показано на рис.2. Двойное стекло имеет те же геометрические характеристики что, и ветровое стекло транспортного средства. Поддерживающая деталь в данном случае установлена в четырех точках. В зависимости от конструкции кузова транспортных средств число точек может изменяться. Перед установкой необходимо тщательно очистить наружную поверхность ветрового стекла, внутреннюю поверхность двойного стекла специальными средствами очистки для стекол.

4. Клеевым соединением обеспечивается герметичность между ветровым и двойным стеклом как показано на рис.2. В данном случае использовали клей ленту (черного цвета) с шириной 50 мм. Клей ленту перед нанесением на поверхность кузова и двойного стекла предварительно подогреть строительным феном.

Список литературы

1. Малкин В.С. Теоретические и практические аспекты учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Издательский центр «Академия», 2007 г.1 - 288 с.
2. <http://www.carshistory.ru/b/tehnich/314.html> дата обращения 26.02.2016 года.
3. Маневич В.Е, Чесноков А.Г, Емельянова О.А, «Автомобильные стекла» ОАО «Институт стекла» 1-11 стр. 2002 г. г.Москва http://glassinfo.ru/articles/2002_07_avtomobilnie_stekla.pdf дата обращения 02.02.2016 г.
4. Шелякин А.С. Актуальность разработки методики количественной оценки приспособленности легковых автомобилей к зимним условиям эксплуатации по температурному режиму воздуха в салоне // Известия вузов. Нефть и газ. г.Тюмень, 1999 г.№3, с 100-104.
5. Шелякин А.С. Влияние работы отопителя на длительность прогрева двигателя// Транспортные средства Сибири: межвузовский сборник научных трудов с международным участием. Красноярск: КГТУ, 1999 г. с 248.
6. Шелякин А.С. Методика перехода от экстремального к региональным коэффициентам приспособленности легкового автомобиля к зимним условиям эксплуатации по температурному режиму воздуха в салоне//Транспортные средства Сибири: межвузовский сборник научных трудов с международным участием. г.Красноярск КГТУ, 1999 г с 250.
7. Шелякин А.С. Показатели приспособленности легкового автомобиля к низкотемпературным условиям эксплуатации по температурному режиму воздуха в салоне// Вестник. Уральское межрегиональное отделение. Курган: КГУ, 1999 г с 72.

05.02.08

А.П. Сергиев д.т.н., А.В. Журавлев, А.В. Макаров к.т.н., В.С. Долгих

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова
(филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»
tomm_sti_misis@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ ВИБРАЦИОННОЙ АБРАЗИВНОЙ МАШИНЫ НА ДИНАМИКУ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В статье приведен хронологический анализ математических моделей взаимодействия гранулированной сыпучей среды с вибрирующим основанием. Теоретически и экспериментально подтверждено формирование волн сжатия-растяжения и указаны направления оптимизации и стабилизации устойчивости амплитудно-частотных характеристик волн сжатия-растяжения.

Ключевые слова: математическая модель, гранулированная среда, оптимизация, виброабразивная обработка, упруго-вязкие среды, волны сжатия-растяжения.

Создание общей теории вибрационных машин связано с изучением единой динамической системы, включающей рабочий контейнер с вибровозбудителем, основанием и электродвигателем, при ее взаимодействии с технологической загрузкой в виде сыпучей среды. Вопрос взаимодействия сыпучей среды с вибрирующим органом исследован крайне недостаточно. Исследования в основном сводятся к построению феноменологических моделей сыпучей среды в виде упруго-вязких элементов и сосредоточенных масс, имитирующих реологические характеристики среды.

При изучении движения сыпучей среды на основе общих законов механики возможно предсказать основные качественные черты поведения упруго-вязких сред. Для описания движения используются, как правило, дифференциальные уравнения. Недостатком является большая трудоемкость получения результатов, так как приходится решать систему дифференциальных уравнений.

Упруго-вязкая модель, предложенная И.Ф.Гончаревичем[1], позволила получить расчетные значения весьма близкие к натуральным результатам и качественно объяснить целый ряд явлений, позволивших идентифицировать процесс вибротранспортирования. В предложенной модели сыпучая масса транспортируемого груза представлена в виде сосредоточенной массы, соединенной с вибрирующим основанием упругими элементами с сопротивлениями пропорциональными скорости, при этом значения эквивалентных сопротивлений перемещению груза при совместном движении и при отрыве частиц имеют свои значения, что в итоге требует определения девяти параметров системы для ее идентификации.

Следует отметить, что при этом не учитывается обратное воздействие транспортируемого груза на закон движения вибротранспортера, хотя последнее обстоятельство весьма существенно при значительных массах транспортируемых материалов, характеризующих вязкость среды.

Идентификация моделей сопряжена с трудоемкими математическими вычислениями и требует получения достаточного большого количества экспериментальных данных. Кроме того, даже с помощью весьма сложных моделей не удастся исследовать все многообразие физических явлений, проявляющихся при взаимодействии технологической загрузки с грузонесущим органом.

При моделировании поведения упруго-вязких сред при объемной вибрационной обработке модель должна быть значительно усложнена, так как обработка происходит в прямоугольных, торообразных или спиральных контейнерах с круглым, U-образным или прямоугольным поперечным сечением.

Известны модели, где сыпучую среду рассматривают как совокупность однородных абсолютно твердых гладких сферических частиц одинакового диаметра. При воздействии на среду вибрации принимают, что соударение частиц не является вполне упругим, но удар всегда центральный.

При рассмотрении модели сыпучей среды вводится понятие квазitemпературы, пропорциональной дисперсии скорости частиц (средней энергии хаотического движения). Для наиболее простого случая возбужденной среды методами физической кинематики для макровеличин (средней плотности в точке, средней скорости в точке и квазitemпературе в точке) получены уравнения движения (Навье-Стокса), неразрывности и теплопроводности [2].

В процессе отделочно-зачистной обработки в вибромашинах происходит достаточно интенсивное движение деталей относительно абразивной массы. Поэтому модели должны быть способны учитывать не только циркуляционную скорость (круговые движения) всей смеси абразива с деталями, но и изменение плотности всей массы по сечению контейнера. Важным показателем при этом является сила взаимодействия частиц загрузки со стенками контейнера и между собой.

Изучение движения «меченых» частиц массы загрузки вибромашины на кадрах скоростной видеосъемки позволило сформулировать требования к механо-реологической модели, представленной на рис. 1.

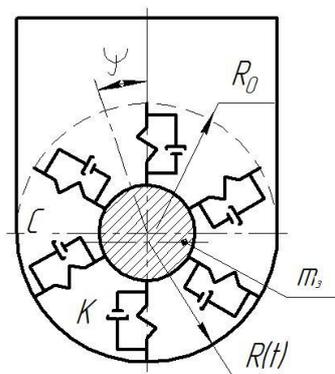


Рис. 1. Механо-реологическая модель массы загрузки:

C – жесткость среды; K – вязкость среды; R_0 и $R(t)$ – исходный и текущий радиусы загрузки; m_3 – масса загрузки; ψ – угол поворота загрузки

При контакте модели загрузки с поверхностью рабочей камеры ее жесткость характеризуется величиной C того элемента упругости, который находится нормально к поверхности (остальные в контакте не участвуют). Аналогично реологические свойства среды характеризуются соответствующим демпфером K нормальным к поверхности.

Поскольку скорость вращения загрузки значительно меньше частоты колебания вибратора, то поворот загрузки характеризуется углом ψ и соответственно скоростью вращения загрузки. Радиус загрузки в положении статического равновесия равен радиусу рабочей камеры R . В процессе виброобработки загрузка сжимается и ее радиус принимает некоторое значение $R(t)$.

Модель, предложенная А.П. Сергиевым [3] не требует трудоемких математических вычислений и проведения большого количества предварительных экспериментов, а также при определенных значениях C и k , принятых на основании косвенных экспериментальных наблюдений, позволила получить качественную картину влияния массы загрузки на характер колебания вибромашины, что свидетельствует о наличии значительного эффекта взаимодействия технологической загрузки с грузонесущим органом.

В частности удалось показать, что при определенном сочетании упруго-вязких параметров среды, система может перейти в режим нестационарных колебаний. Вследствие этого, при исследовании динамики машины не следует исключать вязко-реологические свойства среды как фактор, влияющий на колебательные процессы вибрационной машины.

Производительность обработки в абразивных средах зависит от полезной работы,

совершаемой при взаимодействии абразивных гранул, выполняющих роль режущего инструмента, с обрабатываемой поверхностью. Исследование характера распространения колебаний сыпучей среды внутри ограниченного стенками контейнера показало, что частицы выстраиваются в цепочки, а частота столкновений между частицами внутри среды может значительно отличаться от частоты колебаний контейнера в зависимости от уровня вибровозбуждения, что неоднократно наблюдалось при анализе движения частиц, зафиксированного скоростной видеосъемкой.

В открытых контейнерах при вибровозбуждении

$$A\omega^2 > g,$$

где A – амплитуда колебаний, ω – частота колебаний, g – ускорение свободного падения, прохождение ударного импульса сопровождается увеличением объема загрузки, то есть разрыхлением среды и скачкообразным ростом сдвигового течения материала, объясняемого дилатансией, впервые наблюдавшейся О. Рейнольдсом.

Реологическое состояние сыпучей среды может существенно меняться в зависимости от величины и соотношения целого ряда факторов, важнейшими из которых являются частота и амплитуда колебаний при постоянстве компонентов гранулированной среды.

При передаче энергии от стенок контейнера к частицам среды происходит колебание этих частиц около своих положений равновесия, вследствие чего колебательное движение начинает распространяться в среде от частицы к частице с некоторой скоростью, образуя продольную волну[4].

Упруго деформированная среда, возвращаясь в недеформированное состояние после контакта со стенкой рабочей камеры, способна совершать работу, то есть она обладает запасом энергии. Плотность энергии в каждый момент времени в разных точках пространства различна и изменяется по закону квадрата синуса. Тогда среднее значение плотности энергии в каждой точке среды будет равно:

$$\bar{u} = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2, \quad (1)$$

где ρ – плотность среды, A – амплитуда колебаний, ω – частота колебаний.

Логично предположить, что по мере возрастания подводимой энергии колебаний, зона сжатия (уплотнения) будет увеличиваться, а зона разрыхления уменьшаться и общая интенсивность процесса будет замедляться. При дальнейшем увеличении частоты колебаний в системе появится возможность появления кратной частоты продольной волны, где будут возникать две зоны сжатия и две зоны разрежения.

При определенном сочетании геометрических параметров рабочей камеры и упруго-вязких характеристик среды может установиться стоячая волна. Наблюдаемое явление особенно ярко наблюдается в тороидальных контейнерах, где волны не отражаются от противоположных стенок, а циркулируют по окружности.

Съем металла может осуществляться только в зоне разрыхления, где существуют условия для перемещения абразивных гранул относительно обрабатываемых поверхностей.

Аналитические и экспериментальные исследования показали, что математическая модель, обеспечивающая максимальную интенсивность съема металла при виброабразивной обработке, будет определяться зависимостью:

$$M_{opt} = f(A^2 \omega^2), \text{ при } \omega \rightarrow \omega_{opt}. \quad (2)$$

Таким образом, интенсивность процесса обработки зависит от количества энергии, передаваемой от стенок контейнера частицам среды посредством образующейся продольной волны, которую можно оптимизировать за счет подбора частоты колебаний при фиксированных значениях амплитуд. Форма и объем контейнера, а также соотношение жидкой и гранулированной фаз играют достаточно высокую роль и влияют на значение постоянного коэффициента, определяющего тангенс угла наклона кривой.

Перспективным направлением оптимизации процесса и стабилизации параметров бегущей волны или резонансной волны является создание искусственных зон торможения по периметру движения технологической загрузки в рабочих камерах, совершающих пространственные математические колебания.

Список литературы

1. *Гончаревич И.Ф.* Исследование вибрационных транспортирующих машин с ограниченным возбуждением // Нелинейные колебания и переходные процессы в машинах. – М., 1972. – С.25-38.
2. *Раскин Х.И.* Применение методов физической кинетики к задачам вибрационного воздействия на сыпучие среды. ДАН СССР. – 1975. – №1. – С. 54-57.
3. *Сергиев А.П.* Отделочная обработка в абразивных средах без жесткой кинетической связи: Автореф. дис.... д-ра тех. наук. – Тула, 1990. – 50с.
4. *Сергиев А.П., Проскурин Д.А., Макаров А.В.* К вопросу о волновой природе механизма съема металла при виброабразивной обработке // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2014. – №8(61). – С. 12-15.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ (05.11.00)**

05.11.00

А.С. Грибанов к.т.н., А.Г. Ефимов, И.В. Нелин к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), факультет Радиовтуз МАИ, кафедра 44-3 «Аналоговые и цифровые радиоэлектронные системы», Москва, kaf-44-3@yandex.ru

ПОСАДКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ОТСУТСТВИИ ВИДИМОСТИ

Посадка летательного аппарата (ЛА) - один из самых сложных этапов полёта, так как при уменьшении высоты (в критических ситуациях) требуется высокая скорость принятия решения, что доступно только безинерционным системам автоматического управления. Несмотря на внедрения новых технологических решений в авиационную технику и в системы управления воздушным движением, случаи посадки летательного аппарата без участия оператора единичны. С другой стороны возможности оператора ограничены в условиях ограниченной видимости. Применение приборов измерения высоты на малых дальностях ограничено в связи с высокой погрешностью измерения. Поэтому решение задачи измерения высоты полета летательного аппарата на малых и сверхмалых высотах при заходе на посадку и исследование методов измерения расстояний на малых дальностях и в отсутствии видимости является актуальной.

Ключевые слова: *летательный аппарат; точность измерения высоты; автоматическая посадка ЛА.*

В настоящее время известны способы измерения высоты полета летательных аппаратов с использованием: радиовысотометров с импульсной модуляцией, которые используются для измерения больших высот и применяются преимущественно в военной авиации, в космонавтике, при аэрофотосъемке и в других специальных целях; радиовысотометров с частотной модуляцией, которые имеют диапазон измерений до нескольких сотен метров и используются в основном при заходе самолета на посадку.

Для измерений малой высоты преимущественно используют частотно-модулированные сигналы, частота которых изменяется по синусоидальному, пилообразному, треугольному и другим законам частотной модуляции; для «слепой» посадки летательных аппаратов и посадки в беспилотном режиме точность радиовысотомера такого типа недостаточна. Оптические высотометры измеряют высоту с высокой точностью на малых и сверхмалых высотах при заходе летательного аппарата на посадку, но неработоспособны в экстремальных ситуациях (туман) и тем более в беспилотном режиме.

Поэтому выбираем диапазон волн с достаточно короткой длиной волны (мм), что обеспечивает высокую точность измерения и в то же время малое затухание в зоне измерения (рис. 1).

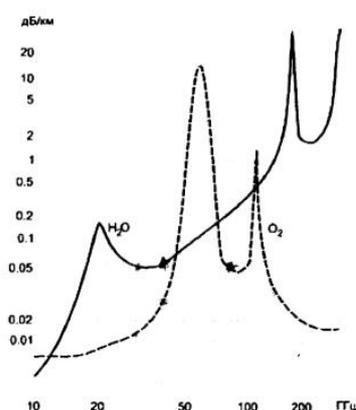


Рис. 1- Погонные потери радиосигнала в газах атмосферы

Предполагаем, что имеется ряд излучателей диапазона мм волн на посадочной полосе по линии глissады. Принимаем сигнал наземного излучателя мм диапазона длин волн, отраженный от ЛА и смещенный по частоте за счет доплеровского сдвига. Фиксируем моменты времени, когда доплеровский сдвиг частоты f_d достигнет измеряемого значения и момент времени, когда доплеровский сдвиг частоты достигнет значения, обратного измеряемому ($-f_d$) и определяем интервал времени Δt между этими замерами. Далее рассчитываем высоту полета ЛА на малых и сверхмалых высотах при заходе на посадку по формуле (1):

$$h = \frac{\Delta t \cdot V}{2} |tg(\pm\varphi)| \tag{1}$$

При этом, значения углов φ и $-\varphi$, образованных вектором направления скорости ЛА и направлением луча от ЛА на приёмопередатчик (датчик) определяем по формуле (2):

$$\varphi = \arccos \frac{\lambda \cdot f_d}{V} \tag{2}$$

где λ - длина волны излучения; f_d - доплеровский сдвиг частоты; V - скорость летательного аппарата.

На рис. 2 показана схема определения высоты полета ЛА на малых и сверхмалых высотах при заходе на посадку.

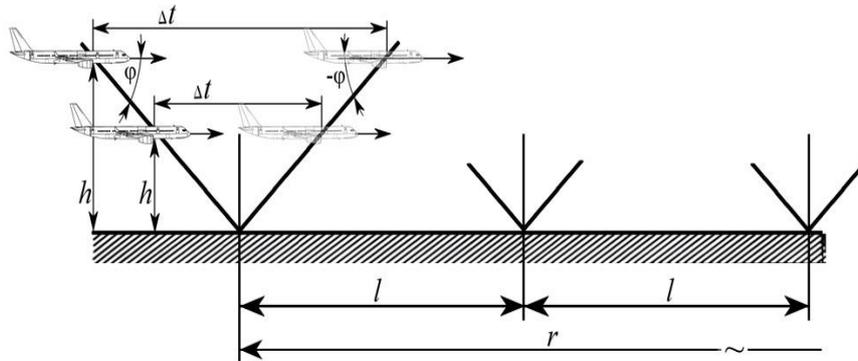


Рис.2 - Схема определения высоты полета ЛА на малых и сверхмалых высотах при заходе на посадку.

Определяемые величины: высота полета и значения угла, образованного направлением вектора скорости и направлением вектора от ЛА на излучатель. Излучатели располагаются по проекции глissады, а первый датчик размещается под местом принятия решения о посадке (зависит от класса ЛА заходящего на посадку).

На рис. 3 изображено изменение доплеровского сдвига в зависимости от скорости движения ЛА.

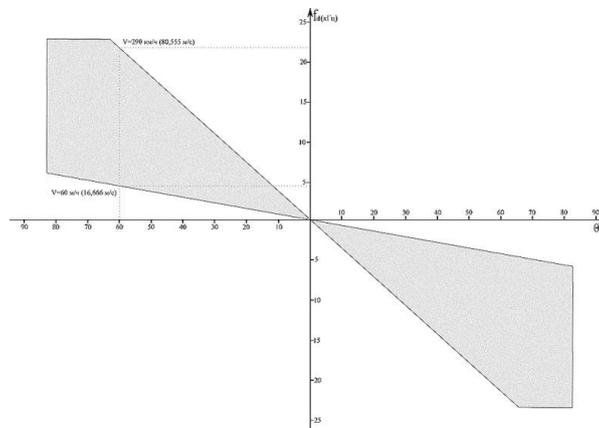


Рис. 3 - Изменение доплеровского сдвига в зависимости от скорости движения ЛА и его угла места.

Значение доплеровского сдвига не зависит от высоты движения ЛА, но зависит от вектора направления скорости и направления на приёмопередатчик (датчик).

Значение доплеровского сдвига частоты сигнала, отраженного от ЛА сигнала передатчика определяется по формуле (3):

$$f_d = f_n \frac{V \cos(\varphi)}{c} \quad (3)$$

где f_n - несущая частота передатчика; V - скорость движения ЛА; f_d - доплеровский сдвиг; c - скорость света.

Расчет высоты производят по описанному в начале алгоритму. Итоговая формула для расчета высоты полета ЛА получается в результате подстановки (2) в (1):

$$h = \frac{\Delta t V}{2} \left| \operatorname{tg}(\pm \arccos \frac{\lambda f_d}{V}) \right| \quad (4)$$

Из выражения видно, что погрешность определения высоты зависит от погрешности измерения времени и погрешности измерения доплеровского сдвига частоты. Т.к. интервал времени между точками измерения равен сотым долям секунды, то возможно измерение высоты с малой погрешностью.

Погрешность измерения доплеровского смещения частоты определяется полосой фильтра в тракте обработки сигнала. Ошибка в определении частотного сдвига приводит к ошибке в определении угла места и, как следствие, к ошибке в вычислении высоты полета ЛА.

Поскольку данный метод ориентирован на измерение малых и сверхмалых высот, то рассмотрим пример с параметрами: частота несущего колебания $f_n=190$ ГГц; целевая частота Доплера 20 кГц; скорость полета ЛА $V=60$ м/с; высота полета ЛА в момент измерения 1 м; требуемая погрешность измерения высоты 10 % (0.1 м).

Угол места составляет:

$$\varphi = \arccos \frac{\lambda \cdot f_d}{V} = \arccos \frac{1,578 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^3}{60} = 58.268 \quad (5)$$

Время полета ЛА от точки с положительным смещением частоты Доплера до точки с отрицательным смещением частоты Доплера, равным по абсолютному значению, составляет 0.0206 секунды.

Для расчета максимальной ошибки при измерении частоты Доплера, обеспечивающей заданную максимальную погрешность, произведем следующую последовательность действий. Из формулы (1) выразим скорость полета ЛА:

$$V = \frac{2h}{\Delta t |\operatorname{tg}(\pm \varphi)|} \quad (6)$$

Подставим (6) в (3) и упростим:

$$f_d = \frac{2h f_n \cos^2(\varphi)}{c \Delta t \sin(\varphi)} \quad (7)$$

Для нахождения отклонения частоты Доплера от целевой частоты Доплера нам необходимо из целевой частоты Доплера вычесть частоту Доплера, измеренную с ошибкой.

$$\Delta f_d = f_d - \frac{2(h \cdot 1,1) f_n \cos^2(\varphi)}{c \Delta t \sin(\varphi)} \quad (8)$$

$$\Delta f_d = 20 \cdot 10^3 - \frac{2 \cdot (1 \cdot 1,1) \cdot 190 \cdot 10^9 \cdot \cos^2(58.268)}{c \cdot 0,0206 \cdot \sin(58.268)} = 2000 \text{ Гц}$$

Полоса пропускания полосового фильтра должна быть равна:

$$2\Delta f_d = 4 \text{ кГц}$$

Величина погрешности измерения по высоте определяется из следующих соображений [1]:

$$f_d = f_n * \frac{V}{c} * \frac{h}{\sqrt{(V * \Delta t)^2 + h^2}} \quad (9)$$

Отсюда находим: $\Delta t = F(h)$ и $V = F(h)$.

Разлагая нелинейную функцию $f(h)$, связывающую оцениваемый параметр h с измеряемыми параметрами Δt и V , в ряд Тейлора в окрестности точки h_0 и сохраняя только члены первого порядка малости, получим:

$$\overline{\Delta t} = \Delta t_0 + \overline{M} \cdot (h - h_0) \quad (10)$$

где $\Delta t_0 = f(h_0)$;

M – градиент $f(h)$ или значение производной в точке h_0 .

Точка h_0 может быть получена как одно из предыдущих приближений h или по априорной информации. Предполагаем, что точка h_0 достаточно близка к h , так что приближение (10) является хорошим.

Перепишем выражение (10) в виде:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta t} &= \overline{M \Delta h} \\ \overline{\Delta t} &= \overline{\Delta t} - \overline{\Delta t_0} \\ \overline{\Delta h} &= \overline{h} - \overline{h_0} \end{aligned} \tag{11}$$

Если погрешности измерения измеряемых параметров являются нормальными случайными величинами, то максимально правдоподобную оценку значения величины h можно определить следующим образом:

$$\overline{\Delta h} = M \Delta(\Delta t)$$

Ошибка определения высоты в зависимости от ошибки определения времени:

$$\frac{\delta \Delta t}{\delta h} = \frac{1}{V \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \tag{12}$$

$$\delta h = \frac{\delta \Delta t^{-1}}{\delta h} \cdot \Delta f_{\Delta} \tag{13}$$

Для данного примера: при ошибке измерения времени в 1 секунду ошибка измерения высоты равна $\delta h = 1.9 \cdot 10^5$.

Ошибка определения высоты в зависимости от ошибки определения скорости:

$$\frac{\delta V}{\delta h} = \frac{2}{\Delta t \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \tag{14}$$

$$\delta h = \frac{\delta V^{-1}}{\delta h} \cdot \Delta f_{\Delta} \tag{15}$$

Для данного примера: при ошибке измерения скорости в 1 м/с ошибка измерения высоты равна $\delta h = 33$.

Преобразуя формулу (3) получим, что:

$$f_{\Delta} = f_{\text{н}} \cdot \frac{V}{c} \cdot \frac{h}{\sqrt{(V \cdot \Delta t)^2 + h^2}} \tag{16}$$

$$\frac{\delta f_{\Delta}}{\delta h} = \frac{f_{\text{н}} \cdot V}{c \cdot \sqrt{(V \cdot \Delta t)^2 + h^2}} - \frac{h \cdot V \cdot f_{\text{н}}}{2c \cdot \sqrt{(8h)^3}} \tag{17}$$

$$\delta h = \frac{\delta f_{\Delta}^{-1}}{\delta h} \cdot \Delta f_{\Delta} \tag{18}$$

Зависимость доплеровского смещения от скорости (определяет ширину фильтра):

$$\frac{\delta f_{\Delta}}{\delta V} = \frac{f_{\text{н}} \cdot h}{c \cdot \sqrt{(V \cdot \Delta t)^2 + h^2}} - \frac{h \cdot V \cdot f_{\text{н}}}{2 \cdot c \cdot \sqrt{(2 \cdot V \cdot \Delta t)^3}} \tag{19}$$

$$\Delta f_{\Delta} = \frac{\delta f_{\Delta}^{-1}}{\delta V} \cdot \Delta f_{\Delta} \tag{20}$$

Для рассмотренного выше примера погрешности измерений будут равны: $\delta h = 0.1$ м; $\delta V = 0.44$ м/с.

Погрешность измеренного времени от высоты полета ЛА можно найти из формул:

$$\Delta t = h \cdot \frac{\sqrt{(V \cdot f_{\text{н}})^2 - (c \cdot f_{\Delta})^2}}{c \cdot f_{\Delta} \cdot V} \tag{21}$$

$$\frac{\delta(\Delta t)}{\delta h} = \frac{\sqrt{(V \cdot f_{\text{н}})^2 - (c \cdot f_{\Delta})^2}}{c \cdot f_{\Delta} \cdot V} \tag{22}$$

Для данного примера погрешность составит 0.027 с/м.

Обработку полученного сигнала целесообразно вести на промежуточной частоте. Если промежуточная частота равна 100 кГц, то требуемая добротность фильтра равна 25, что вполне реализуемо.

Таким образом, можно рассчитать высоту полета ЛА на малых и сверхмалых высотах при заходе на посадку. Область изменения частоты принимаемого сигнала можно выбрать линейной и чувствительность метода будет весьма высокой. Способ измерения автономен и не требует переоборудования ЛА. Передача текущего значения высоты осуществляется по штатным линиям связи с ЛА. Метод позволяет измерять высоту любого аппарата без специального бортового оборудования. Погрешность измерения высоты 0.1 м при ширине фильтра в тракте обработки 2 кГц, частоте Доплера 20 кГц и несущей частоте 190 ГГц, погрешности измерения скорости 0.44 м/с, погрешности измерения интервала времени 0.027 с/м - не превышает 0.1*h*. Точность измерения высоты полета ЛА не зависит от его высоты полета, что позволяет получить низкую погрешность измерения малых высот ЛА при заходе на посадку.

Список литературы

1. *Torrieri Don j.* Staisyical Theory of Passive Location system. IEEE Trans, 1982, v.AES-18, N 2, p.p.183-197.

05.11.00

Х.М. Гукетлов, Л.Т. Карданов, Ш.М. Сурхайханов, И.А. ХамуковаФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
123guket@rambler.ru**К ВОПРОСУ УЧЕТА РЕСУРСОВ СВЕТОВОГО КЛИМАТА ГОРОДА НАЛЬЧИКА**

В статье приводится алгоритм расчета количества горизонтальной наружной естественной освещенности при ясном и облачном небе МКО в годовом цикле, который был реализован на ЭВМ. Для учета реальной картины облачности были также проведены фотометрические наблюдения наружной естественной освещенности в годовом цикле в г.Нальчике. Сопоставление данных количества естественной освещенности, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований, позволили скорректировать коэффициент светового климата для города Нальчика.

Ключевые слова: количество освещения, наружная естественная освещенность, коэффициента светового климата, прямая освещенность от Солнца, вероятность солнечного сияния.

Существующая в настоящее время система методов нормирования, расчета и проектирования естественного освещения основана на упрощающем допущении, согласно которому ресурсы светового климата учитываются с помощью коэффициента светового климата усредненного в пределах группы административных районов на которые делится вся территория Российской Федерации [1].

Такое деление не позволяет учитывать все многообразие условий естественного освещения, что приводит в одних районах к необоснованному занижению площади световых проемов и как следствие к перерасходу электроэнергии на искусственное освещение, а в других районах к завышению и тем самым увеличению единовременных затрат и теплопотерь в системах естественного освещения.

С учетом этого фактора актуальной научной задачей является дифференцированный учет светового климата. Такой подход предполагает переход от усредненных в пределах группы административных районов значений коэффициента светового климата к региональным, который учитывал бы реальные ресурсы естественного освещения в данном районе.

Известно, что для характеристики условия естественного освещения пользуются понятием количества естественного освещения в годовом цикле. Данный критерий имеет физиологическое обоснование [2] и позволяет решить вопрос с том, как надо изменить КЕО, чтобы в различных светоклиматических условиях сохранить один и тот же среднегодовой уровень зрительной работоспособности,

Если количество освещения в рассматриваемом географическом районе обозначить через H_N , а в базовом районе (за базовый принимается район г.Москвы) через H_M , тогда коэффициент учитывающий особенности светового климата m_N , выражается в виде соотношения:

$$m_N = \frac{H_M}{H_N} , \quad (1)$$

Для расчета количества освещения была разработана математическая модель светового режима в годовом цикле, которая описывается следующим уравнением:

$$H = \sum_{i=1}^{12} N_i \left[S_i \sum_{j=t_n}^{t_k} E_{\Gamma}^{\text{Я}} + (1 - S_i) \sum_{j=t_n}^{t_k} E_{\Gamma}^{\text{О}} \right] \cdot \Delta t , \quad (2)$$

Здесь

 $E_{\Gamma}^{\text{Я}}, E_{\Gamma}^{\text{О}}$ - значения горизонтальной освещенности при ясном и облачном небе МКО

$$E_{\Gamma}^{\text{я}} = E_{\Gamma}^{\text{я.н}} + E_{\Gamma}^{\odot} \quad (3)$$

$E_{\Gamma}^{\text{я.н}}$ - наружная рассеянная горизонтальная освещенность при ясном небе МКО [2]

$$E_{\Gamma}^{\text{я.н}} = 2 \int_0^{\pi} \int_0^{\pi/2} L(z, \alpha) \sin z \cos z \, dz \, d\alpha \quad (4)$$

E_{Γ}^{\odot} - прямая освещенность от Солнца на горизонтальной поверхности

$$E_{\Gamma}^{\odot} = \frac{1}{\Delta^2} C_{\odot} \sin H_{\odot} P^M \quad (5)$$

E_{Γ}° - наружная рассеянная горизонтальная освещенность при облачном небе МКО

$$E_{\Gamma}^{\circ} = 2 \int_0^{\pi} \int_0^{\pi/2} L(z) \sin z \cos z \, dz \, d\alpha$$

где N_i - количество дней в месяце; S_i - вероятность солнечного сияния по месяцам года (см. таблицу 1); t_n, t_k - время начала и конца работы; Δt - интервал времени, в течение которого освещенность принимается постоянной; $L(z, \alpha)$, $L(z)$, функции распределения яркости ясного и облачного неба МКО; C_{\odot} - световая солнечная постоянная; P - прозрачность атмосферы; Δ - расстояние от Земли до Солнца для рассматриваемого года в астрономических единицах; M - оптическая масса атмосферы;

Таблица 1. Значения вероятности солнечного сияния в %

Наименование географического пункта	месяца года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
г.Москва	16	26	40	45	57	57	57	52	42	28	17	12
г.Нальчик	28	28	32	40	45	52	56	58	48	44	28	26

На основе уравнения (2) были составлены алгоритм и программа расчета количества освещения в годовом цикле.

По данным машинного расчета (таблица 2) и формулы (1) был рассчитан коэффициент светового климата m_N для г.Нальчика, который составил 0.82.

Полученное значение коэффициента светового климата справедливо только для двух условий состояний небосвода - облачное небо МКО (8-10 баллов) и ясное небо МКО (0-2 балла) и для равнинных территорий республики, далеко не соответствующих действительности потому, что г.Нальчик окружен горными системами, закрывающими горизонт, а реальная яркостная картина носит случайный характер и отличается чрезвычайным многообразием из-за наличия облаков разных ярусов и форм и изменения прозрачности атмосферы, создающих сложную картину воздействия на суммарный световой поток, падающий на горизонтальную поверхность.

В связи с изложенным для количественной оценки светового режима рассматриваемого района при условиях облачности разных ярусов и форм, а также с целью приближения расчетных показателей к реальным, нами были проведены фотометрические наблюдения на протяжении 2,5 лет в условиях естественной облачности

Наблюдения проводились на площадке с открытым горизонтом, оборудованной на крыше двухэтажного здания лабораторного корпуса "Модуль" инженерно-технического факультета КБГУ.

После статической обработки экспериментальных данных на ЭВМ, нами были получены средние за месяц значения освещенности для каждого часа суток [4], а затем рассчитано количество освещения

(см. таблицу 2).

Таблица 2. Таблица значений количества освещения

Месяцы года	Количество освещения, люкс		
	Расчетные значения		Экспериментальные значения
	г.Москва	г.Нальчик	г.Нальчик
1	33824	93112,6	105836
2	84362	144365,9	134376,3
3	183628,8	201289	218423
4	292919,6	324849,8	283294
5	415837,4	382395,6	339324
6	483546	488155	382523
7	432574	470117,2	376731
8	256297	331290,4	234441,6
9	194526,4	285442	20496
10	87802	186197,2	91957
11	34743,6	95441	83408
12	23868	76265	62417
Σ	2523927,8	3078920,4	2517426,9

В результате сопоставления данных количества освещения для г.Нальчика, полученных с помощью математической модели и фотометрических наблюдений, была рассчитана поправка на коэффициент светового климата m_N , которая для г.Нальчика будет равна 1.22.

Список литературы

1. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. М., 1995.-35 с.
2. Глаголева Т.А. Естественное освещение промышленных зданий. М., 1961. - 88 с.
3. Киреев Н.Н., Гукетлов Х.М. Расчет на ЭВМ естественного освещения помещения от ясного неба МКО. - Науч. тр. НИИСФ, 1983. Исследования по строительной светотехнике, с. 29-33.
4. Карданов Л.Т., Гукетлов Х.М., Бжахов М.И. Оценка некоторых характеристик светового климата в г. Нальчике. Материалы научно-практической конференции Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии. (технические науки). КБГСХА. Нальчик.1997.

05.11.00

В.П. Друзьянова к.т.н., А.В. Спиридонова, М.Я. Рожина

Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, автодорожный факультет, кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис», Якутск druzvar@mail.ru, nastya-aifo@mail.ru, rmya2013@mail.ru

ПИРОЛИЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В АВТОТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ ЯКУТИИ

В работе представлены результаты исследований по изучению возможности применения пиролизной технологии утилизации автомобильных шин в условиях Республики Саха (Якутия). С каждым годом количество автомобильного транспорта в Якутии увеличивается. Одновременно возрастает и накапливается объем отработанных автомобильных шин, наносящих значительный негативный ущерб экологии Севера и требующих кардинальных изменений в вопросе их эколого-энергосберегающей утилизации.

Ключевые слова: *автомобильный транспорт, переработка отходов, автомобильные покрышки, захоронение, пиролизная технология, топливо.*

Рост стоимости топлива, а также ежегодное увеличение объемов различных отходов жизнедеятельности человека, ухудшающаяся экология, подталкивают человечество к поиску и к применению альтернативных энергоресурсов и методов переработки отходов. Одними из активных негативных воздействий на экологию являются отходы, образующиеся при эксплуатации автотранспорта. По данным источника [1], автомобильные шины относятся к IV классу опасности.

Таблица 1- Перечень отходов, образующихся при эксплуатации автотранспорта

№	Класс опасности	Куда направляются	Наименование отходов
1	I - III	захоронение	Отработанные электролиты аккумуляторных батарей
2	II - III	захоронение/переработка	Всплывающие нефтепродукты нефтеловушек, отработанное моторное масло, отработанное трансмиссионное масло Отработанное гидравлическое масло
3	II - IV	захоронение/очистные сооружения	Отработанный электролит аккумуляторных батарей после его нейтрализации Отработанные аккумуляторы
4	III - IV	захоронение	Древесные опилки, загрязненные нефтепродуктами, ветошь промасленная Грунт, содержащий нефтепродукты Фильтры, загрязненные нефтепродуктами
5	IV	захоронение/переработка	Осадки ОС мойки автотранспорта
6	IV	захоронение	Отработанные накладки тормозных колодок Лом черных металлов Огарки сварочных электродов
7	IV	переработка	Шины с металлокордом Шины с тканевым кордом
8	IV	захоронение	Мусор промышленный

Объем отработанных шин только по г. Якутску составляет порядка 2230 т в год. В настоящее время их переработка проводится только путем сжигания и захоронения. Данные методы приводят к значительному загрязнению экологии - при сжигании 1 т изношенных шин в атмосферу выделяется 270 кг сажи и 450 кг токсичных газов, а при захоронении шины разлагаются в течении 150 лет [2].

Метод утилизации отходов путем пиролиза – это термическое разложение органических соединений без доступа воздуха. Пиролиз также можно назвать сухой перегонкой, а в качестве сырья могут различные газообразные углеводороды (этан, пропан), сырая нефть, соединения, содержащие органические компоненты, также как древесины, уголь, торф и т.д [3].

Проведен анализ по объемам выхода отработанных шин по г. Якутску.

Количество образующихся в год отработанных легковых покрышек:

$$D_l = F_l * G_l * H_l \quad (1)$$

где D_l - количество легковых покрышек;

F_l - количество легковых автомобилей, $F_l=46899$;

G_l - количество подвижных колес;

H_l - коэффициент, показывающий срок эксплуатации одной автомобильной покрышки (4 года), $H_l=1/4$; [5]

$$D_l = 46899 * 4 * 1/4 = 46899 \text{ шт.}$$

Средний вес одной покрышки легкового автомобиля:

$$J_l = \frac{(1+2+3+4+5+6+7+8+9+10+11+12+13)}{K_l}$$

где J_l -средний вес одной легкой покрышки, кг;

1,2,3,..., 13 – значения из таблицы весов наиболее распространенных покрышек легкового транспорта [4], количество значений $K_l = 13$;

$$J_l = \frac{(5+6,3+6,6+6,3+6,6+10,2+6,5+10,2+9,5+9,5+15+15)}{13} = 9 \text{ кг}$$

Рассчитаем общий вес, образуемый легковыми покрышками в год:

$$L_l = J_l * D_l \quad (2)$$

где L_l – общий вес, образуемый легковыми покрышками в год;

J_l - средний вес одной легкой покрышки, =9 кг;

D_l - количество легковых покрышек, 46899 шт.;

$$L_l = 9 * 46899 = 422091 \text{ кг.}$$

По такой же методике рассчитали образующиеся массы покрышек от грузовых автомобилей и автобусов: $L_{22} = 59 * 24936 = 1471224$ кг и $L_a = 40 * 8406 = 336240$ кг.

Рассчитаем общий вес автомобильных покрышек в год:

$$L_o = L_l + L_{22} + L_a \quad (10)$$

где $L_l = 422091$ кг; $L_{22} = 1471224$ кг; $L_a = 336240$ кг.

$$L_o = 422091 + 1471224 + 336240 = 2229555 \text{ кг}$$

Проведены лабораторные исследования на установке ГВА-1 (рис.1) по утилизации резиновых покрышек.



Рис. 1- ГВА-1: 1 – терморреактор, 2 – гидрозатвор, 3 - электронный блок контроля и управления, 4 – рама, 5 - газовое оборудование, 6 - датчики температуры.

Основные параметры ГВА - 1: масса - 300 кг, габаритные размеры -1590x1350x930 мм, максимальный объем загрузки - 0,08 м³, максимальная масса загрузки (исходя из плотности до 200 кг/м³) - 16 кг, максимальная производительность по газу - 40 м³/час, выработка газа - 1,7 м³ с 1 кг биомассы, теплотворная способность газа - 15-18 МДж/м³, мощность нагревателя - 6 кВт.

Таблица 2- Ожидаемые результаты при утилизации методом пиролиза по г.Якутску в год

Автотранспорт	Масса покрышек, кг	Vтеор. газа, м ³
Легковые	422091	1065472
Грузовые	1471224	3713769
Автобусы	336240	848761
Всего	2229555	5628002

В ходе лабораторных исследований из 0,309 кг измельченной автомобильной покрышки (шины) фракцией 7мм получили 0,78 м³ пиролизного газа. Исследования газоанализатором АМТ-4 показали, что его состав аналогичен природному газу. Пиролизный газ содержит 82% метана, 18% - водорода (H₂), оксида углерода (II) (СО - угарный газ), оксида углерода IV(СО₂ – углекислый газ). Поэтому после соответствующей очистки может использоваться как моторное топливо.

В экологическом отношении газ является самым чистым видом топлива. При его сгорании образуется значительно меньшее количество вредных веществ.

В целях изучения эффективности предлагаемой технологии, на кафедре «Эксплуатации автомобильного транспорта и автосервис» Автодорожного факультета СВФУ имени М.К. Аммосова продолжаются экспериментальные исследования. В результате, будут разработаны рекомендации для подбора оптимальных размеров пиролизных установок в зависимости от имеющихся требований на автотранспортных предприятиях г. Якутска и республики.

Список литературы

1. Перечень отходов, образующих при эксплуатации автотранспорта. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. –URL: <http://helpiks.org/5-33099.html> (29.03.2016)
2. Приказ от 30 июля 2003 г. п 663 «О внесении дополнений в федеральный классификационный каталог отходов».
3. *Косивцов, Ю.Ю.* Технология пиролиза органических материалов: монография / Ю.Ю. Косивцов, Э.М. Сульман. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2010. 124 с.
4. ГОСТ 13298-90 Шины с регулируемым давлением. Технические условия.

05.11.00

Л.Т. Карданов, Х.М. Гукетлов, М.И. Бжахов, И.И. Афашоков, И.А. Хамукова

ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
123guket@rambler.ru**ВЕКТОРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕНОСА СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ
КОМБИНИРОВАННОМ ОСВЕЩЕНИИ**

Оценка пространственной плотности и переноса световой энергии в различных точках помещения при равномерном небосводе основана на теории светового поля разработанной проф. А.А. Гершуном. В статье для помещений с комбинированным освещением вычислены направление и абсолютное значение вектора, в долях наружной горизонтальной освещенности, с использованием понятия вектора телесного угла. Это позволяет полнее оценить вопросы освещения архитектурных пространств.

Ключевые слова: световое поле, вектор телесного угла, проекция вектора телесного угла, световой центр фонаря, вектор плоского угла.

Способ оценки пространственной плотности и переноса световой энергии в различных точках помещений основывается на теории светового поля, разработанные профессором А.А. Гершуном [1].

Рассмотрим графический способ определения направления и величины светового вектора в относительных величинах, то есть выраженного в долях наружной горизонтальной освещенности при комбинированном освещении (верхнее освещение + боковое освещение). Примеры по определению вектора освещенности приведены для частного случая. В статье [2] были определены направления, величина светового вектора и максимальная вертикальная освещенность при различных системах освещения помещений дневным светом.

Расчет светового вектора может быть сведен к чисто геометрической задаче: введя понятие о векторе телесного угла, который получается как результат процесса суммирования элементарных векторов.

Для случая, когда яркость L небосвода равномерно, то применительно к нашему случаю, когда светящаяся поверхность есть не четырехугольник, что имеет место при проектировании естественного освещения относительное значение светового вектора в некоторой точке M помещения (без учета переплетов и остекления), выраженное в долях наружной горизонтальной освещенности $L\pi$ будет:

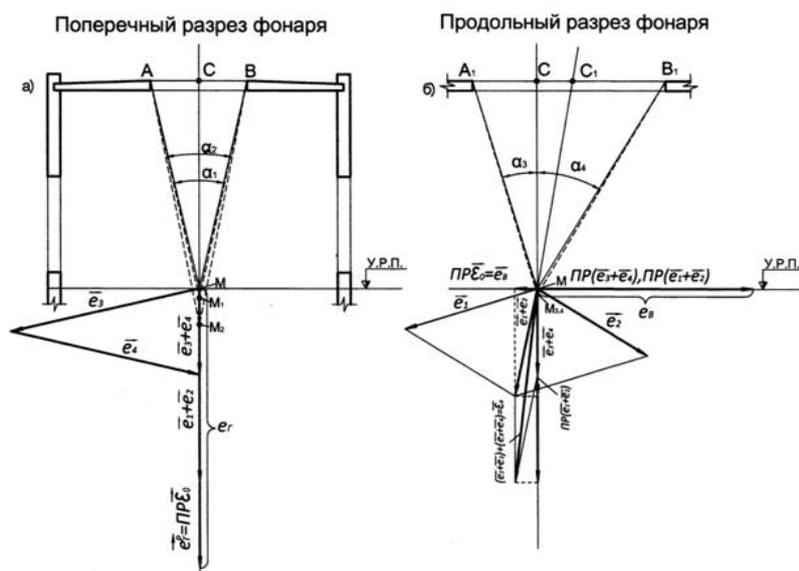
$$\vec{\varepsilon}_M = \frac{\vec{\varepsilon}}{L\pi} = \sum_{i=1}^{i=4} \vec{e}_i, \quad (1)$$

Где

$$\vec{\varepsilon} = \sum_{i=1}^{i=4} \frac{\alpha_i}{2\pi}, \quad \text{и} \quad \vec{e}_i = \frac{\alpha_i}{2\pi};$$

\vec{e}_i - вектор плоского угла под которым сторона прямоугольника видна из точки M (рис.1.) и сумма взята по всем четырем граням световой пирамиды, в пределах которой в точку M поступает свет, рассеянный атмосферой.

На рис.1 а и б показаны поперечный и продольный разрезы зенитного фонаря освещающего расчетную точку M и здесь же видны грани плоских углов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, которые образуют четырехгранную пирамиду.

Рис.1 - Схема к определению e_r , e_b и e_0

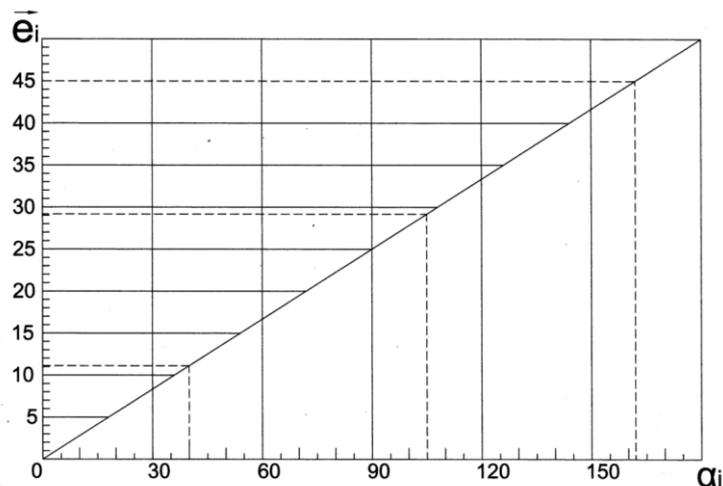
Грани 1 и 2 перпендикулярны плоскости продольного разреза, а 3 и 4 плоскости поперечного разреза, поэтому вектора телесного угла \vec{e}_1, \vec{e}_2 необходимо сложить на продольном разрезе, а векторы \vec{e}_3, \vec{e}_4 - на поперечном разрезе.

Чтобы найти по чертежу абсолютные значения указанных векторов необходимо определить натуральные величины углов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и α_4 .

Для этого плоскости углов α_1 и α_2 вращаем вокруг их линии пересечения с плоскостью покрытия, т.е. вокруг горизонтальной оси АВ до тех пор, пока они не станут параллельными плоскости поперечного разреза, а плоскости углов α_3 и α_4 - плоскости продольного разреза.

Тогда получим следующие равенства $A_1M=CM_1$, $B_1M=CM_2$, $AM(B)=CM_3(M_4)$, которые позволяют записать, что $LAM_1B=\alpha_1$, $LAM_2B=\alpha_2$, $LA_1M_{3,4}B_1=\alpha_3(\alpha_4)$.

Для непосредственного отсчета по чертежам абсолютных значений векторов \vec{e}_i предлагается график (рис.2) на котором по горизонтальной оси отложены значения α_i , а по вертикальной - абсолютные значения векторов \vec{e}_i . Замеряя по чертежу углы α_i находим соответствующие этим углам значения \vec{e}_i

Рис.2 - График к определению \vec{e}_i

Такие же операции проводятся по определению натуральных величин углов на разрезе и плане (рис.3). Допустим, что плоскости углов, путем вращения вокруг линий их пересечения с наружной плоскостью окна стали параллельными плоскости чертежа, т.е. плоскости плана - для углов, проходящих через горизонтальные линии, и плоскости разреза для углов проходящих через горизонтальные линии, и плоскости разреза для углов проходящих через вертикальные стороны окна.

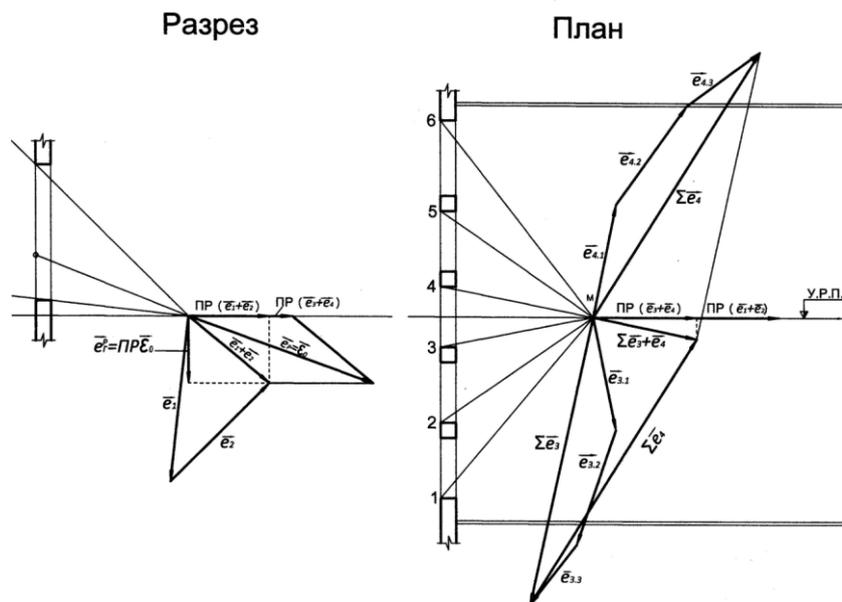


Рис.3 – Схема к построению светового вектора на плоскости разреза и плана

Векторы \vec{e}_1, \vec{e}_2 , а также их сумма изображаются на продольном разрезе (рис. 1а и б), а векторы \vec{e}_3, \vec{e}_4 на продольном разрезе к вектору $\vec{e}_1 + \vec{e}_2$ на продольном разрезе прибавляется по правилу параллелограмма сумма векторов $\vec{e}_2 + \vec{e}_4$, а к сумме векторов $\vec{e}_3 + \vec{e}_4$ на поперечном разрезе. - в результате получается векторы $ПР \vec{e}_0$ и $ПР \vec{e}_0 = \vec{e}_B$, являющиеся проекциями светового вектора $(\vec{e}_1 + \vec{e}_2) + (\vec{e}_3 + \vec{e}_4) = \vec{e}_0$ на вертикальную и вертикальную плоскости. Вектор \vec{e}_0 в точке М освещаемого элемента создаст наибольшую освещенность в том случае, если направление нормали к освещаемому элементу совпадает с направлением светового вектора или, иначе говоря, проходит через световой центр фонаря для точки М, определяемый векторами \vec{e}_r и \vec{e}_B .

Аналогичным образом строятся световые векторы на разрезе и плане (рис.3) и полученные составляющие светового вектора на вертикальные и горизонтальные плоскости прибавляется к уже полученным значениям освещенности, т.е. имеем e_r и e_B (рис.1), которые характеризует освещенность горизонтальной и вертикальной плоскости. Точнее говоря, вертикальная составляющая вектора \vec{e}_0 измеряет геометрический коэффициент горизонтальной естественной освещенности, поскольку световой вектор определяется в долях наружной горизонтальной освещенности и без учета остекления.

Используя световой вектор и пространственную характеристику освещения возможно решить ряд задач качества освещения интерьерных и экстерьерных пространств.

Список литературы

1. Гершун А.А. Избранные труды по фотометрии и светотехнике. М., 1958.
2. Карданов Л.Т., Гукетлов Х.М., Бжахов М.И. Максимальная вертикальная освещенность в точке светового поля при верхнем светопроеме типа “VELUX” – Academia. Архитектура и строительство. М. 2010 №3 стр. 503-504.

05.11.07

Р.Ш. Мисбахов

«Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ», ИРЭТ, кафедра РФМТ,
Казань, misbahov@mail.ru

ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ПУТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В работе представлены результаты анализа построения систем мониторинга пассивных оптических сетей с использованием различных методов для локализации места повреждения.

Ключевые слова: Система мониторинга, пассивные оптические сети, рефлектометрия, длина волны.

Введение Пассивные оптические сети (ПОС) в настоящий момент является самой быстро наращиваемой технологией широкополосного доступа имеющейся на рынке. Ввиду возрастающей роли сетей связи в жизни человека, особого внимания требуют вопросы их надежности. Нарушение их работоспособности не редко воспринимается пользователями крайне болезненно, отказы в работе сети негативно влияют на репутацию оператора, что особенно критично в условиях повышенной конкуренции на рынке услуг связи. Мониторинг волокон и локализация дефектов по их длине и разветвлениям необходимы как основные функции обеспечения работоспособности PON сетей, позволяющих сократить как время поиска неисправностей, так и человеческих ресурсов при ремонте поврежденного волоконно - оптического кабеля. В таблице 1 представлены основные необходимые характеристики для системы мониторинга ПОС. Ниже рассмотрены различные методы анализа и синтеза систем мониторинга ПОС с использованием различных технологий, отмечены преимущества и недостатки систем.

1. Оптическая временная рефлектометрия. Известный метод используемый для обнаружения неисправностей и анализа длины в оптических сетях. Как показано на рис 1. он также может быть использован для обнаружения неисправностей таких как разрывы, трещины, измерения оптического шума, а также для измерения потерь и затухания в волокнах[1].

Таблица - Характеристики систем мониторинга

п/п	Необходимый параметр	Значение
1	Централизация	Система должна иметь возможность обнаруживать неисправности без какого-либо взаимодействия с клиентами
2	Локализация повреждений	Система должна иметь возможность обнаружить неисправность с любого места оптической сети
3	Масштабируемость	Система управления сетью должна быть совместимая с любыми модификациями систем
4	Сложность	Система должна быть не сложной для удобства эксплуатации и технического обслуживания
5	Время отклика	Система должна иметь наименьшее время обнаружения и локализации неисправностей
6	Емкость	Система должна поддерживать любое соотношение деления (сплиттеров)
7	Ограничение затрат	Капитальные и текущие расходы не должны быть высокими

Недостатком является сложность определения ветви сети, большое время поиска, необходимо сравнение с эталонной рефлектограммой.

2.С использованием длин волн. Для идентификации каждого абонента сети выделяются длины волн полосы C и L. В ПОС используют оптический волновод (AWG), что уменьшает потери, увеличивает оптический бюджет сети. Используя перестраиваемый рефлектометр в

центральном офисе (CO) можно наблюдать обратное рассеяние отдельного ONU. Этот метод позволяет обнаруживать и локализовать неисправности без прерывания трафика. Недостатком является ограниченная емкость из-за очень низкой эффективности спектра [2], следовательно масштабируемость очень низка принцип работы показан на рис. 2.

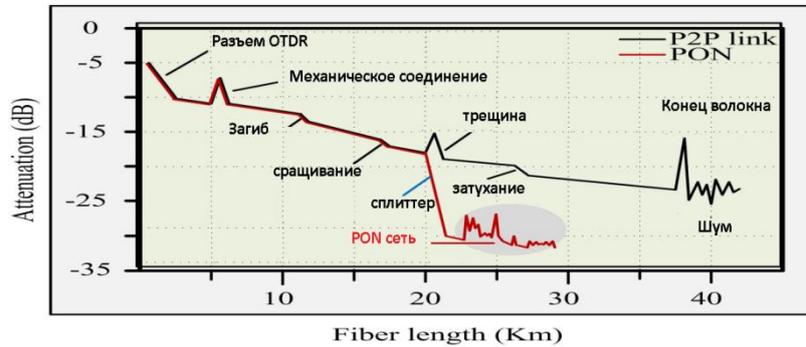


Рис. 1 - Мониторинг с использованием оптической временной рефлектометрии [1].

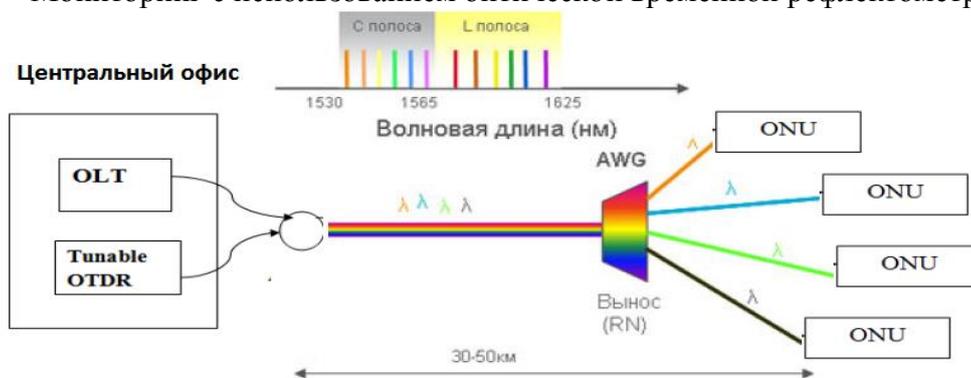


Рис. 2 - Мониторинг ПОС с использованием различных длин волн

3. Мониторинг основанный на оптическом кодировании и зондировании. Этот метод использует оптические кодировщики, которые генерируют псевдо ортогональные коды рис. 3а), чтобы идентифицировать каждого абонента образуют уникальный код. Следовательно, нет никакой необходимости использовать OTDR в центральном офисе, чтобы обнаружить неисправность в ветви сети. Система декодирования в центральном офисе расшифровывает коды, поступающие из различных ONU ветвей. Метод кодирования имеет минимальные значения корреляции, которая повышает эффективность сети. Он имеет лучшую спектральную эффективность. Совместимость системы зависит от типа кодировщика, иногда кодировщик, очень громоздкий и это увеличивает сложность аппаратных средств. Метод зондирования показан на рис. 3б), основан на анализе приема мощности сигнала от ONU [3]

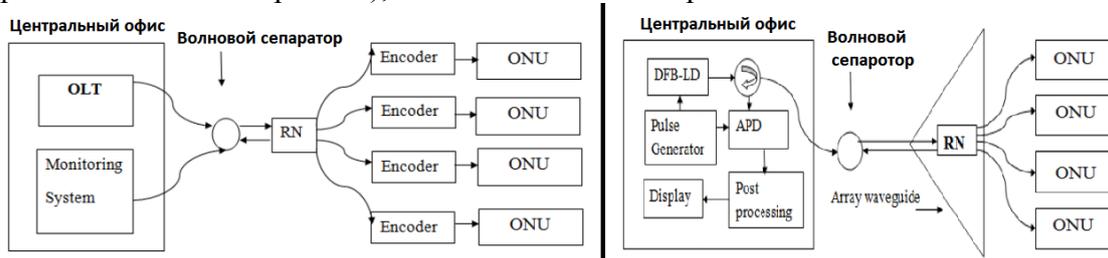


Рис. 3 - Системы мониторинга ПОС а) с использованием светоотражающих элементов; б) с использованием сдвига частоты Бриллюэна

4. Мониторинг с использованием сдвига частоты Бриллюэна. Этот метод использует частотный сдвиг Бриллюэна (BFS) схема представлена на рис. 4б) Особая частота присваивается к каждому ONU путем регулирования концентрации легирования в ядре волокна во время процесса изготовления. Бриллюэновский рефлектометр (BOTDR) различает обратно рассеянные сигналы от каждой ветви. Каждая ветвь волокна отличается уникальной частотой сдвига Бриллюэна [4] Для того, чтобы контролировать каждое волокно в сети, используем длину волны 1650 нм В-OTDR для мониторинга линии в обслуживании.

Когда мы передаем импульс света, мы можем различать пик частоты ν_1, ν_2, \dots , спектра Бриллюэна из каждого разветвленного волокна. Если пиковая мощность спектра Бриллюэна изменяется от исходного уровня, мы можем определить, что оптическое волокно с BFS неисправно. Таким образом, мы можем измерить место повреждения в разветвленного области.

5. Система мониторинга с использованием светоотражающих элементов. На основе классической волоконной брэгговской решетки (ВБР) рис.4 а). ВБР используется для отражения определенной длины волны, чтобы улучшить динамический диапазон волокна. ВБР является как отражающее зеркало действует, как узкополосный фильтр помещенных в само волокно. [5]. Отражатели расставленные по временной шкале за счет



Рис. 4 - Системы мониторинга ПОС а) с использованием светоотражающих элементов; б) с использованием сдвига частоты Бриллюэна

волоконных вставок на определенную задержку уникальную для каждого ONT, интерферометрические узлы с уникальной фазовой разницей между плечами, и наконец волоконные решетки Брэгга (ВРБ) с уникальной длиной волны отражения. При этом использование последних наиболее предпочтительно. Во-первых, использование стандартных, структурированных по фазе и суперструктурированных ВРБ позволит маркировать каналы, группы каналов и уровни в целом, а во-вторых, использование ВРБ как датчика, позволит дополнительно получить температурное распределение на каждом ONT и проводить мониторинг не только канала связи по целостности, но и по климатическим условиям, которые существенно определяют его спектральные характеристики [6].

Заключение Использование отражателей на основе ВРБ выглядят наиболее привлекательной технологией с точки зрения стоимости и реализации на практике. Остальные выше указанные методы либо трудно реализуемые на практике или уникальны и предназначены для единичных решений.

Список литературы

1. *Maged Abdullah Esmail, and HabibFathallah*, "Physical Layer Monitoring Techniques for TDM-Passive Optical Networks: A Survey", *iee communications surveys & tutorials*, vol. 15, no. 2, second quarter 2011
2. *Anbang Wang, Na Wang, Yibiao Yang, Bingjie Wang, Mingjiang Zhang*, "Precise Fault Location in WDM - PON by Utilizing Wavelength Tunable Chaotic Laser." *journal of lightwave technology*, vol. 30, no. 21, november 1, 2012
3. *MadhanThollabandi, Xiaofei Cheng, Yong-Kee Yeo*, "Encoded Probing Technique for Detection of the Faulty Branch in TDM-PON" *iee photonics technology letters*, vol. 24, no. 18, september 15, 2012.
4. *Mohammed Hayder Al-Mansoori, MohdAdzir Mahdi, and MalinPremaratne*, "Novel Multi wavelength L-Band Brillouin-Erbium Fiber Laser Utilizing Double-Pass Brillouin Pump Preamplified Technique " *iee journal of selected topics in quantum electronics*, vol. 15, no. 2, march/april 2009 415
5. *Thomas Geernaert, Geert Luyckx, Eli Voet, Tomasz Nasilowski*, "Transversal Load Sensing With Fiber Bragg Gratings in Microstructured Optical Fibers." *iee photonics technology letters*, vol. 21, no. 1, january 1, 2009
6. *Алюшина С.Г., Морозов О.Г., Нуреев И.И.* "Полигармонические методы определения температуры на абонентских узлах пассивных оптических сетей"// *Научно-технический Вестник Поволжья*. - 2014. - №2. - С. 134-138.

05.11.00

В.А. Скуратов, И.В. Нелин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), факультет Радиовтуз МАИ, кафедра 44-3 «Аналоговые и цифровые радиоэлектронные системы», Москва, viktor.skuratov@gmail.com, kaf-44-3@yandex.ru

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС БРЛ-2.2 ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ, ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ МАЛЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

В работе представлено описание аппаратно-программного комплекса БРЛ-2.2, позволяющего неинвазивно и бесконтактно регистрировать двигательную активность, дыхание и сердцебиение малых лабораторных животных. Для бесконтактной регистрации вышеперечисленных параметров применяются электромагнитные датчики собственной разработки на основе копланарной линии.

Ключевые слова: копланарная линия, бесконтактный датчик на основе копланарной линии, бесконтактная регистрация двигательной активности, дыхания и сердцебиения малых лабораторных животных.

На первых этапах исследований медицинских препаратов и компонентов, для выяснения их влияния на жизненно важные показатели (дыхание, сердцебиение, артериальное давление) и определения токсичности препаратов, как правило, используют крыс, поскольку они достаточно живучие и строение их сердечно-сосудистой системы схоже со строением сердечно-сосудистой системы человека [1]. Действие препаратов в подавляющем большинстве случаев оценивают по сердечной активности крысы и, следовательно, мониторинг этого параметра является приоритетной задачей. В настоящее время для этих целей в крысу вживляется миниатюрная версия электрокардиографа, что само по себе отнимает значительное время и, как следствие операционного вмешательства, необходимо время на реабилитацию животного.

В данной статье рассматривается аппаратно-программный комплекс (АПК) БРЛ-2.2, позволяющий бесконтактно осуществлять контроль сердцебиения, дыхания и двигательной активности малых лабораторных животных.

Специалистами кафедры фармакологии МГУ им. Ломоносова в составе факультета фундаментальной медицины была предложена идея разработки прибора для бесконтактного мониторинга показателей жизненной активности малых лабораторных животных. Решение задачи заключается в бесконтактной регистрации низкоамплитудного движения грудной клетки лабораторных крыс, с целью выявления ритма дыхания и частоты сердечных сокращений.

Электромагнитные датчики на основе копланарной линии [2] в количестве 16 шт. установлены на плате, закрепленной под верхней крышкой прибора, и предназначены для бесконтактной регистрации перечисленных выше показателей жизненной активности лабораторных животных.

Клетка с лабораторным животным размещается на верхней крышке измерительной платформы, непосредственно над датчиками. Информация с датчиков поступает на функциональную плату модуля сбора и передачи данных, где происходит усиление сигнала, его оцифровка и передача информации по каналу USB или Wi-Fi на персональный компьютер.

Программное обеспечение компьютера позволяет производить одновременную обработку и сохранение поступающей от датчиков информации, а также отображение результатов обработки на экране компьютера. Применение электромагнитных датчиков делает возможным проведение исследований без контакта с объектом и не требует хирургического вмешательства, чем исключает влияние постоперационных факторов. Измерительная

платформа, созданная из 16 датчиков, обеспечивает возможность регистрации двигательной активности, сердцебиения и дыхания без фиксации объекта исследования, что позволяет ему находиться в условиях, не ограничивающих двигательные функции. Также имеется возможность проводить исследование в привычной для животного среде (клетке), что исключает необходимость ожидания первичной адаптации животного к смене окружения. Одновременно с регистрацией сигналов датчиков комплекс позволяет синхронно записывать видео с IP-видеокамеры и сохранять записанную информацию в память компьютера. При обработке записанной информации оператор может просматривать видеоизображение поведения животного, совмещенное по времени с сигналами датчиков. На рисунке 1 представлен внешний вид измерительной платформы аппаратно-программного комплекса БРЛ-2.2.



Рис.1 - Внешний вид измерительной платформы АПК БРЛ-2.2

На рисунке 2а представлен сигнал, полученный с выхода одного из датчиков, изменяющийся пропорционально движению грудной клетки крысы. Отчетливо видно, что в сигнале присутствуют компоненты дыхания (большие всплески) и сердцебиения (маленькие всплески). Далее лабораторному животному был введен препарат, ускоряющий сердцебиение. Сигнал, полученный с выхода датчика после введения препарата, представлен на рисунке 2б.

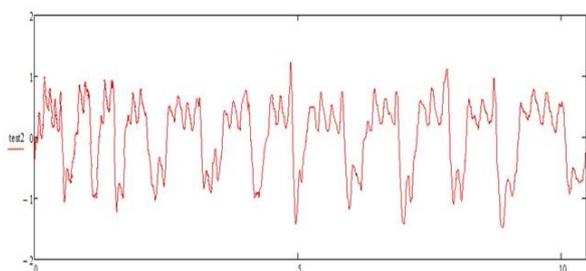


Рис.2а - Сигнал одного из датчиков измерительной платформы

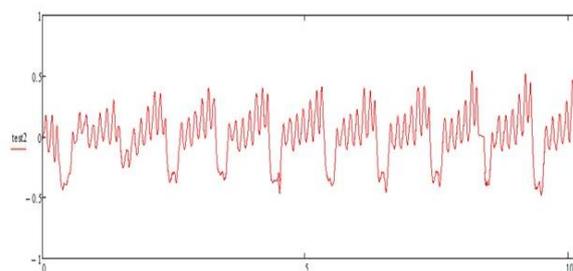


Рис.2б - Сигнал одного из датчиков измерительной платформы после введения препарата

Известно, что в нормальном состоянии для крыс характерны значения ≈ 60 вдохов и ≈ 350 ударов сердца в минуту [3]. На рисунках 3а и 3б представлены спектры сигналов, показанных на рисунках 2а и 2б соответственно. В спектре сигналов отчетливо выделяются две гармоники на частотах, соответствующих дыханию и сердцебиению.

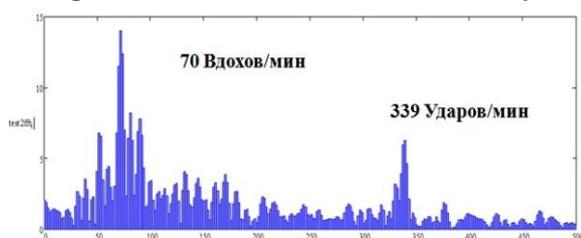


Рис.3а - Спектр сигнала одного из датчиков измерительной платформы

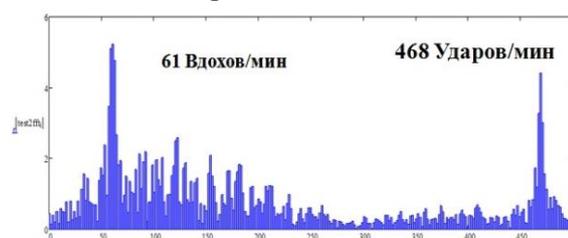


Рис.3б - Спектр сигнала одного из датчиков измерительной платформы после введения препарата

Для обработки и отображения сигналов, поступающих с датчиков дыхания и сердцебиения, была разработана компьютерная программа, позволяющая регистрировать численное значение и изменение во времени вышеперечисленных параметров, а также отображающая перемещение лабораторного животного по клетке. Помимо этого имеется возможность вести видеозапись передвижения животного по клетке с помощью веб-камеры, производя запись в файл параллельно с данными с датчиков, с возможностью последующего просмотра записанного файла с данными и видеозаписью.

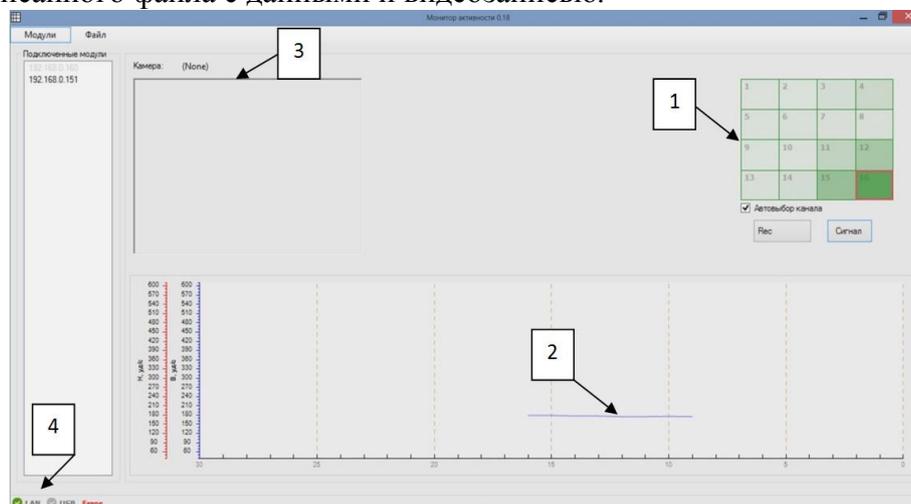


Рис.4 - Интерфейс программы

- 1 Окно выбора датчика;

Цвет области, соответствующей определенному датчику, тем темнее, чем мощнее его выходной сигнал. Максимальная мощность выходного сигнала с датчика обеспечивается нахождением грудной клетки лабораторного животного непосредственно над ним. По перемещению темной области в данном окне регистрируется траектория движения животного по площади клетки.

- 2 График изменения значений частоты дыхания и сердцебиения лабораторного животного во времени;

- 3 Окно вывода изображения с веб-камеры;

- 4 Индикация способа подключения устройства к ПК (USB или Wi-Fi).

К выходному сигналу с автоматически выбранного датчика применяется преобразование Фурье и далее отображается его частотный спектр (Рис. 2а-б, 3а-б). Исходя из максимумов частотного спектра (сигнал какой частоты является наиболее мощным в выходном сигнале) в определенных пределах, которые выбраны в соответствии с физиологией лабораторного животного, определяются частоты дыхания и сердцебиения.

В мае 2013 и в ноябре 2014 года были проведены испытания данного прибора на лабораторных мышах при участии кафедры Фармакологии МГУ им. Ломоносова.

По итогам испытаний сделаны следующие выводы:

- в спокойном состоянии лабораторного животного производится непрерывный съем показателей частоты дыхания и сердцебиения;

- при передвижении животного по площади клетки происходит автоматическая регистрация трекинга движения.

Большинство исследовательских центров и лабораторий ведут свои исследования не на одном конкретном лабораторном животном, а на десятках и сотнях особей одновременно. Для оснащения таких лабораторий данными приборами необходимо, чтобы минимум 10-20 приборов были объединены в сеть и посылали выходные данные на единый сервер для хранения и обработки.

В данный момент имеется возможность получать, хранить и обрабатывать данные на одном компьютере одновременно с 16-ти приборов, объединенных в беспроводную сеть посредством канала Wi-Fi.

Работа, в результате которой были получены представленные результаты, проводилась при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» по теме «Разработка способа и прибора для его реализации, в основе которого лежит идея бесконтактного, а, следовательно, неинвазивного, измерения показателей жизнедеятельности малых лабораторных животных, таких как дыхание, сердцебиение и траектория передвижения» в рамках договора №5885ГУ2/2015 от 11.06.2015г.

Список литературы

1. *Шмальгаузен И.И.* «Основы сравнительной анатомии позвоночных животных». - М.: Советская наука, 1947 г. с. 353.
2. *Кузнецов В.В., Скуратов В.А.* «Компьютерное моделирование воздействия поверхностных тканей человека на поле копланарной линии передачи». Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2013 г. с. 239-242.
3. *Саноцкий И.В.* «Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия)». - М.: Медицина, 1970 г. с. 62.

05.11.00

А.В. Федотов, П.С. Иванов

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения (г. Пенза),
кафедра артиллерийских приборов, Пенза, wlad_3008@mail.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОИСКА ТИПОВОГО ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ «ОПЕРАТОР – ПРИБОР НАБЛЮДЕНИЯ»

В работе представлено формализованное описание поиска информационного объекта при использовании по назначению оптико-электронного прибора с учетом пространственно-временного фактора и информационных характеристик зрительного анализатора оператора. Представлены алгоритмы определения время поиска по экспоненциальному и треугольному законам распределения.

Ключевые слова: *вероятность обнаружения, интенсивность поиска, оптико-электронный прибор, оператор, типовой объект.*

Приборы наблюдения и разведки находят широкое применение, прежде всего, для решения специальных задач при проведении антитеррористических, тактических действий. Наиболее информативными являются оптико-электронные приборы (ОЭП): оптические, приборы ночного видения, тепловизионные, телевизионные [1]. Основным способом решения задач является наблюдение в указанном секторе, анализатором получаемого изображения является глаз оператора, типовым объектом – танк в различных проекциях [2].

Алгоритм функционирования системы «оператор – прибор наблюдения» при наблюдении в секторе, сводится к следующему: поиск → опознавание (вид, класс, тип) → определение координат → передача полученных данных об объекте.

Количественной характеристикой возможностей поиска объекта является поисковая интенсивность Λ_{Π}

$$\Lambda_{\Pi i} = P_k \lambda_i, \quad (1)$$

где P_k – вероятность приборного контакта с объектом;

λ_i – интенсивность выполнения i -й задачи опознавания объекта.

Вероятность приборного контакта можно определить произведением:

$$P_k = P_{\omega} P_o, \quad (2)$$

где P_{ω} – вероятность нахождения объекта в поле зрения прибора;

P_o – вероятность обнаружения (опознавания) объекта.

Вероятность нахождения объекта в поле зрения прибора при условии равновероятного расположения в секторе определяется по формуле:

$$P_{\omega} = \omega K_{\omega} / \psi, \quad (3)$$

где ω – угол поля зрения прибора наблюдения;

K_{ω} – коэффициент использования поля зрения прибора;

ψ – сектор поиска заданный оператору.

Если угол поля зрения прибора превышает величину сектора поиска, $P_{\omega} = 1$.

При случайном положении объекта в секторе поиска, его задают координатами в связанной с прибором наблюдения системе координат (СК) [1]. В этой же СК определяют проекцию поля зрения прибора. Принадлежность i -го объекта плоскости, ограниченной приведенной зоной поля зрения рассчитывается с помощью определителя вида (рис. 1):

$$\Delta = \begin{vmatrix} X_u & Z_u & 1 \\ X_{k-1} & Z_{k-1} & 1 \\ X_k & Z_k & 1 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

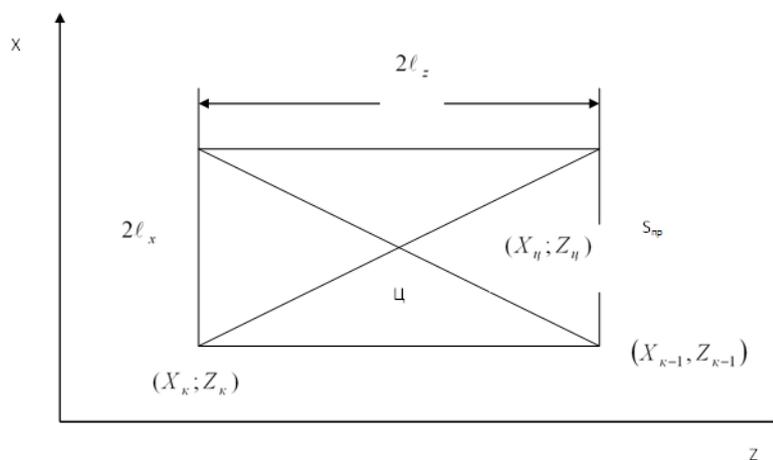


Рис. 1 – Сущность составления определителя (4)

Точка с координатами $(X_u; Z_u)$ принадлежит плоскости, если все определители (4), образованные с каждой из сторон многоугольника имеют один и тот же знак, т.е.

$$(X_u; Z_u) \in S_{np}, \text{ если } \Delta_k > 0 \cup \Delta_k < 0. \quad (5)$$

Если объект с координатами $(X_u; Z_u) \in S_{np}$, то событие попадание его в поле зрения прибора является достоверным.

Вероятность P_o может быть описана зависимостью [3]

$$P_o = 0,5 \left[1 + \Phi\left(\frac{C_{\text{опт}} m_{\text{с/ш}}}{2} - 1,1/(C_{\text{опт}} m_{\text{с/ш}})\right) \right], \quad (6)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа;

$C_{\text{опт}}$ – коэффициент оптимальности оператора;

$m_{\text{с/ш}}$ – отношение сигнал/шум для идеального оператора.

Отношение сигнал/шум можно определить по зависимости [3]

$$m_{\text{с/ш}} = N_{\text{и}} |N_o - N_{\text{ф}}| / \sqrt{0,5(N_o + N_{\text{ф}}) + N_a^2}, \quad (7)$$

где $N_o, N_{\text{ф}}$ – количество поглощаемых фотонов для рецептивных полей, области объекта и фона, соответственно;

$N_{\text{и}}$ – количество поглощаемых фотонов с учетом интегрирующих свойства зрительного анализатора;

$N_a = K_{\text{нор}} \cdot N_{\text{ф}}$ – эквивалентный шумовой сигнал зрительной системы; $K_{\text{нор}}$ – пороговый контраст.

Значение $N_{\text{и}}$ определяется по формуле $N_{\text{и}} = \frac{D f'_r}{D_r D_n} \sqrt{S_6 / S_{\text{рп}}} 10^3$,

где f'_r – заднее фокусное расстояние глаза;

D_r – диаметр глаза;

D – диаметр объектива;

D_n – дистанция наблюдения;

S_6 – средняя площадь объекта;

$S_{\text{рп}}$ – площадь рецептивного поля.

Время поиска объекта является случайной величиной. Для моделирования принимаем экспоненциальный закон распределения времени поиска

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt},$$

где $\lambda(t)$ – интенсивность поиска.

Если условия поиска объекта во времени не изменяются, то закон распределения времени поиска имеет вид:

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{ср}}}},$$

где T_{cp} – среднее время поиска с помощью оптического прибора при постоянных условиях наблюдения.

Величину среднего времени поиска объекта с применением оптического прибора определяют по формуле:

$$T_{cp} = t_{np} \left(\frac{1}{PQ} - 1 \right) + t_{on},$$

где T_{on} – среднее время опознавания цели;

Q – вероятность обнаружения объекта за время пребывания в поле зрения прибора наблюдения.

t_{np} – среднее время пребывания объекта в поле зрения прибора, $t_{np} > 0$;

P – вероятность попадания объекта в поле зрения прибора наблюдения.

Время поиска объекта можно моделировать по треугольному закону распределения. Функция плотности соответствующая треугольному распределению имеет вид, показанный на рис. 2 и описывается зависимостью

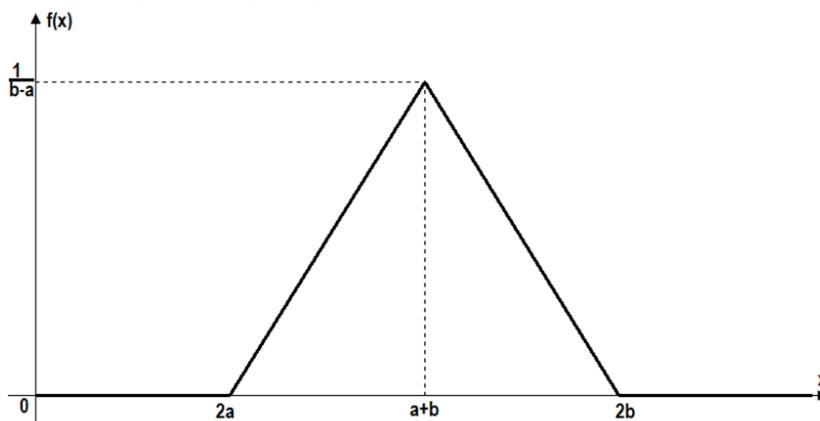


Рис. 2. Функция плотности треугольного распределения

$$f(x) = \begin{cases} 4(x - a)/(b - a)^2, & x \in [a, (a + b)/2] \\ 4(b - x)/(b - a)^2, & x \in [(a + b)/2, b], \\ 0, & x \notin [a, b] \end{cases} \quad (8)$$

где a, b – интервал распределения;
 c – мода распределения.

Треугольное распределение случайной величины может быть левосторонним, правосторонним, симметричным. Математическое ожидание треугольного распределения определяется по формуле

$$m_x = (a + b + c)/3,$$

дисперсия

$$D_x = (a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc)/18.$$

Параметры распределения a и b ($a < b$) определяют интервал распределения и положение моды.

Список литературы

1. Федотов, А.В. Физические основы устройства РАВ. Военные оптические приборы: учебное пособие/ А. В. Федотов, В.Н. Федотов, П.С. Иванов. – Пенза: Филиал ВА МТО, 2015. – 332 с.
2. Руководство по боевой работе подразделений оптической разведки артиллерии. – М.: Воениздат, 2006. – 188 с.
3. Глущенко, Л.А. Определение вероятности распознавания алфавитно-цифровой информации на экране монитора /Л. А. Глущенко, А. М. Корзун, Н. И. Павлов и [др.][Электронный ресурс]. URL:niiki.ru>doc/konf/po2006/1_42.pdf (дата обращения: 31.03.16).

05.11.00

¹В.Н. Хмелев д.т.н., ²М.В. Хмелев, ¹С.Н. Цыганок к.т.н.,
¹В.А. Шакура, ¹Ю.М. Кузовников к.т.н.

¹Бийский технологический институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

²ООО «Центр ультразвуковых технологий»,
shakura.va@bti.secna.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ ОТ ЗАУСЕНЦЕВ

Статья посвящена исследованию ультразвукового кавитационного воздействия на процесс очистки деталей от заусенцев в труднодоступных местах с использованием различных сред, в том числе абразивной суспензии и химически активных сред.

Ключевые слова: *ультразвуковая очистка, кавитация, снятие заусенцев, заусенцы.*

Введение

Эффективность эксплуатации различных изделий отраслей во многом определяется качеством удаления с поверхности нарушений поверхностей (заусенцы), остающихся во внутренних полостях деталей после прорезания отверстий.

Снятие заусенцев механической обработкой требует применения специального инструмента, что часто экономически невыгодно или технически невозможно из-за отсутствия доступа к зоне обработки, особенно в случае пересекающихся отверстий.

В последние годы широкое распространение получила очистка металлических изделий в ультразвуковом (УЗ) поле. При распространении ультразвуковых колебаний в жидкости возникают кавитационные пузырьки, взрыв которых сопровождается ударными волнами и кумулятивными ударами, способствующими удалению заусенцев [1].

Существенные изменения, произошедшие в последние годы в технологиях изготовления, конструкция изделий, материалах, а также рост требований к качеству поверхностей и совершенствование ультразвуковой техники потребовали исследования особенностей реализации ультразвукового способа удаления заусенцев.

В связи с этим возникла необходимость в проведении исследований, направленных на отработку режимов и условий реализации процессов УЗ удаления заусенцев с учетом влияния различных факторов комбинированного воздействия кавитации совместно с абразивными и химически активными добавками.

Для проведения исследований использовались ультразвуковые технологические аппараты серии «Волна», модель УЗТА-0,4/22-ОМ и серии «Волна-М» модели УЗТА-1/22-ОМ, предназначенные для интенсификации процессов в дисперсных системах с жидкой фазой (экстракция, растворение, очистка и др. процессы) [2]. Аппараты укомплектованы электронными генераторами с таймером и регулятором выходной мощности (30-100%) и колебательными системами в металлическом корпусе с принудительным воздушным охлаждением [3].

Основные технические характеристики – мощность 400/1000 ВА, частота $22 \pm 1,65$ кГц, интенсивность излучения не менее 20 Вт/см². Далее, последовательно представлены результаты ультразвуковой обработки разнообразных изделий в различных условиях.

Кавитационная обработка в водопроводной воде

На первом этапе были проведены исследования по кавитационной обработке в водопроводной воде деталей, представляющих собой решетку из латуни, на кромках которой, остались заусенцы после лазерной резки.

Наблюдения за изменениями на поверхности деталей проводились визуально по истечении определенного времени обработки. При этом детали подвергались промывке, сушке и фотографированию при помощи микроскопа «АЛЬТАМИ» при 65-ти кратном увеличении до и после процесса обработки в течении 2 часов (Рис. 1).

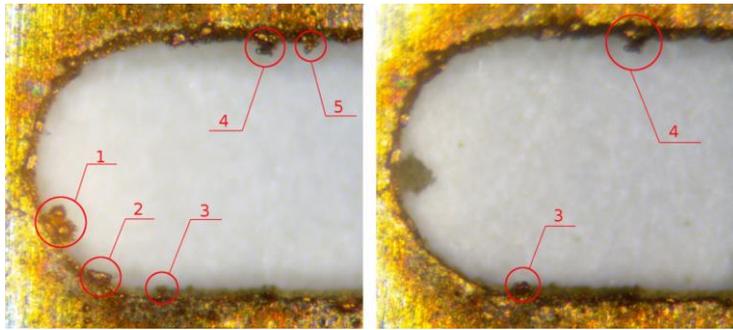


Рис. 1- Фотографии кромок детали до (слева) и после (справа) двух часовой кавитационной обработки в водопроводной воде

Ультразвуковой обработкой удалось полностью удалить заусенцы с номерами 1, 2, 5. Заусенцы под номерами 3 и 4 удалены за 3,5 часа.

Далее проводились удаление заусенцев коллекторов из инструментальной стали, расположенных внутри коллектора, в зоне схождения двух отверстий. Общее время обработки – 5 часов. Фотографии деталей до и после обработки представлены на Рис. 2.

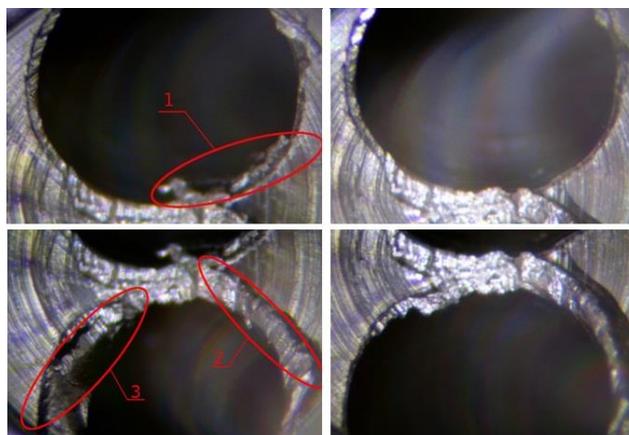


Рис. 2- Фотографии кромок детали до (слева) и после (справа) 5 часов кавитационной обработки в водопроводной воде

Как следует из представленных фотографий, заусенцы под номерами 1 и 3 были полностью удалены за время обработки. Заусенец 2 полностью очистить не удалось, однако было обеспечено значительное уменьшение его объема. Поверхность образца, даже после столь длительного кавитационного воздействия, не показывает признаки износа.

Следующий тип детали, подвергнутый УЗ воздействию – шестеренки из инструментальной стали. Заусенцы сформировались в процессе механической обработки. Время обработки – 1 час. Фотографии деталей до и после обработки, при увеличении в 40 раз на Рис. 3. В течении одного часа обработки полного удаления всех заусенцев не произошло, но размеры их существенно изменились. Группа заусенцев под номером 1 удалена полностью, в то время как заусенцы под номером 2, разрушились незначительно. Метки (царапины) нанесенные сапфиром не исчезли. Удаления заусенцев произошло через 1,5 часа обработки.

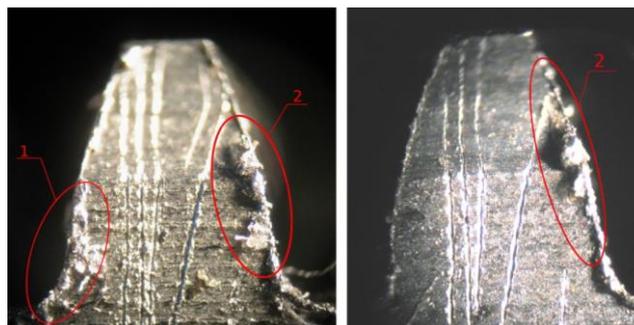


Рис. 3- Фотографии кромок детали до (слева) и после (справа) часовой кавитационной обработки в водопроводной воде

Исследования позволяют сделать вывод об эффективности УЗ удаления заусенцев в водопроводной воде. К недостаткам метода относится длительность процесса (до 5 часов). Основные преимущества метода – дешевизна, отсутствие вспомогательных материалов и низкий износ поверхностей деталей. Такой метод должен быть основным при обеспечении минимального повреждения рабочих поверхностей деталей.

Когда допустимы незначительные повреждения рабочих поверхностей и требуются меньшие времена для удаления заусенцев, возможно использование абразивных суспензий и активных растворов.

Кавитационная обработка с абразивной суспензией

Дополнительно, к кавитационному воздействию в воде было добавлено ударное действие частичками абразива (карбид бора, М28, 35 г на 200 г воды). Обрабатываемые детали – коллекторы из инструментальной стали, с различными по размерам заусенцами (типичные показаны на Рис. 4). Ультразвуковое воздействие осуществлялось в течение 60 мин.

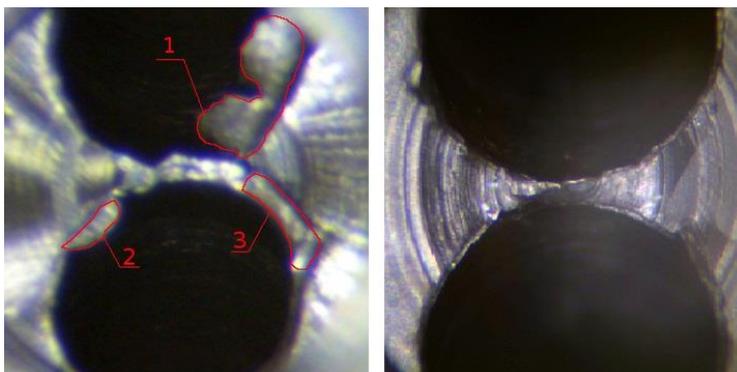


Рис. 4- Фотографии отверстий первой детали до (слева) и после (справа) шестидесяти минутной кавитационной обработки в абразивной суспензии

Как видно, заусенцы 1, 2 и 3 были полностью удалены.

Сравнение результатов кавитационной обработки с абразивной суспензией и без нее свидетельствуют о пятикратном ускорении процесса удаления заусенцев в случае пересекающихся отверстий

При обработке шестеренки из инструментальной стали, получены результаты, представленные на Рис. 5. Как видно из фотографии заусенцы по кромкам детали полностью удалены за два часа обработки. Метки (царапины) нанесенные с помощью кристалла сапфира исчезли практически полностью.

Таким образом, обработка с применением абразивной суспензии позволяет существенно сократить время, необходимое для удаления заусенцев (до 5 раз) и обеспечивает глубокую очистку поверхностей.



Рис. 5- Фотографии кромок детали до (слева) и после (справа) 2 часов кавитационной обработки в абразивной суспензии

Такой метод очистки также требует длительного времени обработки (до 1...2 часов) и поэтому дальнейшие исследования проведены с применением химически активных кавитирующих сред.

Кавитационная обработка в химически активных средах

Последний этап исследований по проверке эффективности удаления заусенцев ультразвуком – использование химически активных сред (хлорное железо, серная кислота и др.).

Первый проверяемый образец – плоская решетка из латуни. В качестве химически активной среды применялся 1% раствор хлорного железа. Время кавитационного воздействия не превышало 1 часа, результат на Рис. 6. На детали после механической обработки остались пять крупных заусенцев (выделены окружностями). УЗ обработкой совместно с воздействием хлорного железа удалены заусенцы с номерами 1, 2, 3, 4. От заусенца под номером 5, осталась только небольшая часть (не более 10%).

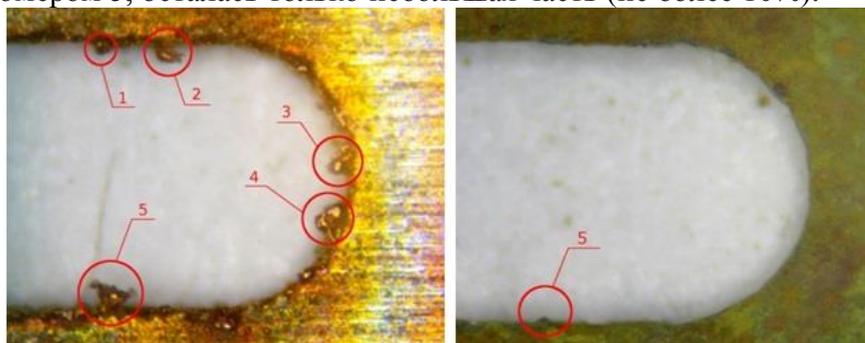


Рис. 6- Фотографии кромок детали до (слева) и после (справа) часовой кавитационной обработки в растворе хлорного железа концентрации 1%

При очистке заусенцев коллекторов из инструментальной стали в качестве химически активной среды использовался 14,73 и 27,72% раствор серной кислоты. Время кавитационного воздействия составило 30 мин. Фотографии деталей на Рис. 7.

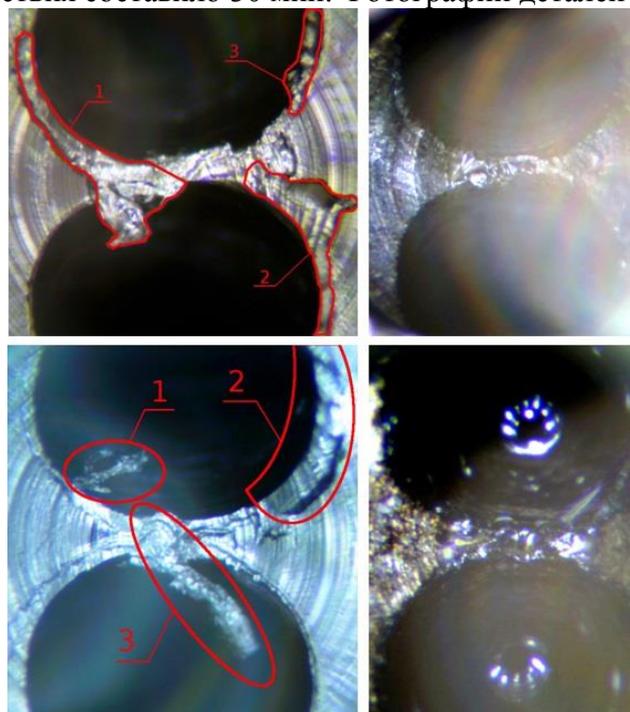


Рис. 7- Фотографии кромок детали до (слева) и после (справа) тридцати минутной кавитационной обработки в растворе серной кислоты, с концентрацией 14,73% (сверху) и 27,72% (снизу)

Ультразвуковой обработкой совместно с воздействием раствором серной кислоты, удалось полностью очистить заусенцы. Таким образом, применение активных веществ совместно с УЗ воздействием позволило сократить время очистки не менее чем в 2 раза.

Вывод

Результаты проведенных исследований позволили подтвердить эффективность УЗ удаления заусенцев при реализации различных вариантов практической реализации метода.

При выборе вариантов практической реализации необходимо выбирать используемую технологическую среду (водную, водную с абразивными частицами или химически агрессивную) в зависимости от типа обрабатываемой детали, материала детали, размера заусенцев.

Основным, при необходимости удаления заусенцев и обеспечении минимального повреждения рабочих поверхностей деталей следует считать удаления заусенцев в воде, а при необходимости сокращения времени удаления следует применять химически активные среды.

Список литературы

1. *Хмелев В.Н.* Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: монография / В.Н. Хмелев, О.В. Попова. - Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 1997. – 178 с.
2. *Хмелев В.Н.* Ультразвук. Аппараты и технологии: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, С.С. Хмелев, С.Н. Цыганок; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. – 687 с.
3. *Хмелев В.Н.* Источники ультразвукового воздействия. Особенности построения и конструкции: монография / В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, С.В. Левин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 196 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

05.13.18

И.А. Акимов д.т.н., Е.О. Каракулина

Оренбургский государственный педагогический университет,
физико-математический факультет, кафедра математического анализа и методики
преподавания математики, Оренбург, akimov_ia@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВТОРОГО ЭТАПА ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ ШОЛЬЦА

В данной работе представлены результаты изучения теплопередачи в многослойных изделиях с различными коэффициентами теплопроводности на этапе полимеризации композиционных материалов в установках Шольца.

Ключевые слова: *композиционные материалы, метод изотермических поверхностей многослойная конструкция, полимеризация, установка Шольца, фазовый переход.*

Введение. Композиционные материалы востребованы во многих отраслях промышленности, сельского хозяйства, строительстве, судостроении, авиации, космической технике и других сферах. В связи с возрастающими требованиями к их теплофизическим и другим характеристикам разрабатываются и новые технологии изготовления этих материалов.

В данной работе рассматривается изготовление композиционных материалов в установках Шольца методом полимеризации. Заготовки для будущих изделий помещают внутри установки Шольца и подключают электрообогрев. Температура и давление меняются по определенному режиму в замкнутом объеме. При таком способе изготовления не возможно учесть выделение тепла при полимеризации, что может вызвать местный перегрев в изделиях, который приводит к деформациям и остаточным термонапряжениям. В результате изделие может оказаться бракованным.

Для разработки системы корректировки температурой в изделиях, требуется разработать математические модели процесса изготовления композиционных материалов, а также аналитические и численные методы расчетов.

Циклограмма изготовления изделия, схема расположения девяти слоев заготовки и решение задачи первого этапа производства композиционных материалов в установках Шольца описаны в работе [1].

Цель работы. Разработка и исследование математической модели процесса полимеризации на втором этапе производства композиционных материалов в установках Шольца.

Температура в установке распространяется по всему объему после подключения электрообогрева. Так как материалы слоев изделия изотропны, то в каждом слое распределение температуры будет одинаково по всем трем направлениям x , y , z . Поэтому рассматривается распределение температуры только по направлению Ox , так как слои расположены только в этом направлении.

Постановка и решение задачи. При предположениях сделанных выше, постановка задачи для многослойных изделий плоской формы в прямоугольной системе координат имеет вид

$$\frac{\partial U_k(x,t)}{\partial t} = a_k \frac{\partial^2 U_k(x,t)}{\partial x^2} + f_k(x,t), \quad (k=1,2,\dots,9) \quad (1)$$

$0 < x < \xi(t)$, $t > 0$ для зоны полимеризации при

$$U(x,0) = \varphi(x), \text{ где } \varphi(x) \geq 0, 0 < x < C, \varphi(C) = U_{kp}, C > 0; \quad (2)$$

$$U[\xi(t), t] = U_{kp} \text{ для } t > 0 \text{ и } \xi(0) = C; \quad (3)$$

$$\frac{\partial U_k[\xi(t), t]}{\partial x} = \sigma \frac{d\xi(t)}{dt}, t > 0 \quad (4)$$

$$\text{для граничного условия } U(0, t) = \psi(t), \quad (5)$$

где $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ непрерывно дифференцируемые функции своих аргументов, a_k , σ – температуропроводности каждого слоя и теплота полимеризации.

Задача (1)-(5) имеет единственное решение [3].

Решение приведено для $k = 1, 2, \dots, 9$ слоев, но коэффициенты температуропроводности a_k для восьми слоев стеклоткани одинаковые и будут отличаться только в сотовом слое.

Используя подстановку $x = y \cdot \xi(t)$ и введя вспомогательные функции

$$T_k(y, t) = U_k(x, t) + (y-1)\psi(t) - yU_{kp} \quad (6)$$

приводим задачу (1)-(3), (5) к виду

$$\xi^2 \frac{\partial T_k(y, t)}{\partial t} = a_k \frac{\partial^2 T_k(y, t)}{\partial y^2} + y \cdot \xi \cdot \xi' \frac{\partial T_k(y, t)}{\partial y} + \xi^2 \cdot f_k(y, \xi, t) + A(y, t), 0 < y < 1, t > 0 \quad (7)$$

$$\text{при начальном условии } T(y, 0) = \varphi(Cy) + B(y) \quad (8)$$

и при однородных граничных условиях, где

$$A(y, t) = (\psi(t) - U_{kp}) \cdot [y\xi(t) \cdot \xi'(t)] + (1-y) \cdot \psi'(t) \cdot \xi^2(t); B(y) = \psi(0)(y-1) - y \cdot U_{kp}.$$

Решение задачи (7) – (8), при однородных граничных условиях отыскиваем методом вырожденных гипергеометрических преобразований по y [4]

$$M_k(\gamma, t) = \int_0^1 T_k(\gamma, t) \cdot K_k(y, \gamma) g_k(y) dy, \quad (9)$$

пока с неизвестным ядром и предполагая, что свойства преобразования (9) выполняются равномерно по t .

Изображение не будет содержать интегральных членов, если

$$\frac{\partial^2 K_k(y, \gamma)}{\partial y^2} - \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{y}{a_k} \xi(t) \cdot \xi'(t) \cdot K_k(y, \gamma) g_k(y) \right] = -\frac{\mu^2}{a_k} K_k(y, \gamma) g_k(y),$$

где μ^2 – величина, не зависящая от y , $g(y)$ – весовая функция.

Это уравнение преобразуется в самосопряженное при $g'_k(y) = \frac{y}{a_k} \xi(t) \cdot \xi'(t) \cdot g_k(y)$. Отсюда

$$\frac{g'_k(y)}{g(y)} \cdot \frac{a_k}{y} = \xi(t) \cdot \xi'(t).$$

Получим равенство, левая часть которого зависит только от y , а правая только от t . Это возможно лишь в случае, когда обе части представляют одну и ту же постоянную. Обозначим ее через λ_{1k} и получим уравнения

$$g'_k(y) = \alpha_k \cdot y \cdot g(y), \quad \xi(t) \cdot \xi'(t) = \lambda_{1k},$$

$$\text{где } \alpha_k = \frac{\lambda_{1k}}{a_k}.$$

Из первых уравнений определяем весовые функции $g'_k(y) = e^{\frac{\alpha_k \cdot y^2}{2}}$ и устанавливаем характер зависимости положения свободной границы $x = \xi(t)$ от времени $\xi(t) = \lambda_k \sqrt{t}$, где $\lambda_k = \sqrt{2\lambda_{1k}}$.

$$(10)$$

Параметр λ_k определяется после решения задачи (1)-(3), (5) из условия (4).

Ядро преобразования (9) является решением уравнения

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[g_k(y) \frac{\partial K_k(y, \gamma)}{\partial y} \right] + \frac{\mu^2}{a_k} g_k(y) K_k(y, \gamma) = 0 \tag{11}$$

при однородных граничных условиях $K_k(0, \gamma) = 0$.

Уравнение (11) представим в виде

$$\frac{\partial^2 K_k(y, \gamma)}{\partial y^2} + \alpha_k y \frac{\partial K_k(y, \gamma)}{\partial y} + \frac{\mu^2}{a_k} K_k(y, \gamma) = 0. \tag{12}$$

Подстановкой $K_k(y, \gamma) = \sqrt{\frac{2z_k}{\alpha_k}} \cdot W_k(z_k, \gamma) e^{-z_k}$, $z_k = \frac{\alpha_k}{2} y^2$ \tag{13}

Уравнение (12) приводится к вырожденному гипергеометрическому относительно функции $W_k(z_k, \gamma)$

$$z_k \frac{\partial^2 W_k(z_k, \gamma)}{\partial z_k^2} + \left(\frac{3}{2} - z_k \right) \frac{\partial W_k(z_k, \gamma)}{\partial z_k} - b_k W_k(z_k, \gamma) = 0, \quad b_k = 1 - \left(\frac{\mu}{\lambda_k} \right)^2 \tag{14}$$

Ортонормированные ядра преобразования (9) получаются в виде

$$K_k(y, \gamma) = \frac{e^{-z_k}}{A(0, \gamma)} y {}_1F_1 \left(b_\gamma, \frac{3}{2}, z_k \right). \tag{15}$$

Нормирующие множители определяются из условия ортонормированности ядер с весами $g_k(y)$, μ_γ являются решениями уравнений ${}_1F_1 \left(b_k, \frac{3}{2}, \frac{\alpha_k}{2} \right) = 0$.

С помощью преобразований (9) исходная задача сводится к решению уравнения

$$\xi^2 \frac{\partial \bar{U}_k(\gamma, t)}{\partial t} + \mu_\gamma^2 \bar{U}_k(\gamma, t) = \bar{\Phi}(\gamma, t) \tag{16}$$

при условии $\bar{U}_k(\gamma, 0) = \bar{\varphi}(Cy) + \bar{B}(y)$, \tag{17}

где $\bar{\Phi}(\gamma, t)$ изображение функции $\xi^2(t) \cdot f_k(y \cdot \xi(t), t) + A(y, t)$ при преобразовании (9).

$$\bar{A}(y) = [U_{kp} - \psi(t)] \cdot \left(-\frac{\lambda_k^2}{2} J_{0,3,\gamma} \right) - \xi^2(t) \psi(t) J_{0,4,\gamma}, \quad \bar{B}(y) = J_{0,4,\gamma} \cdot \psi(0) - J_{0,3,\gamma} \cdot U_{kp};$$

$$J_{0,\gamma} = \lambda_k J_{0,3,\gamma} - J_{0,1,\gamma}; \quad J_{0,1,\gamma} = \frac{1}{A(0, \gamma)} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(b_\gamma)_n \cdot \alpha_k^n}{2n(2n+1)!! \cdot n!};$$

$$J_{0,3,\gamma} = \frac{1}{2\alpha_k (b_\gamma - 1) A(0, \gamma)} \cdot \left[{}_1F_1 \left(b_\gamma - 1, \frac{1}{2}; \frac{\alpha_k}{2} \right) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(b_\gamma - 1)_n \cdot \alpha_k^n}{(2n+1)!! \cdot n!} \right];$$

$$J_{0,4,\gamma} = \frac{1}{2\alpha_k (b_\gamma - 1) A(0, \gamma)} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(b_\gamma - 1)_n \cdot \alpha_k^n}{(2n+1)!! \cdot n!} - 1 \right].$$

Решив задачу (16)-(17) и осуществив обратное преобразование, находим решение исходной задачи

$$U_k(x, t) = l_0 U_{kp} + \left[1 - \frac{x}{\xi(t)} \psi_0(t) \right] + \sum_{\gamma=1}^{\infty} \left\{ \left[\xi(t) \right]^{-2 \left(\frac{\mu_\gamma}{\lambda_k} \right)^2} \cdot \left[\varphi(x) + \int_0^t \Phi_{0,1}(\gamma, t) \left[\xi(t) \right]^{2 \left(\frac{\mu_\gamma}{\lambda_k} \right)^2} dt \right] K_{k\gamma} \left(\frac{x}{\xi(t)} \right) \right\} \tag{18}$$

где $K_{k\gamma} \left(\frac{x}{\xi(t)} \right) = K_k(y, \gamma)$.

По мере продвижения свободной границы влияние выражения $\left[\xi(t) \right]^{-2 \left(\frac{\mu_\gamma}{\lambda_k} \right)^2} \varphi(x)$ на распределение температуры становится пренебрежимо малым и его можно опустить.

Отсюда следует, что влияние начального состояния потенциала переноса быстро убывает по мере продвижения свободной границы.

Далее из условия (4) находим соотношения

$$\sigma \lambda_k^2 = 2 \left[\Gamma_{0,1,\gamma}(\lambda_k) - U_{kp} \right], \quad (19)$$

где $F_{0,1,\gamma}(\lambda_k) = \psi_0(t) - \sum_{\gamma=1}^{\infty} C_{0,1,\gamma}(\lambda_k) [\xi(t)]^{-2} \left(\frac{\mu_\gamma}{\lambda_k} \right)^2 \cdot \frac{e^{-\frac{\alpha_k}{2}}}{A_{0,\gamma}} \cdot \int_0^t \Phi_{0,1}(\gamma, \tau) [\xi(t)]^2 \left(\frac{\mu_\gamma}{\lambda_k} \right)^2 dt$,

$$C_{0,1,\gamma}(\lambda_k) = \frac{2}{3} b_\gamma F \left(b_\gamma + 1; \frac{5}{2}; \frac{\alpha_k}{2} \right).$$

Если $f_k(x, t) \equiv 0$, $\psi(t) \equiv U_l$, $\varphi(x) = U_0$, то $\Phi_{0,1}(\gamma, t) \equiv D_{0,1}(\lambda_k, \gamma)$, $\varphi(Cy) \equiv E_{0,1}(\lambda_k, \gamma)$,

где $D_{0,1}(\lambda_k, \gamma) = -\frac{\lambda_k^2}{2} J_{0,3,\gamma} \cdot \Delta t_l$; $\Delta U_l = U_{kp} - U_l$; $\Delta U_0 = U_l - U_0$; $A_{1,\gamma} \cdot E_{0,1}(\lambda_k, \gamma) = U_0 J_{0,0,\gamma}$ или

$$A_{1,\gamma} = \frac{U_0 J_{0,0,\gamma}}{E_{0,1}(\lambda_k, \gamma)}.$$

При $[\xi(t)]^{-2} \left(\frac{\mu_\gamma}{\lambda_k} \right) \varphi(x) \rightarrow 0$ решение исходной задачи имеет вид

$$U_k(x, t) = U_{kp} - \left[\frac{x}{\xi(t)} - 1 \right] \psi_{0,0} + \sum_{\gamma=1}^{\infty} P_{0,\gamma,1} K_{k\gamma} \left(\frac{x}{\xi(t)} \right), \quad P_{0,\gamma,1} = \mu_\gamma^{-2} \cdot D_{0,1}(\lambda_k, \gamma), \quad \psi_{0,0} = t_l.$$

Параметр λ_k определяется из соотношения

$$\sigma \lambda_k^2 = 2 \left[\psi_{0,0} - U_{kp} - \sum_{\gamma=1}^{\infty} C_{0,1,\gamma}(\lambda_k) \cdot P_{1,\gamma,n} \right] \quad (21)$$

или, преобразуя получим

$$2 \Delta t_l \left[\frac{e^{-\frac{\alpha_k}{2}}}{3} \cdot \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{b_\gamma J_{0,3,\gamma}}{A_{0,\gamma} \mu_\gamma^2} \cdot F \left(b_\gamma + 1; \frac{5}{2}; \frac{\alpha_k}{2} \right) - \lambda_k^{-2} \right] = \sigma \quad (22)$$

Из этого соотношения определяется λ_k .

При $t_l = 20^\circ \text{C}$, $t_0 = 10^\circ \text{C}$, $\gamma = 1920 \text{ кг/м}^3$, $W_{b,0} = 0,2$, $\lambda = 1,872 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ \text{C)}$, $C = 1,047 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ \text{C)}$,

$\sigma = 334,944 \text{ кДж/кг}$ получим $\lambda_0 = 0,56$, то есть $\xi(t) = 0,056 \sqrt{t}$.

Основные результаты и выводы.

1. Методом ВГПП получено аналитическое решение нестационарной задачи теплообмена на этапе полимеризации многослойной конструкции в установках Шольца.

2. Ядро ВГПП зависит от формы поверхности фазового перехода.

3. В полученных решениях разложение вырожденных гипергеометрических функций в ряды сходятся достаточно быстро, так как $\lambda_k^2 \ll 1$ и $b_\gamma < 0$. Поэтому при вычислениях достаточно ограничиться двумя-тремя членами этих рядов и представить решения в удобной форме для практических расчетов.

Список литературы

1. Акимов И.А., Акимов А.И., Каракулина Е.О. Исследование и разработка математической модели на первом этапе производства некоторых типов композиционных материалов в установках Шольца // Научно-технический вестник Поволжья. № , 2016. – С. -54-57.
2. Акимов И.А., Акимов А.И., Каракулина Е.О. Исследование теплопередачи на втором этапе производства композиционных материалов методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП) // Научно-технический вестник Поволжья. № 1, 2015. – С. 31-38.
3. Фридман А. Уравнения с частными производными параболического типа. М.: Мир, 1968.
4. Шафеев М.Н. Решение одной задачи методом ВГПП // Известия вузов «Математика», №12, 1981.

05.13.01

И.З. Ахметзянов, В.С. Каримов

Казанский (приволжский) федеральный университет, Набережночелнинский институт
(филиал), кафедра системного анализа и информатики,
Набережные Челны, kvs-chelny@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ ПОЛНОГО ПОРЯДКА ПРИ СИНТЕЗЕ КВАЗИАДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ ПО ВЫХОДУ

Было найдено аналитическое решение задачи синтеза квазиадаптивной системы автоматического управления с эталонной моделью для многосвязного объекта с запаздываниями по выходу на основе технологии вложения систем. Наблюдатель полного порядка применялся для воспроизведения вектора состояния объекта. Получено множество решений задачи синтеза с условиями существования этих решений.

Ключевые слова: объект с запаздываниями по выходу, технология вложения систем, эталонная модель, квазиадаптивная система.

Использование классических методов адаптации для многосвязных систем, работающих в условиях неопределенностей, затрудняется из-за целого ряда факторов [1]. Для управления подобными системами, можно применять квазиадаптивные системы (приближающиеся по своим свойствам к адаптивным). Их достоинством является несложная техническая реализации, обусловленная отсутствием цепей настройки коэффициентов регуляторов [1]. К квазиадаптивным системам можно отнести автоматические системы с эталонной моделью, которые являются эквивалентными по своим свойствам адаптивным системам при определенных условиях функционирования.

Усложняет поиск закона управления наличие запаздываний в каналах управления объекта. Запаздывания крайне отрицательно влияют на поведение системы управления: могут привести к возникновению автоколебательности, ухудшению качества процессов управления и даже к потере устойчивости системы [2].

Применение наблюдателя полного порядка в данной задаче синтеза обусловлено тем, что фазовый вектор состояния объекта недоступен для непосредственного наблюдения. С помощью технологии вложения систем [3] будет произведен поиск матричной передаточной функции (МПФ) регулятора и МПФ наблюдателя, а также условий их определяющие, при которых поведение системы управления будет описываться желаемой МПФ. Поиск закона управления проводится по вынужденной составляющей рассогласования замкнутой динамической системы.

Пусть поведение динамического объекта с сосредоточенными запаздываниями по выходу может быть представлено в виде уравнений:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = \sum_{i=0}^l C_i x(t - \tau_i), \quad (1)$$

где $\tau_0 = 0$, $0 < \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_l$ – постоянные времена запаздываний, $i = 0, 1, \dots, l$, $u(t) \in R^s$ – вектор управлений объекта, $y(t) \in R^m$ – вектор выходных переменных, $x(t) \in R^n$ – вектор состояний объекта управления. В нашем случае матрица A имеет размер $n \times n$, $B - n \times s$, $C_i - m \times n$. Слагаемые $C_i x(t - \tau_i)$ описывают запаздывания сигналов на время τ_i в каналах выхода объекта управления (ОУ).

Начальные условия зададим с учетом запаздывания сигналов в ОУ – формально будем рассматривать отрицательные моменты времени $t < 0$, предполагая, что в объекте происходили динамические процессы до начального момента времени:

$$x(t) = \varphi_x(t), \quad t_0 - \tau \leq t \leq t_0,$$

где τ – наибольшее время запаздывания.

Пусть наблюдающее устройство, воспроизводящее текущий вектор состояния $x(t)$ объекта, представлено уравнениями:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)), \quad \hat{y}(t) = \sum_{i=0}^l C_i \hat{x}(t - \tau_i), \quad (2)$$

где $\hat{x}(t) \in R^n$ – вектор состояния наблюдающего устройства, $\hat{y}(t) \in R^m$ – вектор выхода наблюдающего устройства, L – МПФ наблюдателя размера $n \times m$.

Целью управления является обеспечение поведения синтезируемой системы управления близкой к поведению эталонной модели, не содержащей запаздываний, которая описывается в пространстве состояний уравнениями:

$$\dot{x}_M(t) = A_M x_M(t) + B_M g(t), \quad y_M(t) = C_M x_M(t), \quad (3)$$

где $x_M(t) \in R^n$ – вектор состояния эталонной модели объекта, $y_M(t) \in R^m$ – вектор выходных переменных модели объекта, A_M, B_M, C_M – матрицы эталонной модели соответствующих размеров, $g(t) \in R^s$ – вектор управления на входе системы.

Пусть закон управления описывается матричным уравнением, записанным в операторной форме:

$$u(p) = g(p) - K(p)(\hat{y}(p) - y_M(p)), \quad (4)$$

где $K(p)$ – МПФ регулятора размера $n \times s$.

Требования к синтезируемой системе управления формализуем на основе сигнала рассогласования $\Delta y = \hat{y} - y_M$. Пусть близость поведения синтезируемой системы к эталонной характеризуется МПФ $E_{\Delta y}^g(p)$:

$$E_{\Delta y}^g(p) = E_{\hat{y}}^g(p) - E_{y_M}^g(p),$$

где $E_{\hat{y}}^g(p)$ – МПФ от управляющих воздействий к оценке выхода объекта, $E_{y_M}^g(p)$ – МПФ от управляющих воздействий к выходу модели объекта, $E_{\Delta y}^g(p)$ – МПФ от управляющих воздействий к рассогласованию объекта и модели.

Задача: для ОУ (1), наблюдателя состояния (2), цели управления (3) и закона управления (4) необходимо найти МПФ регулятора $K(p)$ и МПФ наблюдателя $L(p)$ или условия их определяющие, при которых поведение САУ будет описываться желаемой МПФ $E_{\Delta y}^g(p)$.

С учетом уравнений (1) – (4) и выполнения процедур технологии вложения систем проблемная матрица (проматрица) рассматриваемой задачи будет иметь вид:

$$\Omega(p) = \begin{bmatrix} (pI_n - A) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -B & 0 \\ -\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} & I_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -L(p) & (pI_n - A) & L(p) & 0 & 0 & -B & 0 \\ 0 & 0 & -\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} & I_m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (pI_n - A_M) & 0 & 0 & -B_M \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -C_M & I_m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K(p) & 0 & -K(p) & I_s & -I_s \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_s \end{bmatrix}.$$

Матрицы α и β , используемые при вложении систем имеют вид:

$$\alpha = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ I_s]^T, \quad \beta = [0 \ 0 \ 0 \ I_m \ 0 \ -I_m \ 0 \ 0] \text{ при } \omega = E_{\Delta y}^g(p),$$

где ω – образ синтезируемой системы – желаемая МПФ.

После выполнения процедур технологии вложения – последовательной факторизации матриц $\Omega = \Sigma \Xi$, $\alpha = \Sigma \delta$, $\beta = \pi \Xi$, $\omega = \pi \delta$ (π, δ, Ξ, Σ – вспомогательные матрицы), можно получить уравнения, которым должна удовлетворять МПФ регулятора $K(p)$ и наблюдателя $L(p)$ при синтезе по вынужденной составляющей $E_{\Delta y}^g(p)$ рассогласования Δy замкнутой

динамической системы.

Для решения матричных уравнений, которые получаются в результате применения процедур вложения, возможно применение аппарата канонизации матриц [3].

Применение технологии вложения при синтезе по вынужденной составляющей рассогласования Δu дает следующую систему уравнений относительно передаточных матриц $K(p)$, $L(p)$, π_x , $\pi_{\hat{x}}$, π_{x_M} :

$$\begin{aligned} \pi_x(pI_n - A) &= \pi_x L \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p}, \quad \pi_{\hat{x}}(pI_n - A) = (I_m - \pi_x L) \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p}, \\ \pi_{x_M}(pI_n - A_M) &= ((\pi_x B + \pi_{\hat{x}} B)K - I_m)C_M, \quad E_{\square y}^g = \pi_{x_M} B_M + \pi_x B + \pi_{\hat{x}} B. \end{aligned} \quad (5)$$

Из первого уравнения системы (5) получим множество матриц наблюдателя $L(p)$ относительно неизвестных π_x и $\pi_{\hat{x}}$:

$$\{L(p)\}_{\eta, \mu} = \pi_x \pi_{\hat{x}} (pI_n - A) \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} + \overline{\pi_{\hat{x}}^R} \eta(p) + \mu(p) \sum_{i=0}^l \overline{C_i e^{-\tau_i p}}. \quad (6)$$

Условия существования множества решений (6) имеют вид:

$$\overline{\pi_{\hat{x}}^L} \pi_x (pI_n - A) = 0, \quad \pi_x (pI_n - A) \sum_{i=0}^l \overline{C_i e^{-\tau_i p}} = 0. \quad (7)$$

Из системы уравнений (5) найдем выражения для матриц $\pi_{\hat{x}}$, π_{x_M}

$$\pi_{\hat{x}} = \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} - \pi_x, \quad \{\pi_{x_M}\}_{\kappa} = (E_{\Delta y}^g - \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} B) B_M + \kappa(p) \overline{B_M^L}, \quad (8)$$

где $\kappa(p)$ – произвольная дробно-полиномиальная матрица соответствующего размера.

Условия существования множества значений матрицы π_{x_M} (8):

$$(E_{\Delta y}^g - \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} B) \overline{B_M^R} = 0. \quad (9)$$

Из системы уравнений (5) можно получить выражение для искомой матрицы $K(p)$:

$$\pi_{x_M}(pI_n - A_M) = ((\pi_x B + \pi_{\hat{x}} B)K - I_m)C_M. \quad (10)$$

Используя аппарат канонизации матриц, из уравнения (10) найдем выражение для множества регуляторов $K(p)$:

$$\{K(p)\}_{\chi, \rho} = (\pi_x B + \pi_{\hat{x}} B)(C_M + \pi_{x_M}(pI_n - A_M))C_M + \overline{(\pi_x B + \pi_{\hat{x}} B)^R} \chi(p) + \rho(p) \overline{C_M^L}, \quad (11)$$

где $\chi(p)$, $\rho(p)$ – произвольные дробно-полиномиальные матрицы соответствующих размеров.

Условия разрешимости уравнения (10), а значит и существования множества решений (11) имеет вид:

$$\overline{(\pi_x B + \pi_{\hat{x}} B)^L} (C_M + \pi_{x_M}(pI_n - A_M)) = 0, \quad (C_M + \pi_{x_M}(pI_n - A_M)) \overline{C_M^R} = 0. \quad (12)$$

Таким образом, были получены решения задачи синтеза (6) и (11) с условиями существования этих решений (7), (9), (12), которые позволяют найти множество матриц наблюдателя и регулятора, удовлетворяющих закону управления (4). Результаты цифрового имитационного моделирования подтверждают компенсацию запаздываний по выходу и достижение желаемых процессов в системе управления.

Список литературы

1. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
2. Филимонов А.Б. Спектральная декомпозиция систем с запаздываниями. Компенсация запаздываний. М.: Физматлит. –2002. – 288 с.
3. Буков В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем.– Калуга: Издательство научной литературы Н.Ф. Бочкаревой, 2006. – 720 с.

05.13.15

Т.А. Деменкова, Д.Д. Яровов

«Московский технологический университет» МИРЭА,
Москва, demenkova@mirea.ru, skillzer0@hotmail.com

АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ ИХ АДАПТАЦИИ ДЛЯ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

В работе рассматривается проблема эффективных методов реализации алгоритмов цифровой обработки на основе современной элементной базы. В ходе работы был проведен анализ существующих стандартных решений цифровых фильтров. Разработаны методы адаптации алгоритма для аппаратной реализации на программируемых логических интегральных схемах. Реализована методика оценки производительности в заданных условиях.

Ключевые слова: алгоритмы цифровой обработки информации, радиолокационные системы, программируемые логические интегральные схемы.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к задачам аппаратной реализации алгоритмов цифровой обработки информации на современной элементной базе. В данной работе предложены результаты исследования технологии подготовки таких алгоритмов для перехода на аппаратный вариант, а также анализ инструментов и методов, которые используются для моделирования и верификации при выполнении проекта.

В качестве объекта исследования взят алгоритм обработки радиолокационных изображений земной поверхности, главной особенностью которого является получение результатов независимо от метеорологических условий и уровня естественной освещенности. Такую возможность предоставляют радиолокационные станции (РЛС) с синтезированной апертурой (Synthetic Aperture Radar - SAR) [1,2]. Они используют характеристики распространения долгосрочных радиолокационных сигналов и возможность комплексной обработки информации на основе современной цифровой электроники, чтобы обеспечить высокое разрешение изображений. Технологии РЛС с синтезированной апертурой (SAR) обеспечивают структурную информацию о местности для нахождения полезных ископаемых, экологические границы разливов нефти на воде, состояние моря и карты ледяной опасности для навигации, а также существует много других применений.

Современные системы РЛС с синтезированной апертурой постоянно развиваются в направлении более высокого пространственного разрешения и новых режимов работы. Это требует использования высокочастотных полос пропускания в сочетании с широкими интервалами азимутальной интеграции. Для фокусировки таких данных необходимы методы обработки SAR высокого качества, которые способны справиться с более детальными параметрами сенсора. Обработка SAR является преобразованием исходных данных SAR-сигналов в пространственное изображение. В своей самой абстрактной форме это процесс выполнения корреляции частотной области принимаемого сигнала с двумерной системой передаточных функций [3]. На практике он выполняется в несколько этапов, включая сжатие диапазона, миграцию диапазона и сжатие по азимуту (рис.1). Формат необработанных данных SAR состоит из файла объемного каталога, SAR Leader файла, файла исходных данных и файла нулевого объема. Файл объемного каталога описывает расположение данных на носителе. Файл Leader SAR предоставляет соответствующую информацию о конкретном наборе SAR данных.

Рассмотрим более подробно последовательность шагов выполнения алгоритма. Сначала необходимо настроить специализированное программное обеспечение под определенные условия, предъявляемые аппаратурой съемки. На данном этапе происходит выбор базовых атрибутов и характеристик. Устанавливаются базовые параметры для входных и выходных данных с учетом специфики передатчика.

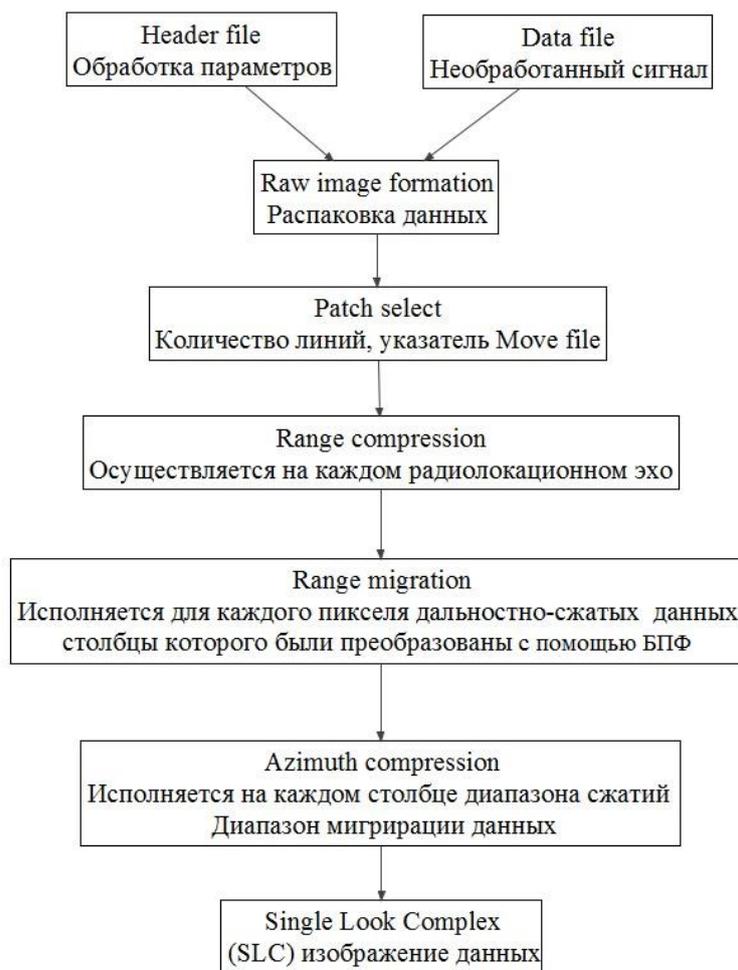


Рис.1. Алгоритм обработки радиолокационных изображений

После того как были уточнены все требования к аппаратуре и полученные данные подготовлены для корректировки, начинается процесс распаковки. На данном этапе происходит корректировка нефокусированных данных с учетом предъявляемых требований. В процессе распаковки данных получается необработанный участок съемки и требуется уточнить некоторые его аспекты с помощью параметризации местности. Происходит выборка нужного участка слоя (слоев) и его фильтрация. В результате будет получено базовое SLC изображение.

Как только требуемый участок местности выбран и сформированы все его слои, необходимо провести сжатие по дальности для последующего формирования конечного изображения. На данном этапе выполняется преобразование фазового сигнала в прямоугольный сигнал. В результате получается амплитудное изображение. К получившемуся амплитудному изображению применяется миграция по дальности, чтобы придать изображению форму. Происходит формирование прямоугольного сигнала в столбцы пикселей и получается амплитудное изображение высокой четкости. Заключительным этапом обработки служит сжатие по азимуту, чтобы полученное изображение было удобно для восприятия.

Для исследования возможностей аппаратной реализации рассмотренного алгоритма использовалась платформа MATLAB. Впоследствии часть этого алгоритма была транслирована на Verilog HDL с помощью встроенных средств MATLAB.

При выборе элементной базы рассматривались несколько вариантов. Они основаны на серии Virtex-6, так как данная серия наиболее распространена и популярна на данное время, а также выбор компонентов данной серии не будет слишком затратным для внедрения в отличие от вариантов реализации с использованием технологии UltraScale или на немодернизируемых ПЛИС серий Kintex-7 и Virtex-7.

В качестве аппаратной платформы был выбран вариант XC6VSX475T фирмы Xilinx семейства Virtex-6 подсемейства SXT, позволяющего производить высокоскоростную цифровую обработку сигналов. Данная ПЛИС содержит 476 тысяч логических ячеек, 74 тысячи слайсов, каждый из которых содержит 4 LUT и 8 Flip-Flop, и 2 тысячи DSP48E1 для цифровой обработки сигналов, каждый из которых содержит умножитель 25x18, сумматор и аккумулятор. Высокое быстродействие делает ее лучшей в этой серии ПЛИС фирмы Xilinx, а по параметрам цифровой обработки сигналов она может конкурировать даже с лучшими схемами седьмой серии и некоторыми ПЛИС семейства UltraScale. Кроме того, что эта схема перекрывает всю необходимую потребность в исчислениях, она обладает необходимой сетевой кооперацией в виде 36 GTX трансиверов. Каждый из них это комбинированный передатчик и приемник, способный работать со скоростью передачи данных от 480 Mb/s до 6,6 Gb/s. Они могут работать как одной группой, так и поддерживать до 4-х разных групп соединений за счет поддержки до 4-х Ethernet MAC на одной плате. Также на ПЛИС реализованы два интерфейсных блока PCI Express, позволяющих подключать внешние устройства связи и обработки по данному интерфейсу. Единственным недостатком является то, что в настоящее время данная FPGA не является модернизируемой, то есть заменяемой на более свежую версию из-за отсутствия таких схем на рынке.

Если в качестве основного критерия при выборе элементной базы будет выступать возможность модернизации, то может быть использована схема XC6VLX550T фирмы Xilinx семейства Virtex-6 подсемейства LXT, позволяющая производить высокоточные вычисления. Ее преимуществом является возможность модернизации данной ПЛИС до седьмой или более современной серии фирмы Xilinx. ПЛИС содержит 550 тысяч логических ячеек, 86 тысяч слайсов и около тысячи DSP48E1 слайсов для цифровой обработки сигналов. Слайс DSP48E1 предоставляет возможность для конвейерной обработки сигналов.

Оценка производительности производилась с помощью SPIRAL HDL Generator, который позволил симулировать работу алгоритма на FPGA фирмы Xilinx. На вход генератора необходимо подать параметры генерации и набор правил, чтобы выполнить соответствующий перебор микротестов. Для более глубокого исследования можно использовать части действительных приложений. Для анализа системы применялись самые жесткие условия эксплуатации, такие как одновременное использование БПФ и ОБПФ [4], расчеты комплексных составляющих.

На основании проведенных в работе исследований были сделаны выводы, что просмотренные алгоритмические блоки принципиально могут быть реализованы аппаратно, что было показано на примере блока с использованием БПФ. Была предложена методика оценки производительности данного блока с использованием стандартных программных средств. Полученные результаты можно использовать для аппаратной реализации алгоритмов обработки изображений для вычислительных систем различного назначения.

Исследования проводились для научно-исследовательской работы №35, выполняемой в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности за 2016 г.

Список литературы

1. *C. Cafforio, C. Prati, and F. Rocca. SAR Data Focusing Using Seismic Migration Techniques. IEEE Trans. on Aerosp. and Elec. Sys. Vol. 27, No. 2, 1991.*
2. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. – М.: Радиотехника, 2010.
3. *Curlander J.C., McDonough R.N. Synthetic Aperture Radar: Systems & Signal Processing. John Wiley & Sons editions, New York, 1991.*
4. *Деменкова Т.А., Николаев С.А., Певцов Е.Ф. Аппаратная реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов для синтеза радиолокационных изображений. Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. Сборник трудов. ОАО "НПП Пульсар", 2014. С.107-110.*

05.13.06

А.А. Денисевич, Е.В. Ефремов, М.И. Грачев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок, Томск, denisevicghaa@tpu.ru

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КАЛЬЦИТОАНГИДРИТА

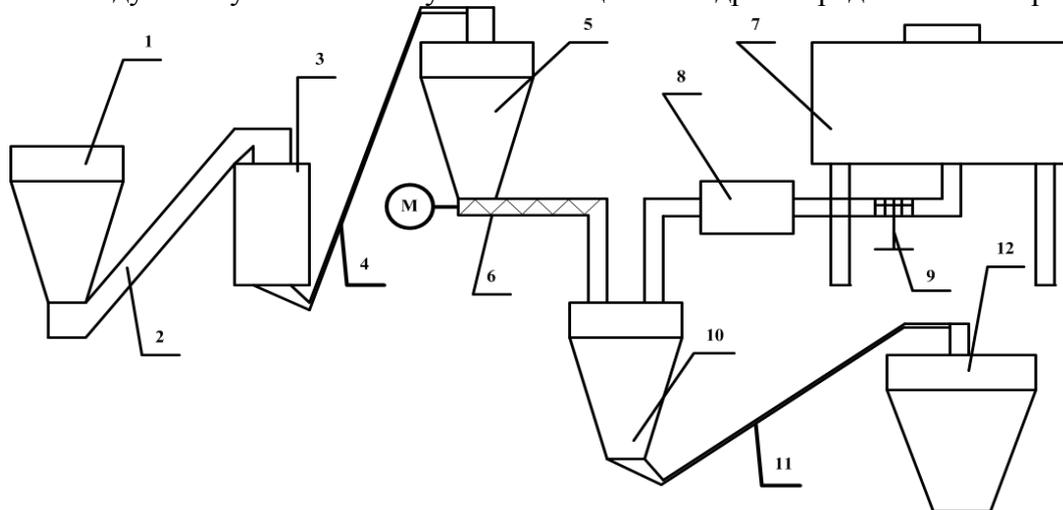
Работа посвящена разработке функциональной схемы автоматизации процесса получения кальцитоангидрита. В работе описан метод нейтрализации концентрированной серной кислоты известняком посредством получения безводного твердого сульфата кальция, который будет применяться в технологических процессах производств металлургической промышленности.

Ключевые слова: автоматизация, управление, кальцитоангидрит, серная кислота, известняк.

Специфика технологий производства в металлургической промышленности состоит в выбросах в атмосферу серосодержащих газов. В свою очередь, при переработке серосодержащих газов в качестве продуктов реакций образуется концентрированная серная кислота. На сегодняшний день разрабатываются различные технологии по обезвреживанию серной кислоты, одной из которых является нейтрализация известняком [1]. В результате взаимодействия серной кислоты с известняком образуется кальцитоангидрит (безводный твердый сульфат кальция) в соответствии с выражением (1).



Пилотная модульная установка получения кальцитоангидрита представлена на рисунке 1.



1 – бункер приемный; 2 – транспортер-дозатор скребковый; 3 – роторная дробилка; 4,11 – пневмотранспорт; 5 – бункер товарного известняка; 6 – шнек-дозатор известняка; 7 – емкость с серной кислотой; 8 – электронагреватель серной кислоты; 9 – дозатор-расходомер серной кислоты с запорным вентилем; 10 – виброреактор; 12 – бункер с кальцитоангидритом.

Рис.1 – Модульная пилотная установка получения кальцитоангидрита

Требуемый состав, предъявляемый к используемому известняку:

- CaCO_3 – 86,5 %;
- Al_2O_3 – 2,01 %;
- SiO_2 – 6,18 %;
- Fe_2O_3 – 1,28 %;
- MgCO_3 – 2,78 %;

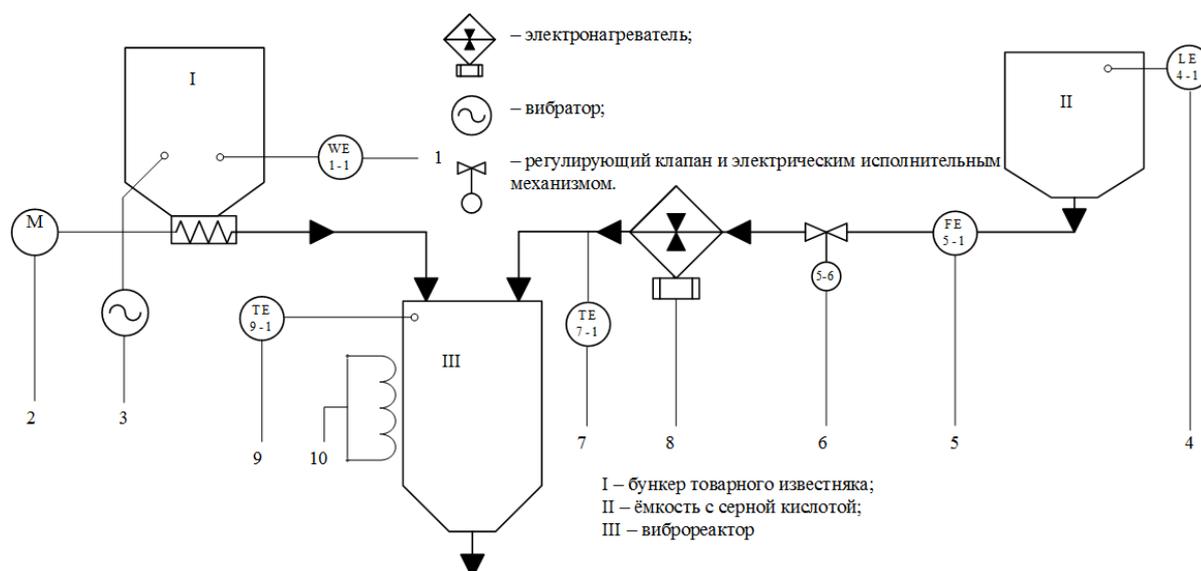
- S – 0,31 %;
- H₂O – 0,94 %.

Подача известняка с содержанием CaCO₃ 86,5 % осуществляется с избытком в количестве 50 % относительно стехиометрически необходимого при температуре реакции, превышающей +100 °С (в диапазоне +105 ÷ +150 °С). Цель функционирования установки состоит в получении кондиционного кальцитоангидрита (содержание водорастворимого сульфата кальция – не ниже 20 %, остальное – водонерастворимый сульфат кальция и непрореагировавший известняк, pH ≤ 4,2) и использование его в различных отраслях народного хозяйства.

Целью данной работы является разработка функциональной схемы автоматизированной системы управления технологическим процессом производства кальцитоангидрита. Как правило, система автоматизации химических производств обладает трехуровневой структурой. В состав нижнего уровня системы входят такие устройства, как датчики, термопары, расходомеры, уровнемеры и нормирующие преобразователи. Значения физических величин параметров технологического процесса через соответствующие преобразователи и устройства связи с объектами отображаются измерительными приборами приборами, преобразуются в электрические сигналы и поступают на программируемые контроллеры – устройства среднего уровня системы. Передача сигналов с местных щитов автоматизации на контроллеры организуется с помощью определенного набора каналов аналогового и дискретного ввода/вывода. На основе параметров, измеренных устройствами нижнего уровня системы, контроллеры формируют управляющие воздействия для исполнительных устройств. Контроллеры (блоки управления) размещаются по месту в специальных шкафах и имеют информационные каналы связи, как с управляющим компьютером, так и между собой. Стоит отметить, принимаемые контроллерами данные передаются на управляющий компьютер – на верхний уровень системы.

В разрабатываемой автоматизированной системе управления реализуется автоматическое управление, с возможностью перехода в режим ручного управления в случаях возникновения нештатных ситуаций [2].

В соответствии с требованиями технологического процесса получения кальцитоангидрита разработана функциональная схема автоматизации.



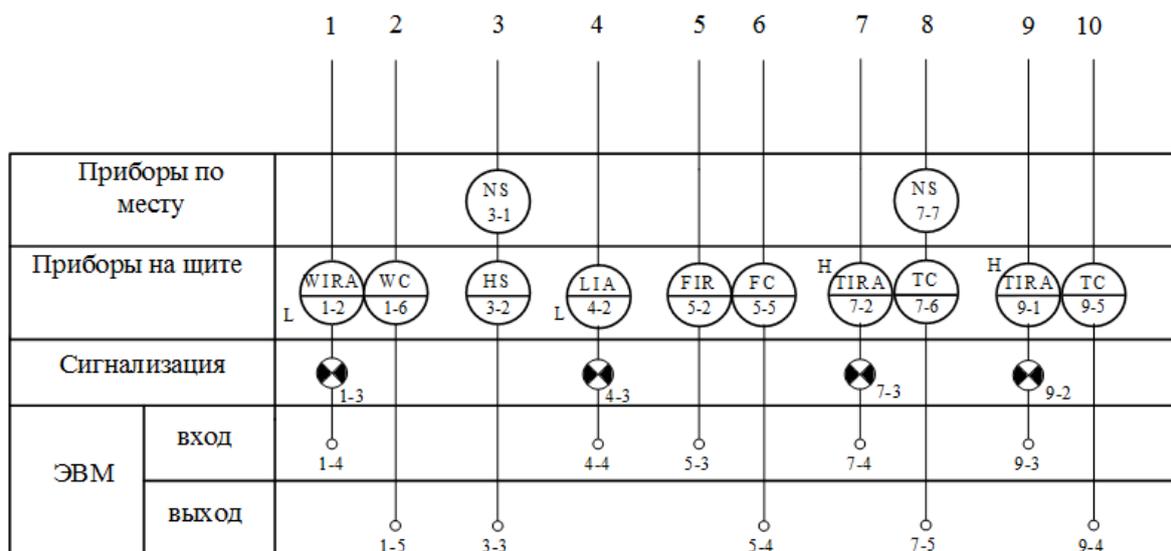


Рис.2 – Функциональная схема автоматизации процесса получения кальцитоангидрита

Емкость II заполнена концентрированной 93 % серной кислотой. Для контроля уровня кислоты и своевременного заполнения в емкость II вмонтирован уровнемер 4-1. Для правильного протекания химической реакции в виброреакторе серная кислота подается с определенной температурой. Контур управления (7-8) реализует разогрев серной кислоты. Для этого в трубопроводе установлен нагреватель 8 и термопара 7-1 для измерения температуры на выходе после нагревателя. Данные с термопары поступают в контроллер. Контур (5-6) предназначен для измерения, индикации, регистрации и регулирования расхода серной кислоты, подаваемой в виброреактор. Для регулирования поступления серной кислоты в виброреактор с определенной температурой в трубопроводе установлен регулирующий клапан, контроль расхода кислоты осуществляется с помощью расходомера 5-1. Термопара 9-1 предназначена для измерения, индикации, регистрации температуры в виброреакторе. Вся информация о протекании технологического процесса поступает на контроллер.

Для улучшения контроля системы автоматизации вся информация отображается на автоматизированном рабочем месте оператора.

Список литературы

1. Федорчук Ю.М. Закон энергосбережения – вовлечение в круговорот энергетических и материальных вторичных ресурсов. – г.Томск [Электронный ресурс]: /URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Conferences/2010/K02/4059.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1985. – 352 с.

05.13.19

Д.В. Дроздов, Е.А. Солдатова

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, Кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, Daniil.droz dov@yahoo.com, Elena_Sold@bk.ru

АУДИТ ИТ-ИНФОСТРУКТУРЫ

В статье рассматриваются вопросы, связанных ИТ-инфраструктурой аудита информационной безопасности на предприятии. В ходе работы был определен, исследован и проанализирован аудит ИТ-инфраструктуры, а также рассмотрены проблемы, связанные с проведением аудита информационной безопасности на предприятии.

Ключевые слова: *Информационная безопасность, аудит, ИТ-структура.*

Наряду с задачами построения гражданского общества в Российской Федерации, как информационного общества, с возрастанием роли информационных ресурсов и технологий в развитии граждан, общества и государства в XXI веке, вопросы информационной безопасности выходят на первый план в системе обеспечения национальной безопасности.

Безопасность информации – состояние защищенности информации, при котором обеспечены одно или несколько её свойств безопасности (например, такие, как конфиденциальность, целостность, доступность и т.д.)

В настоящее время существует несколько понятий аудита, но его можно описать как процесс сбора анализа информации об информационной безопасности (ИБ) для получения количественных и качественных оценок в соответствии с определенными критериями и уровнями безопасности организации. Комплексная проверка позволяет увидеть полную картину состояния ИБ организации, ликвидировать имеющиеся проблемы и слабые места системы защиты и разработать программу построения системы информационной безопасности организации.

Процесс аудита ИБ является разносторонним и должен учитывать множество критериев. Аудит объединяет несколько форм работ, основанных на единых принципах и методологию, но различающихся по содержанию конечной цели и объемом проводимых испытаний.

Виды аудита:

- экспертный аудит – выявление недостатков в системе мер защиты информации, используя эксперимент;
- оценка автоматизированных систем – регламент, соответствие на международные стандарты и сертификаты;
- инструментальный анализ защищенности аудит ИБ – направлен на выявление и устранение уязвимостей программно – аппаратного обеспечения;
- комплексный аудит – включает в себя все выше перечисленное.

Данные виды аудита могут проводиться как совместно, так и отдельно, в зависимости от тех задач, которые необходимо решить организации. Объектом может быть, как сама организация в целом или отдельные ее отделы (сегменты).

Аудиция – фиксация в системном журнале событий, связанных с доступом к защищаемым системным ресурсам. Средства учета и наблюдения обеспечивают возможность обнаружить и зафиксировать любые попытки создать, получить доступ или удалить системные ресурсы. Аудит используется для того, чтобы засекать любые попытки взлома системы.

ИТ-аудит информационных систем – это комплексное изучение, оценка и анализ текущего состояния всех составляющих ИТ-инфраструктуры предприятия. Являясь наиболее эффективным методом выявления проблем и слабых мест, ИТ-аудит востребован компаниями любого масштаба и сферы деятельности, поскольку позволяет минимизировать риски, сохранить и защитить имеющуюся ИТ-инфраструктуру и позволить бизнесу выйти на новый

уровень путем внедрения актуальных информационных систем и систем автоматизации бизнес-процессов.

Рассматривая цели ИТ-инфраструктуры аудита, можно выделить:

- анализ текущего состояния информационных систем предприятия;
- оценка соответствия методикам;
- выявление рисков;
- сокращение расходов на обслуживание ИТ-системы;
- повышение эффективности работы ИТ-системы;
- выработка рекомендаций по усовершенствованию ИТ-системы.

Виды ИТ-аудита:

1. Комплексный аудит ИТ-системы. В данном виде происходит исследование всех сегментов ИТ-системы предприятия в несколько этапов: сбор исходных данных, анализ полученных данных с целью оценки текущего уровня безопасности предприятия, разработка рекомендаций по оптимизации существующей ИТ-системы.

2. Экспресс ИТ-аудит. Исследование состояния ИТ-системы, выявить проблемные зоны и дать рекомендации в кратчайшие (сжатые сроки).

3. Направленный аудит ИТ-системы – анализ отдельных элементов ИТ-инфраструктуры, таких как:

- Имеющееся оборудование;
- Программное обеспечение;
- Информационная безопасность предприятия и другие.

При проведении аудита используется мировой, международный стандарт управления ИТ, такой как ITIL/ITSM (IT Infrastructure Library/ IT Service Management) или CobiT (Control Objectives for Information and Related). ITIL включает в себя описание различных видов деятельности в сфере ИТ, таких как управление проектами, управление закупками, ИТ-сервис, и состоит из ряда практических руководств, предоставляющих информацию об эффективном и рациональном использовании различных ИТ-сервисов и предоставлении их потребителям. Процессы, разработанные и задокументированные в соответствии с ITSM, политикой и требованиям предприятия являются последовательными и повторяемыми. Если в какой-либо процесс вносятся изменения, их описания попадают в банк данных, что обеспечивает актуальность и обновление документации. Основными принципами ITIL является организация деятельности ИТ-службы осуществляется с использованием процессного подхода. Задачей ИТ-службы является предоставление основному бизнесу полного набора информационных угроз.

Переход к модели ITIL/ITSM обеспечивает единый механизм:

- оценки,
- планирования,
- реализации и технической поддержки ИТ-сервисов,
- формализация управленческих процедур обеспечивает их прозрачность.

Стандарт ITIL/ITSM имеет статус свободно распространяемой модели и является сегодня самым популярным подходом к управлению ИТ-сервисами. Точнее всего его можно определить как систему взглядов. Он применим ко всем секторам и организациями любого размера и может быть внедрен как полностью, так и частично, как в каноническом, так и в измененном виде. Стандарт ITIL/ITSM описывает не организационные единицы и их функции, а процессы, причем количественных требований (например, число администраторов на число пользователей) или требований к используемому программному обеспечению он не содержит.

В стандарте основной упор делается на пользователей ИТ-сервисами, на вопросы улучшения коммуникаций с ИТ-департаментом и более эффективного применения в ИТ-бизнесе.

Список литературы

1. *А.М. Голиков*, Основы информационной безопасности, учебное пособие, Томск, 2007 год.
2. *В.И. Аверченков*, Аудит информационной безопасности, 2-е издание, издательство Флинта, 2011 год.
3. *В.В. Кульба, А.Б. Шелков*, Мониторинг и аудит информационной безопасности автоматизированной системы, 2009 год.
4. Аудит информационной безопасности предприятий и систем. Учебное пособие. Московская академия комплексной безопасности, Тульский филиал. Тула, 2008
5. Федеральный закон Российской Федерации «Об аудиторской деятельности» № 307-ФЗ от 30.12.2008 г. // Российская газета. - 2008.

05.13.00

С.Н. Задворский, А.А. Силаев

Волжский политехнический институт филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет»,
автомеханический факультет, кафедра автоматики, электроники и вычислительной техники,
Волжский, stepler-sz@yandex.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ СЕТЕВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ КОТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Работа посвящена исследованию систем управления сетевыми насосами для котельной станции. Выявлены основные недостатки существующих систем управления сетевыми насосами. Предложена система управления, которая позволяет устранить найденные недостатки. Проведен ряд экспериментов, показывающий эффективность предложенной системы управления.

Ключевые слова: автоматизация котельных станций, автоматическое управление группой сетевых насосов, регулирование давления в тепловой сети.

Решение задач связанных с эффективной эксплуатацией котельных станций является одним из приоритетных направлений развития техники в нашей стране. Котельные станции обеспечивают жизненно необходимые условия для проживания и ведения хозяйственной деятельности на территории нашей страны, за счёт подачи теплоносителя в требуемом объеме конечным потребителям. При больших расходах теплоносителя мощности одного насоса не достаточно и в котельных станциях, как правило, устанавливают несколько насосов, работающих параллельно [3]. В систему котельной станции включают группу сетевых насосов, которые поддерживают требуемое давление в тепловой сети и обеспечивают конечного потребителя теплоносителем. Требуемое давление в тепловой сети $P_{\text{треб}}$ задаётся суммой давлений, создаваемых каждым сетевым насосом:

$$P_{\text{сети}} = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

где: $P_{\text{сети}}$ – это создаваемое давление в сети сетевыми насосами;

i – номер текущего сетевого насоса; n – число включённых сетевых насосов; P_i – давление, создаваемое i -ым сетевым насосом.

Система автоматического управления сетевыми насосами должна обеспечивать нулевую разницу между требуемым и создаваемым давлениями: $\Delta P = P_{\text{сети}} - P_{\text{треб}} \rightarrow 0$.

При этом сетевой насос работает на основе асинхронного двигателя, и мощность сетевого насоса расходуется на создание давления в сети, поэтому мощность двигателя можно оценивать по полученному давлению. КПД сетевого насоса стремится к максимальному в номинальном режиме работы двигателя [1]. При уменьшении вырабатываемой мощности сетевым насосом резко уменьшается его КПД. Таким образом, для достижения максимального КПД работы сетевых насосов необходимо обеспечивать номинальную нагрузку на каждом сетевом насосе.

В каждый момент времени возникает проблема выбора количества включённых сетевых насосов на определенной мощности, чтобы обеспечить требуемое давление в сети при максимальном КПД всей системы. Это важная задача, решение которой обеспечит качественное снабжение потребителей теплоносителем и снизит себестоимость его подачи.

Структура типовой системы автоматического управления группой сетевых насосов для котельной станции показана на рисунке 1.

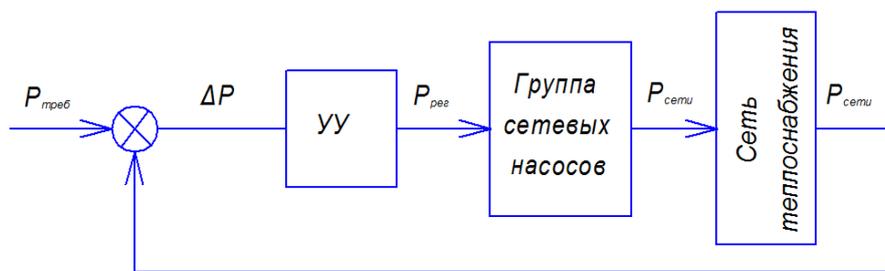


Рис.1. – Структура системы управления сетевыми насосами.

Устройство управления (УУ) обычно представляет преобразователь или группу частотных преобразователей и микроконтроллер. УУ реализует один из способов управления сетевыми насосами.

Первый способ это равномерное распределение нагрузки между группой одинаковых насосов [3]. Т.е. все насосы создают одинаковое давление в диапазоне от минимального до номинального. В работе [2] приведен анализ такого способа управления сетевыми насосами.

Недостатком способа является работа сетевых насосов с низким КПД.

К достоинствам такой системы управления относится: простота конструкции и алгоритма работы системы управления и отсутствие включений/выключений сетевых насосов в режиме работы.

Второй способ – это когда основная часть насосов включена на полную мощность, обеспечивая базовое давление воды в сети. А недостающее давление обеспечивает последний насос, на который подаётся управляющее воздействие, зависящее от этого давления. При этом может варьироваться число включённых насосов в зависимости от требуемого давления в сети [3]. В работе [2] приведен анализ такого способа управления сетевыми насосами.

Данный способ более эффективный, но имеет ряд недостатков: система управления имеет дополнительный частотный преобразователь для регулируемого (последнего) насоса, возможны случаи, когда последний насос работает на небольшую нагрузку с заниженным КПД, возможны случаи, когда часто приходится включать/отключать последний насос.

Таким образом, существующие системы автоматического управления сетевыми насосами не позволяют получить максимальный КПД всей системы. Для устранения выявленных недостатков требуется модернизировать систему управления сетевыми насосами.

Модернизация системы управления заключается в следующем. Используется второй способ управления, со следующими ограничениями.

Если последний насос работает на небольшую нагрузку (не больше 50%), то тогда разгружают предпоследний включённый насос, разделяя равномерно нагрузки между ними, до тех пор, пока хотя бы один из насосов не станет работать с 51% нагрузкой. Как только это будет достигнуто, основная часть насосов будет работать под постоянной нагрузкой, а последний насос компенсировать недостающее давление в тепловой сети. Если на последнем насосе нагрузка составляет более 50%, система управления работает как при втором способе управления.

В реализации такой системы управления необходимо добавить регулятор на предпоследний сетевой насос, чтобы можно было на нём регулировать набираемую мощность насоса. В качестве регулятора можно использовать преобразователь частоты для асинхронного двигателя.

Структурная схема такой системы управления сетевыми насосами приведена на рисунке 2.

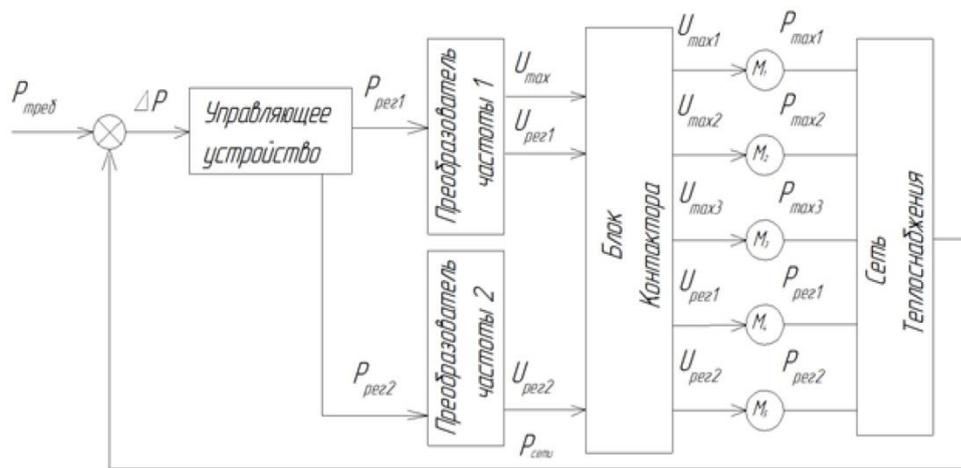


Рис.2. – Структурная схема системы управления сетевыми насосами.

где: M – сетевой насос; U – управляющее воздействие для насоса; P_{max} – максимальное давление насоса; $P_{рег}$ – регулируемое давление.

Диаграмма для системы управления сетевыми насосами.

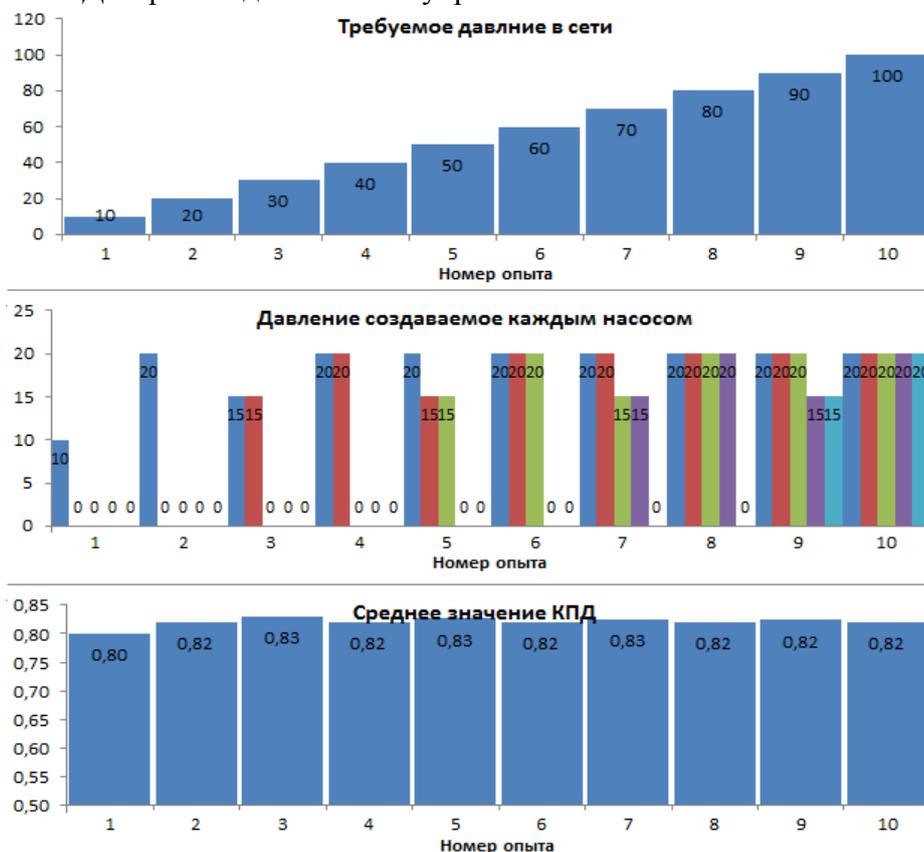


Рис. 3. – Диаграмма для системы управления сетевыми насосами.

Для анализа эффективности системы управления сетевыми насосами промоделируем систему, состоящую из 5 сетевых насосов номинальной мощностью каждый 20 КВт с суммарной мощностью 100 КВт. Примем допущение, что при мощности в 1 КВт сетевой насос вырабатывает 1% от максимального требуемого давления в сети. На рисунке 3 приведена диаграмма, поясняющая и показывающая работу такой системы управления сетевыми насосами и её эффективность.

Из диаграммы, показанной на рисунке 3 видно, что среднее значение КПД почти всё время стремится к максимальному значению независимо от требуемого давления в сети.

Разработанная система управления предназначена для модернизации систем котельных станций, которые использует число насосов не более 10.

Список литературы

1. *Лысенко О.А.*, Режимы энергосбережения установок центробежных насосов с асинхронными двигателями // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325. № 4. С. 133-141.
2. *Силаев, А.А.* Модернизация способа управления сетевыми насосами для котельной станции / А.А. Силаев, С.Н. Задворский // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. - Волгоград, 2015. - № 13 (177). - С. 141-146
3. Частотно-регулируемый привод. Регулирование центробежных насосов и методы регулирования отпуска тепла в тепловых сетях / С. А. Байбаков, Е. А. Субботина, К. В. Филатов, В. М. Нагдасев, А. Ю. Желнов // Новости теплоснабжения. - 2014. - № 1. - С. 32-40 . - ISSN 1609-4638

05.13.18

В.Н. Зайцев, Т.В. Бурнышева

Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета,
факультет информационных технологий,
кафедра информационных систем управления им. Буторина В.К., Новокузнецк

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТА КЛАУДЕРА К ЗАДАЧЕ ПОДАВЛЕНИЯ ВОЛН-ПОМЕХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Проведена оценка практической применимости вейвлета, построенного на основе сейсмического импульса, построена синтетическая сейсмограмма смоделированной геологической среды, получены оценки отношения сигнал/шум для разных семейств вейвлетов.

Ключевые слова: *вейвлет, численное моделирование, разностные схемы.*

Кратномасштабный анализ, реализуемый посредством вейвлет-преобразований, зарекомендовал себя как очень эффективный метод обработки нестационарных сигналов, к числу которых относятся и сейсмоакустические сигналы, получаемые в результате экспериментальных работ по сейсмической разведке. Именно поэтому вейвлетный анализ представляет такой интерес для наук о Земле, и, в частности, сейсмологии, так как открывает очень широкий спектр возможностей для цифровой обработки данных сейсморазведки, которая представляет собой самый основной метод для исследования строения земной коры. Такое положение в современной геофизике сейсморазведка получила благодаря возможности исследовать глубокозалегающие геологические слои с очень высокой степенью детализации

В настоящее время вейвлеты используются для решения задач радиофизики, физики твердого тела, акустики, нелинейной динамики и геофизики. Вейвлет-анализ представляет собой очень гибкое и эффективное средство цифровой обработки сигналов, которая заключается в особенностях вейвлета как аналитической функции - способность давать четкую привязку спектральных характеристик сигнала ко времени, позволяет получить двумерное представление одномерного сигнала, рассматривая время и частоту как независимые переменные [1].

Вейвлет-преобразование представляет собой свертку (1) анализируемой функции $f(t)$ с двухпараметрической вейвлет-функцией $\psi_{s,t_0}(t)$ [1]:

$$W(s, t_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\psi_{s,t_0}^*(t)dt, \quad (1)$$

где s - масштаб вейвлет-преобразования, $t_0 \in \mathbb{R}$ - сдвиг по времени.

Качество обработки сейсмограмм зависит от выбора материнского вейвлета, что является основной проблемой при анализе данных полевых испытаний сейсморазведки. Адекватный выбор вейвлет-функции для анализа осложняется отсутствием формальных критериев для определения вейвлетного базиса в случае различной природы сигналов.

Представляется логичным использование в качестве материнского вейвлета функции – аналитической аппроксимации отраженного сигнала, например, импульса Клаудера - линейной автокорреляционной функции [2]:

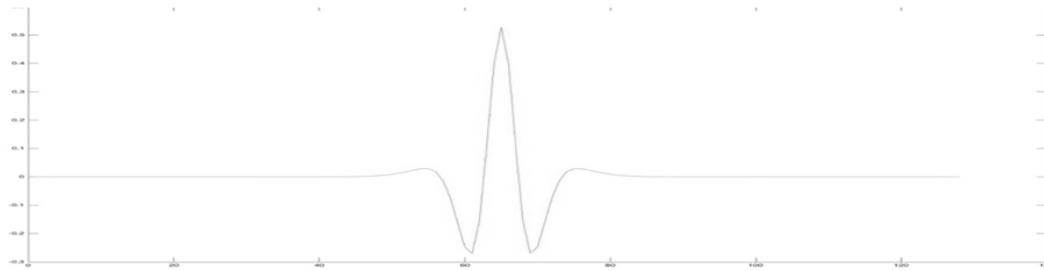
$$K(t) = \text{Re} \left[\frac{\pi kt(T-t)}{(\pi kt)e^{(2\pi i f_0 t)}} \right] \quad (2)$$

где $k = \frac{(f_2-f_1)}{T}$ – скорость изменения частоты с течением времени;

$f_0 = \frac{(f_2+f_1)}{2}$ – средняя частота полосы пропускания.

Используя методику, предложенную в работе [3], на основе импульса Клаудера была получена вейвлет-функция ψ представленная на рисунке 1.

Сейсмоакустические методы исследования земной коры основываются на изучении особенностей распространения упругих волн в геологических породах, что позволяет определить геологический разрез исследуемой местности.

Рисунок 1. Вейвлет-функция ψ

Для оценки эффективности подавления волн-помех в анализируемом сигнале с использованием вейвлета Клаудера проведем численное моделирование геологической среды методом конечных разностей, что позволит получить априорное знание обо всех характеристиках акустического поля, распространяющегося в данной среде. Для моделирования использовались разностные схемы второго порядка с варьированием скорости v и дискретизацией по времени Δt [4]:

$$\nabla^2 \psi(x, z, t) = \frac{1}{\Delta t^2 v^2} [\psi(x, z, t + \Delta t) - 2\psi(x, z, t) + \psi(x, z, t - \Delta t)]. \quad (3)$$

Моделируемая среда состоит из трех горизонтально расположенных слоев глубиной 5, 7.5 и 7.5 метров. Скорости распространения упругих волн по глубине составляют соответственно слоям: 200 м/с, 280 м/с, 320 м/с, что соответствует верхнему почвенному слою, состоящему из гравия, щебня и песка. Источник возбуждения упругой волны располагался на дневной поверхности посередине моделируемого почвенного слоя. Дополнительные возмущения в сейсмический сигнал, имитирующие различные волны-помехи были внесены с использованием вейвлета Ормсбая. На рисунке 2-а представлена исходная сейсмограмма полученная в результате прохождения упругой волны через моделируемую среду. Для сравнения качества шумоподавления к исходному сигналу представленному на рисунке выше был добавлен белый гауссовый шум, с соотношением сигнал/шум равным 9 дБ, который был равномерно распределен по энергии сигнала (рисунок 2-б).

Для решения задачи шумоподавления в полученном синтетическом сейсмоакустическом сигнале применялся пакет прикладных программ MATLAB, в котором был реализован алгоритм фильтрации основанный на дискретном вейвлет-преобразовании с использованием функции мягкой пороговой обработки [5]. Сравнение результатов вейвлет-обработки вейвлета Клаудера проводилось с вейвлетами семейств: Добеши, Симлет, Койфлет. Данные вейвлеты являются широко известными классами дискретных вейвлетов показавших свою практическую применимость в обработке сейсмограмм. На рисунке 3 представлены результаты обработки сейсмограмм зашумленного сигнала.

Далее, из исходной сейсмограммы производилось вычитание полученной в результате обработки материнскими вейвлетами сейсмограммы.

В качестве критерия сравнения выбрано отношение сигнал/шум, которое рассчитывалось по формуле [6]:

$$SNR = \left(\frac{\delta_{signal}}{\delta_{noise}} \right)^2, \quad (4)$$

где δ_{signal} – среднеквадратичное значение амплитуды сигнала, δ_{noise} – среднеквадратичное значение амплитуды шума. Результаты сравнения шумоподавления синтетической сейсмограммы вейвлетами указанных выше семейств представлены в таблице 1.

Из представленной таблицы видно, что наибольшее отношение сигнал/шум наблюдается для вейвлета, построенного на основе сейсмического импульса Клаудера, что говорит об целесообразности применения метода построения вейвлетов специального вида на основе известных сейсмологии аналитических представлений волн. Вейвлет Клаудера показал свою эффективность в сравнении с известными вейвлетами несмотря на то, что полученная сейсмограмма не является созданной на основе метода виброрейсм, с формой волн которого он коррелирует наилучшим образом.

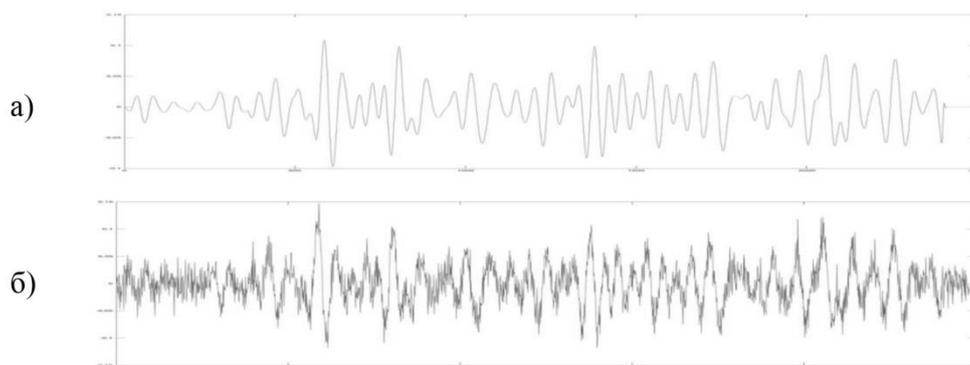


Рисунок 2. Синтетическая сейсмограмма: а – исходная; б – с добавлением белого шума

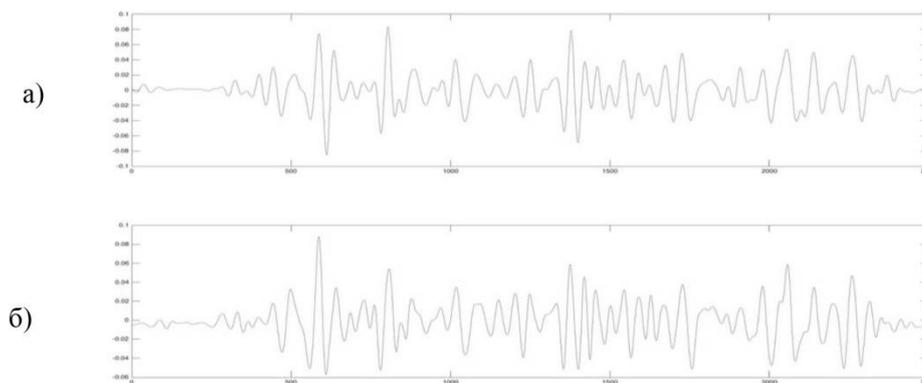


Рисунок 3 – Результат обработки сейсмограммы вейвлетами 10 порядка: а – Клаудера; б – Добеши

Таблица 1 – Отношение сигнал/шум для разных типов вейвлетов

Вейвлет	Клаудера	Добеши	Симлет	Койфлет
SNR (дБ)	8.4185	6.8479	7.1798	8.1522

Однако необходимо дальнейшее исследование данной методики с построением вейвлетов основанных на других сейсмических импульсах, таких как импульс Пузырева, Берлаге, Риккера. Также, необходимо дополнительно исследовать возможность обработки сейсмограмм вейвлетами с использованием методов пакетного вейвлет-преобразования, которое является улучшением обычного вейвлет-преобразования и уже сейчас демонстрирует лучшее качество обработки сигналов. Стоит отметить, что качество шумоподавления с использованием пороговой обработки очень сильно зависит не только от выбора материнского вейвлета, но также от используемой при пороговой обработке функции, поэтому использование более сложных функций, например Видаковича, для расчета пороговых коэффициентов также может обеспечить лучшее качество обработки сейсмоакустического сигнала.

Список литературы

1. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. И: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.
2. Ryan H. Ricker, Ormsby, Klaunder, Butterworth – A Choice of Wavelets // CSEG Recorder, 1994, – р. 8-9.
3. Дунаева, К.А., Сагайдачная О.М. Вопросы обработки сейсмической информации с построением специальных дискретных вейвлетов для решения нетрадиционных задач сейсморазведки // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2007. №5.
4. Бреховских, Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских – 2-е изд., перераб. и доп. – М:Наука, 1973. – 343 с.
5. Donoho D.L. De-noising by soft-thresholding // IEEE Trans. on Inform. Theory, 1995, #3. – р. 613-627.
6. Солонина, А.И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB: учеб. пособие / А.И. Солонина, С.М. Арбузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 816 с.

05.13.18

А.В. Иващенко¹, Н.А. Горбаченко¹, С.Ю. Леднева², Н.Л. Омерова³¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)

г. Самара, anton.ivashenko@gmail.com

²Самарский государственный технический университет, г. Самара³Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова,
г. Москва

КОМПОНЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИМУЛЯЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

В статье описывается концепция разработки систем имитационного моделирования, основанная на реализации компонентно-ориентированного подхода к разработке программного обеспечения.

Ключевые слова: *архитектура, компонент, имитационное моделирование.*

Введение

Современные системы имитационного моделирования представляют собой сложные аппаратно-программные комплексы, интегрирующие разнообразные средства визуального и физического моделирования, базы знаний и системы поддержки принятия решений. Например, при создании тренажеров виртуальной реальности в медицине, производстве и на транспорте, разработчикам приходится интегрировать гетерогенное программное и аппаратное обеспечение. В этой связи в последнее время растет популярность специализированных средств разработки программного обеспечения и программных платформ, позволяющих строить достаточно разнообразные симуляционные решения с учетом особенностей конкретной предметной области. В данной статье обобщается опыт авторов по разработке таких решений в медицине.

Современные тенденции

В настоящее время популярным подходом к разработке расширяемого модульного интерактивного программного обеспечения является компонентно-ориентированный подход [1], суть которого состоит в описании объектов сцены как контейнера для аспектов поведения и данных, необходимых для его симуляции. Эти аспекты в рамках данного подхода обычно называют компонентами, а сами объекты сцены называют сущностями. Такой подход позволяет избежать глубокой иерархии наследования объектов, свойственной традиционному объектно-ориентированному подходу к проектированию игрового программного обеспечения.

Одним из хороших примеров современных движков, основанных на этой концепции, является Unity3D [2]. Благодаря выбранному подходу к проектированию, движок обладает хорошей вариативностью поведения объектов на сцене. По своей сути каждый аспект представления объекта на сцене (графическая модель, источник света, камера) реализуется как компонент этого абстрактного объекта, который в свою очередь выступает в роли контейнера. Это позволяет собирать поведение объекта из готовых блоков, предоставляемых движком.

Мощь Unity3D в качестве средства быстрой разработки симуляционных приложений во многом опирается на встроенные механизмы рефлексии, которые позволяют в автоматическом режиме генерировать элементы пользовательского интерфейса редактора сцен, получать и изменять свойства объектов из скриптовых языков. В Unreal Engine, как и в Unity3D, присутствует мощный механизм рефлексии, реализованный с использованием внешнего по отношению к движку генератора кода [3] (в отличие от Unity3D, который, базируясь на управляемой платформе .NET, может пользоваться ее встроенными механизмами рефлексии). Как и в Unity3D, такой подход позволяет автоматически

генерировать привязки свойств объектов к элементам графического интерфейса редактора сцены и отображать эти свойства объектов в скриптовые языки программирования.

Компонентно-ориентированный подход в медицине применяется в проекте CAMPVis [4], целью которого является разработка гибкой и эффективной платформы для визуализации медицинских данных. Компоненты здесь рассматриваются как контейнеры данных, в то время как алгоритмы оформляются как глобальные объекты, работающие с этими данными. Это позволяет описывать объекты исключительно в виде аспектов их поведения, а логику этих аспектов выносить в централизованный цикл по всем объектам. Такой подход обеспечивает хорошую расширяемость и гибкость алгоритмической части, однако сам по себе движок ориентирован на визуализацию данных, поэтому над базовой концепцией построен каркас, направленный, в основном, на обработку изображений (загрузчики моделей, цепочки фильтров и т.д.). Однако, из-за узкой направленности движок мало пригоден для реализации на базе него платформы для симуляционного моделирования.

Особенности компонентно-ориентированного подхода

В современных симуляционных приложениях [5] бывает необходимо обеспечить строгое разделение областей ответственности между объектами, участвующими в процессе взаимодействия. В рамках исследования существующих продуктов и подходов к проектированию программного обеспечения и построения имитационных моделей, был разработан подход, который должен обеспечить выполнение этих требований.

Будем использовать шаблон проектирования «Сущность-компонент». Объекты описываются как контейнеры, содержащие аспекты своего поведения (которые мы также будем называть компонентами). Подсистемой будем обозначать абстрактный объект, реализующий логику всех аспектов поведения определенного типа. Все компоненты будут являться частями тех или иных подсистем, а подсистемы, в свою очередь, будут ответственны за управление жизненным циклом компонентов, т.е. будут владеть компонентами.

Высоконагруженные участки программного кода должны быть реализованы локально в рамках своей подсистемы, чтобы минимизировать обмен данными между изолированными участками кода при сложных вычислениях. Эта реализация может быть, как внешней по отношению к компонентам (компоненты хранят данные, внешняя логика их изменяет), так и внутренней (компоненты содержат как данные, так и логику, недоступную за пределами подсистемы и изменяющую данные компонента, а подсистема делает вызовы этой логики).

Изоляция аспектов поведения в различных частях имитационной модели требует разработки методики формулировки алгоритмов, пригодной для эффективной имитации процессов взаимодействия инструментов и органов на виртуальной сцене. Алгоритм действий специалиста, создающего сцену для моделирования с использованием компонентно-ориентированного подхода, представлен на рис. 1.

Пример реализации для хирургического тренажера: методика организации взаимодействия органов и инструментов

На основе предложенного подхода можно описать следующую методику симуляционного моделирования хирургических инструментов:

- инструменты параметризуются типами действий, которые они могут совершать;
- параметризация типом действий подразумевает задание триггера и алгоритма выполнения этого действия;
- органы параметризуются правилами реакций на типы действий, выполняемых инструментами;
- правило реакции подразумевает задание техники выполнения граничного условия, а также техники выполнения структурной модификации объекта (в случае, например, алгоритма разреза).

Эти принципы позволяют описать взаимодействие между инструментами и органами естественным образом, что упрощает процесс создания конкретной имитационной модели.

Преимущества использования компонентно-ориентированного подхода включают:

отсутствие необходимости в глубокой и сложной иерархии классов, что упрощает разработку и уменьшает связность модулей между собой; возможность гибкой настройки поведения объектов без перекомпиляции приложения и без доступа к его исходному коду; а также возможность распространения отдельных алгоритмов и данных в виде подключаемых пакетов, в том числе через централизованную базу данных. Недостатки подхода, в основном, выражаются в усложнении процесса разработки.

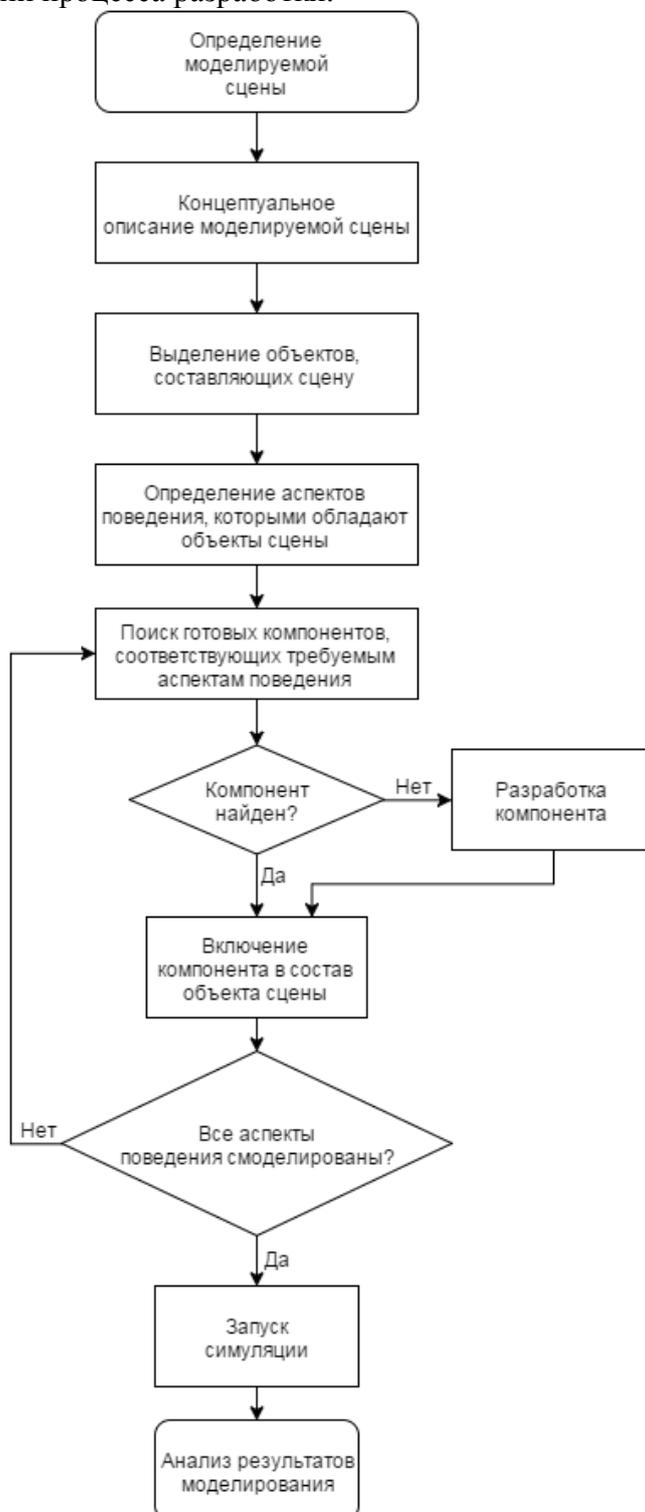


Рис. 1. Методика компонентно-ориентированной разработки

Для проверки работоспособности предложенного подхода был разработан прототип программного комплекса, который реализует описанное представление объектов сцены. Для реализации прототипа были использованы библиотеки OGRE 1.9, PhysX 3.3.3, CeGUI 0.8.4, SDL 2.0, AngelScript 2.30, Assimp 3.1.1, Eigen 3.2.3, Boost 1.55.

Заключение

Использование компонентов позволяет описывать поведение объектов сцены на этапе выполнения программы; как статически (на этапе загрузки операционного случая), так и динамически (в процессе выполнения операции, например, обеспечивая адаптивную сложность) корректировать функциональность поведения этих объектов, тем самым быстро адаптируя модель под нужды конкретной ситуации.

Список литературы

1. *Porter, Nicolas*. Component-based game object system, 2012 [Online]. – <https://raw.githubusercontent.com/surjikal/cbgos-experiment/master/doc/nicolasportercbgos-paper.pdf>
2. *Xie, Jingming*. Research on key technologies base Unity3D game engine // Proc. Computer Science & Education (ICCSE), July 2012. – pp. 695 – 699.
3. Unreal Engine [Online]. – <https://www.unrealengine.com>
4. *Schulte zu Berge, C., Grunau, A., Mahmud H., Navab N.* CAMPVis – A Game Engine-inspired Research Framework for Medical Imaging and Visualization. Technical Report 2014, Chair for Computer Aided Medical Procedures, Technische Universität München, Munich, Germany.
5. *Колсанов А.В., Иващенко А.В., Кузьмин А.В., Черепанов А.С.* Комплекс «Виртуальный хирург» для симуляционного обучения хирургии // Медицинская техника, 2013. – № 6. – с. 7 – 10

05.13.06

Ю.П. Кирин, В.В. Кирьянов

Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета (БФ ПНИПУ)

РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА

В статье рассмотрены принципы построения робастной системы управления температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана, функционирующей в условиях неопределенности. Получена интервальная модель динамики процессов. С использованием модели определены робастные настройки ПИ – регулятора системы. Синтезирована система управления, обеспечивающая гарантированное качество регулирования температурного режима при изменении динамических параметров процессов в пределах известного интервала.

Ключевые слова: восстановление и вакуумная сепарация губчатого титана, условия неопределенности, интервальная модель динамики, настройки ПИ- регулятора, робастное управление.

Основу производства губчатого титана составляют процессы восстановления тетрахлорида титана магнием и последующей вакуумной сепарации, осуществляемые в аппаратах периодического действия. Характерной чертой современного промышленного производства губчатого титана является совершенствование технологий, повышение производительности технологического оборудования, увеличение единичной мощности технологических агрегатов. В условиях развития производства губчатого титана повышаются требования к качеству функционирования систем управления температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации, которые должны быть учтены на этапах их разработки и внедрения. Конструкцией аппаратов предусмотрено разделение рабочего объема каждого аппарата на ряд зон нагрева (аппарат сепарации), зон нагрева и зону экзотермической реакции (аппарат восстановления). Особенность таких систем как объектов управления состоит в поддержании автоматическими регуляторами в каждой зоне нагрева (зоне экзотермической реакции) определенной температуры с требуемой точностью. При этом температура зон нагрева аппаратов восстановления и сепарации регулируется притоком электрической энергии, поступающей от нагревателей, а температура зоны экзотермической реакции регулируется оттоком тепловой энергии посредством создаваемого вентилятором воздушного охлаждения [1].

Вопросы повышения качества управления температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации исследованы недостаточно, что существенно снижает технико-экономические показатели производства. Поэтому совершенствование систем управления температурным режимом процессов является одной из актуальных задач производства губчатого титана [2].

Решение этой проблемы встречает значительные трудности, связанные с тем, что управление температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации осуществляется в условиях неопределенности, под которыми понимают [3,4]:

- структурную и параметрическую неопределенность математических моделей динамики объектов управления (зон нагрева и зон экзотермической реакции аппаратов);
- отсутствие информации о характеристиках действующих на объекты возмущений.

В процессе эксплуатации динамические параметры зон нагрева и зон экзотермической реакции изменяются в некоторых пределах, следовательно, они могут быть отнесены к классу объектов управления с интервально- неопределенными параметрами [5].

Для исследования системы управления такими объектами применяют робастный подход, предусматривающий анализ робастного качества для определения наилучших показателей качества системы при изменении интервальных параметров в заданных диапазонах и

разработку методов синтеза робастных регуляторов, обеспечивающих гарантированное по определенному критерию качество работы системы при любых значениях параметров объекта управления из известных интервалов. Качество работы системы обычно оценивают по величине максимальной ошибке регулирования в наиболее неблагоприятных условиях функционирования системы [6].

В практике автоматизации технологических процессов для робастного управления широко используют типовые линейные регуляторы: пропорционально-интегральный (ПИ) или пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регуляторы. Задача параметрического синтеза регуляторов состоит в нахождении таких настроек регуляторов, которые обеспечивают гарантированные показатели качества переходных процессов в системе управления интервально – неопределенным объектом. При этом актуальна разработка процедур определения настроек ПИ- и ПИД-регуляторов, придающих системе свойство робастной апериодичности. Оно заключается в обеспечении апериодического характера переходных процессов для уменьшения в системе колебательности и перерегулирования при любых значениях интервально-неопределенных параметров объекта управления [7,8].

Реализация робастного подхода требует построения интервальной модели объекта и оценки ее адекватности для решения задачи управления в условиях неопределенности. При описании объекта управления в виде интервальной динамической модели предполагается, что неизвестные значения его динамических параметров лежат внутри некоторого известного интервала [9].

Для построения интервальной модели динамики процессов производства губчатого титана введено понятие обобщенного нестационарного объекта управления (ОНОУ), под которым подразумевают зону нагрева, зону экзотермической реакции аппарата восстановления, зону нагрева аппарата сепарации. Реальный ОНОУ представлен нестационарным объектом с самовыравниванием, описываемым дифференциальным уравнением с переменными коэффициентами [3]:

$$T_0(t) \cdot \frac{d[y(t)]}{dt} + y(t) = K_0(t) \cdot \{x[t - \tau(t)] - z(t)\}, \quad (1)$$

где:

$y(t)$ – выходная величина (температура) ОНОУ; $x(t)$ – входная величина (мощность нагрева или охлаждения) ОНОУ;

$T_0(t)$, $K_0(t)$, $\tau(t)$ - постоянная времени, коэффициент усиления, время запаздывания ОНОУ;

$z(t)$ - воздействующее на ОНОУ неконтролируемое возмущающее воздействие, под которым подразумевают изменение тепловых потерь зоны нагрева, изменение тепла зоны экзотермической реакции аппарата восстановления, изменение потребляемого тепла зоны нагрева аппарата сепарации.

Таким образом, предполагается, что априорно известна структура модели динамики ОНОУ, представленная уравнением (1).

При этом нестационарность обусловлена тем, что коэффициенты $T_0(t)$, $K_0(t)$, $\tau(t)$, $z(t)$ дифференциального уравнения (1) являются некоторыми неизвестными функциями времени. Для определения значений коэффициентов разработана процедура параметрической идентификации ОНОУ [3,4]. В результате решения задачи идентификации получена адекватная реальному ОНОУ модель динамики и определены интервальные значения его динамических параметров:

$$T_0^{\min} \leq T_0(t) \leq T_0^{\max}; \quad (2)$$

$$K_0^{\min} \leq K_0(t) \leq K_0^{\max}; \quad (3)$$

$$\tau^{\min} \leq \tau(t) \leq \tau^{\max}. \quad (4)$$

Рассмотрим метод определения настроек ПИ-регулятора, обеспечивающий апериодический характер и гарантированное качество переходных процессов в системе управления температурой ОНОУ при изменении его динамических параметров в диапазоне

(2)-(4). Определим наиболее неблагоприятные (наихудшие) сочетания значений динамических параметров ОНОУ из указанного диапазона, при которых в системе регулирования имеет место наибольшая ошибка регулирования температуры [10].

В работе [11] показано, что для промышленных нестационарных статических объектов первого порядка такими сочетаниями динамических параметров являются:

- минимальная величина постоянной времени (T_0^{\min});
- максимальная величина коэффициента усиления (K_0^{\max});
- максимальная величина времени запаздывания (τ^{\max}).

Подстановкой в уравнение (1) значений динамических параметров из (2) - (4) получена интервальная модель динамики ОНОУ, позволяющая установить возможные границы изменения ошибки регулирования.

Запишем уравнение (1) в следующем виде:

$$T_0^{\min} \cdot \frac{d[y(t)]}{dt} + y(t) = K_0^{\max} \cdot [x(t - \tau^{\max}) - z(t)]. \quad (5)$$

Данное уравнение описывает динамику в наихудшем (с точки зрения наибольшей ошибки регулирования температуры) режиме функционирования ОНОУ и используется для определения настроек ПИ-регулятора.

Настройки ПИ-регулятора - коэффициент передачи K_p , время изодрома T_u для условия апериодичности переходного процесса в системе регулирования со статическим объектом первого порядка рассчитывают по известным формулам [11]:

$$K_p = 0,6 / K_0 \cdot \theta \quad (6)$$

$$T_u = 0,6 \cdot T_0, \quad (7)$$

где $\theta = \tau / T_0$.

Можно получить робастные настройки ПИ- регулятора $K_p^{роб}$ и $T_u^{роб}$, обеспечивающие в условиях действия возмущения $z(t)$ апериодические переходные процессы и гарантированное качество регулирования температуры при вариациях (2)-(4) динамических параметров ОНОУ. Для этого подставим в (6), (7) вместо T_0 , K_0 , τ значения T_0^{\min} , K_0^{\max} , τ^{\max} из уравнения (5), т.е

$$K_p^{роб} = 0,6 / K_0^{\max} \cdot \theta^{\max} \quad (8)$$

$$T_u^{роб} = 0,6 \cdot T_0^{\min}, \quad (9)$$

где $\theta^{\max} = \tau^{\max} / T_0^{\min}$.

Особенность построения робастной системы управления температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации состоит в том, что при существующем аппаратном оформлении процессов исполнительными механизмами служат релейные элементы (контакты, магнитные пускатели), которые имеют два рабочих положения включено – выключено (рис.1)[10].

Выходная величина $y(t)$ ОНОУ поддерживается на заданном уровне u_3 импульсным регулятором (ИР), состоящим из аналогового регулятора (АР), широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и позиционного исполнительного механизма (ПИМ). В качестве АР используется ПИ- или ПИД- регулятор. В нашем случае используется ПИ-регулятор с робастными настройками (8) и (9), преобразующий в соответствии с ПИ- алгоритмом ошибку регулирования $\varepsilon(t) = u_3 - y(t)$ в выходную величину регулятора $y_p(t)$. ШИМ формирует последовательность импульсов с постоянным периодом повторения и длительностью, меняющейся пропорционально $y_p(t)$. Таким образом, ШИМ, воздействуя на ПИМ, изменяет скважность включения $x(t)$ пропорционально $y_p(t)$, обеспечивая тем самым поддержание заданного значения u_3 регулируемой величины.

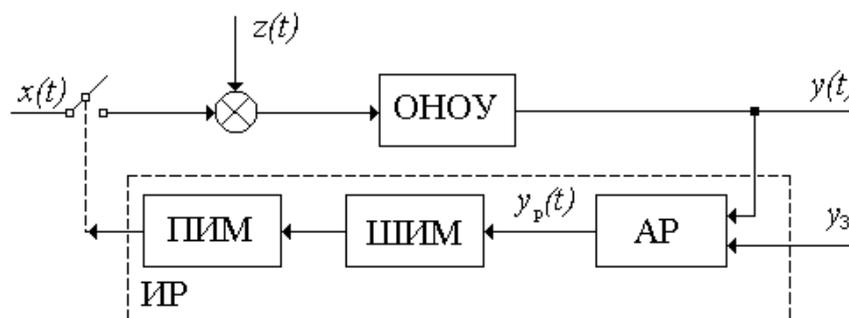


Рис.1. Структурная схема робастной системы управления температурным режимом процесса восстановления (вакуумной сепарации)

Настроечный параметр ШИМ – период повторения импульсов T^{onm} . Величина T^{onm} определена экспериментально с таким расчетом, чтобы при включении и выключении ПИМ в пределах T^{onm} не наблюдалось колебаний температуры ОНОУ. При этом период T^{onm} обеспечивает допустимую частоту срабатываний ПИМ.

Для одного из типов промышленных аппаратов производства губчатого титана получены следующие интервальные значения динамических параметров ОНОУ: $T_0^{min}=760c$, $T_0^{max}=840c$, $K_0^{min}=2,1^{\circ}C/кВт$, $K_0^{max}=2,5^{\circ}C/кВт$, $\tau^{min}=22c$, $\tau^{max}=28c$. Указанные интервальные значения использованы для синтеза робастной системы управления, обеспечивающей в условиях действия возмущения $z(t)$ апериодические переходные процессы и гарантированное качество регулирования температуры с ошибкой, не превышающей $\pm 2^{\circ}C$ для всех значений динамических параметров ОНОУ из диапазона (2)-(4). Повышение качества регулирования температуры позволило повысить производительность процессов восстановления и вакуумной сепарации и снизить энергозатраты.

Список литературы

1. Тарасов А.В. Металлургия титана.- М.: ИКЦ «Академкнига», 2003.- 328 с.
2. Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Бильфельд Н.В. Современные направления совершенствования и развития производства губчатого титана // Титан.- 2003.- № 2(13).- С. 11–16.
3. Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Краев С.Л. Идентификация технологических процессов производства губчатого титана // Проблемы управления.- 2008.- № 4.- С. 71-77.
4. Кирин Ю.П. Позиционное управление технологическими процессами в условиях неопределенности // Известия Южного федерального университета. Технические науки. - 2009. - №2.- С.158 – 160.
5. Гусев Ю.М., Ефанов В.Н., Крымский В.Г. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы) // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика.-1991.- №1.- С. 3-23.
6. Небылов А.В. Гарантирование точности управления.- М.: Наука, 1998. – 304с.
7. Поляк Б.Т., Цыпкин Я.З. Частотные критерии робастной устойчивости и апериодичности линейных систем // Автоматика и телемеханика.- 1990.- №9. – С.45-54.
8. Гайворонский С.А., Суходоев М.С. Определение настроек линейных регуляторов, обеспечивающих апериодические переходные процессы в системах с интервально-определенными параметрами // Известия Томского политехнического университета. – 2010.- Т.316.- №5. – С.12-15.
9. Целигоров Н.А. Причины возникновения интервальных значений в математических моделях исследования робастной устойчивости систем управления [Электронный ресурс] / Н.А. Целигоров, Г.В. Мафура // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (1 часть). – Режим доступа <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1340>.
10. Кирин Ю.П. Импульсное позиционное управление технологическими процессами с нестационарными параметрами // Новый университет.- 2011.- №2.- С.18-22.
11. Автоматический контроль и регулирование в черной металлургии: Справочник / М.Д. Климовицкий, А.П. Конелович. – М.: Металлургия, 1967. – 467с.

05.13.06

В.В. Киселев к.т.н., С.Ф. Минацевич к.т.н., В.Д. Володин, А.А. Шаронов, Р.С. РешетовПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, ktei@pstu.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ПОГРУЖНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ СРЕДСТВАМИ MATLAB/SYMLINK**

В работе представлены результаты моделирования системы передачи данных по каротажному кабелю посредством фазовой модуляции последовательности Баркера. Приводится модель системы погружной телеметрии с возможностью передачи данных от наземного блока в скважину и из скважины наземному блоку. Моделирование осуществлялось средствами пакета MATLAB/Simulink.

Ключевые слова: *погружная телеметрия, последовательность Баркера, Simulink, каротажный кабель, передача данных.*

Повышение надежности добывающего оборудования является одной из приоритетных задач нефтедобывающей промышленности. Повысить надежность погружных насосов помогают системы частотного регулирования и погружной телеметрии [1].

Существует ряд проблем, возникающих при разработке систем погружной телеметрии [2]. Одной из основных проблем является создание полноценной системы двустороннего обмена информацией с надежным каналом передачи данных. В статье предлагаются результаты исследования по созданию такого канала с передачей данных по силовому кабелю с модуляцией сигналов кода Баркера.

В качестве методики передачи данных посредством силового кабеля насоса была выбрана фазовая модуляция 13-элементной последовательности Баркера. По результатам исследования [3] 13-элементная последовательность Баркера может быть распознана при соотношении Сигнал/Шум менее 1/14.

Кодовая последовательность сигнала Баркера [4] состоит из символов ± 1 и характеризуется нормированной автокорреляционной функцией вида:

$$B(\tau) = \begin{cases} 1 & \text{для } \tau = 0, \\ 0 & \text{для } \tau = 2l + 1, \\ \pm 1/N & \text{для } \tau = 2l, \end{cases} \quad (1)$$

где $l = 0, 1, \dots (N-1)/2$.

Знак в последней строчке зависит от величины N .

Из (1) следует, что одна из особенностей сигнала Баркера - равенство амплитуд всех $(N-1)$ боковых максимумов автокорреляционной функции, и все они имеют минимально возможный уровень, не превышающий $1/N$. Кодовые последовательности, обладающие свойствами (1), для $N > 13$ не найдены.

Экспериментальная проверка возможности передачи данных с помощью фазовой модуляции последовательности Баркера весьма трудоемка. Поэтому было решено прибегнуть к математическому моделированию системы с использованием комплекса MATLAB/Simulink.

Разработанная модель (см. рис. 1) содержит следующие компоненты

- Модель источника трехфазного напряжения, состоящая из управляемого источника напряжения, согласующего сигналы компонентов Simulink и генератора трехфазного сигнала [5].

- Модель каротажного кабеля. Данный вид кабеля используется для питания погружных насосов. Так как в составе компонентов SimPowerSystem присутствовала только модель обычного трехфазного кабеля, отличающегося по свойствам от каротажного, была разработана собственная модель [6].

- Модель трехфазного асинхронного электродвигателя, к нулевой точке обмоток которого подключен либо измеритель напряжения, либо измеритель тока.

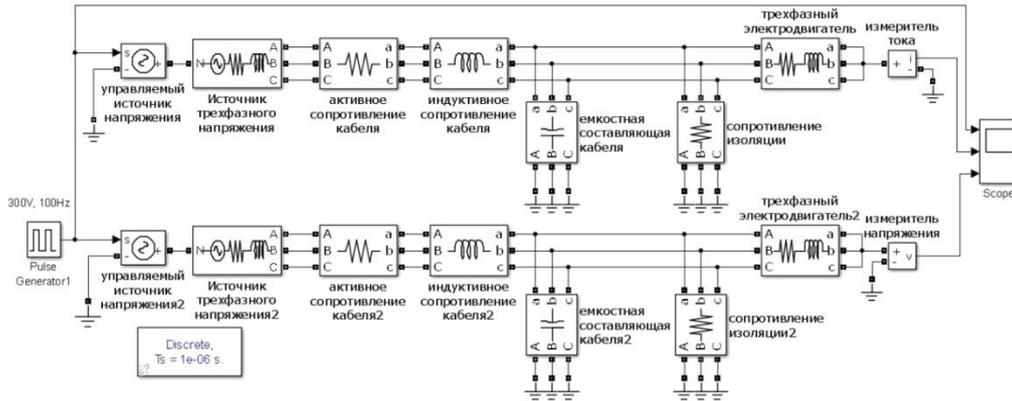


Рис. 1. Модель телеметрической системы.

На рис. 2. изображена модель передачи данных в скважину по системе описанной выше. Здесь случайные цифровые биты информации кодируются 13-ти элементной последовательностью Баркера, затем усиливаются и передаются наружным блоком в систему, затем они принимаются погружным блоком, декодируются и восстанавливаются до нужной формы.

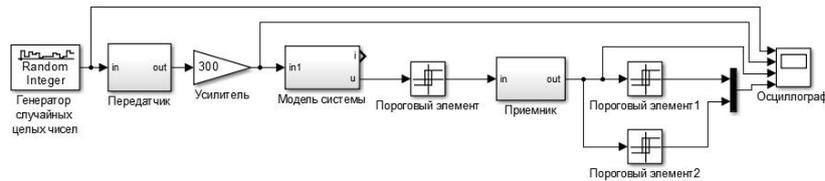


Рис. 2. Схема моделирования передачи данных в погружной блок

На рис. 3. изображена модель передачи данных от погружного блока, находящегося в скважине, наземному. Как и в случае с моделированием передачи данных в скважину, случайные цифровые биты информации кодируются 13-ти элементной последовательностью Баркера, затем усиливаются и передаются способом просадки напряжения погружным блоком в систему. В части модели, отвечающей за наземную часть они принимаются наружным блоком, декодируются и восстанавливаются до нужной формы.

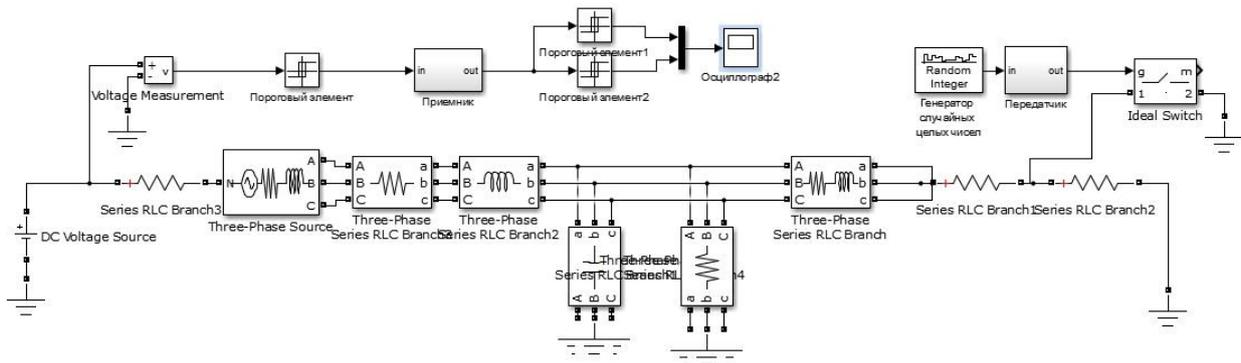


Рис. 3. Схема моделирования приема данных от погружного блока

Результаты моделирования передачи и приема данных изображены на рис. 4.

Как видно из результатов моделирования, автокорреляционная система может распознать передаваемые единичные и нулевые значения двоичного кода. На рис. 4а и рис. 4б принятые и декодированные значения показаны в последней осциллограмме. Положительные импульсы соответствуют логическим единицам, отрицательные – логическим нулям. Такие значения, получаемые в процессе вычислений, микропроцессорное устройство приемника сможет легко декодировать и интерпретировать.

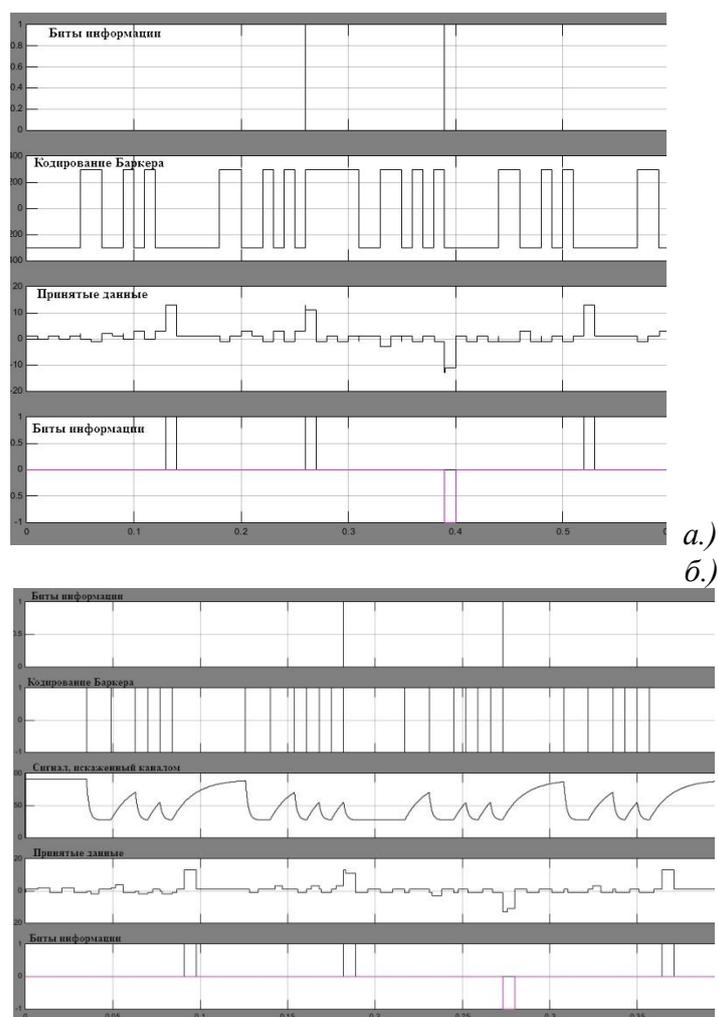


Рис. 4. Результаты моделирования передачи данных:

а – от наземного блока погружному, б – от погружного блока наземному

Поэтому можно сделать вывод, что использование фазовой модуляции последовательности Баркера позволяет осуществлять передачу данных по коротажному кабелю в направлении от наземного блока к погружному, а также от погружного блока наземному. Введение дополнительных средств фильтрации позволяет эффективно восстанавливать и декодировать принятый сигнал. Такая система позволит не только реализовать передачу телеметрических данных, но и осуществлять передачу команд телеуправления исполнительным механизмам погружного блока.

Список литературы

1. *Файзрахманов Р. А., Долгова Е. В., Рахманов А. А.* Задача адаптивного управления насосным оборудованием на основе интеллектуальных технологий // *Электротехника*. 2013. № 11. С. 17–19.
2. *Адиев А. Р.* «Интеллектуальные» скважины. Мониторинг разработки многопластовых объектов в скважинах с УЭЦН // *Инженерная практика*. 2010. № 1. С. 66–71.
3. *Волынская А. В., Калинин П. М.* Новые помехоустойчивые сигналы для интеллектуального канала телемеханики // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 11–4. URL: rae.ru/fs/pdf/2012/11-4/30684.pdf.
4. Коды Баркера (PLS-1) [Электронный ресурс]. URL: http://signalslab.marstu.net/?page_id=1773&lang=ru (дата обращения: 12.04.2015).
5. *Черных И. В.* Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; 2008 г., 288с.
6. *Володин В.Д., Кариев И.Р., Решетов Р.С., Шаронов А.А., Полевщиков И.С.* Использование компьютерных технологий при моделировании передачи данных через трехфазный коротажный кабель // *Science Time*, 2015. №4 (16). С. 133-138.

05.13.01

¹И.З. Краснов, ²Н.С. Цыганков

¹Сибирский федеральный университет, институт космических и информационных технологий, кафедра прикладной математики и компьютерной безопасности, Красноярск, bk_24@bk.ru

²Сибирский федеральный университет, институт инженерной физики и радиоэлектроники, кафедра экспериментальной физики и инновационных технологий, Красноярск, cyganikita@yandex.ru

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ТРЕБУЕМОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В данной работе авторами предлагается методика расчета уровня компетентности человека относительно требуемого вида деятельности. Представленная методика позволяет руководителю принять решение по распределению ресурсов между членами команды в соответствии с психологической предрасположенностью каждого к деятельности. В результате практического применения методики была выявлена основная область применения, которой являются организации, деятельность которых основана на информационных технологиях с целью выработки управленческого решения по формированию эффективных команд инновационной деятельности.

Ключевые слова: компетентность, системный анализ, творческий потенциал, системный подход, эффективное управленческое решение, создание команды.

Введение

На сегодняшний день разработка теоретических основ и экспериментальных подходов в психологии и развитии информационных технологий дала возможность решить проблему оценки психологических качеств в деятельности человека с учетом уровня его подготовки.

Профессиональная предрасположенность человека к конкретному виду деятельности связана с его генетической предрасположенностью к определенному виду деятельности определяющаяся задатками и способностями [1]. Творческая сила человека состоит в разнотипности его психологических особенностей, определяющих силу его интеллекта, таланта, способностей и культуры мышления [2]. Каждый человек уникален в конкретно своем виде деятельности, поэтому для получения эффективной команды необходим инструмент, позволяющий руководителю, не обладающему знаниями в психологии и информационных технологиях, принять эффективное управленческое решение по созданию команды. Данный подход позволяет увеличить творческий потенциал человека при условии снижения уровня несвойственной деятельности. Это способствует эффективному сбору, обработке информации и, как следствие, творческой деятельности, включая и элементы самоорганизации [3].

Системный подход в решении задач подготовки управленческих решений

В основном задача управления системой сегодня, скорее искусство, чем наука. Обусловлено это тем, что присутствие человека в исследуемом процессе требует учета факторов, а именно: морального, психологического, а также свойств личности, обусловленных психологическими особенностями свойственных человеку для определенного вида деятельности. Наиболее важными из которых являются искажение информации о своих возможностях, достижении поставленных целей, способах и средствах решения задач [4]. Это заостряет взгляд на проблеме, которая усугубляется отсутствием системы идентификации пользователей информационной системы по психологической предрасположенности каждого к требуемому виду деятельности.

Характерной особенностью решаемой проблемы является неполнота априорных данных, неопределенность, взаимосвязанность, трудность в формировании согласованных целей и способов их достижения, что приводит к необходимости формировать задачи

управленческого характера с целью объединения в единую систему человеческий потенциал и информационные ресурсы системы [5]. Также это приводит к необходимости обеспечения комплексной поддержкой управленческих решений руководителей, не обладающих достаточным уровнем психологических и узкоспециализированных знаний в области информатизации процессов принятия решений и управления системами, что обуславливается сложностью подготовительных мероприятий по подбору и расстановке людей в команде.

Ценность системного подхода состоит в том, что рассмотрение категорий системного анализа создает основу для логического и последовательного подхода к проблеме принятия решений. Эффективность решения проблем с помощью системного анализа определяется структурой решаемых проблем. Для решения слабо структурированных проблем используется методология системного анализа, системы поддержки принятия решений (СППР), где процедура принятия решения включает в себя на первом этапе формулировку проблемной ситуации и поиск оптимального варианта решения. В нашем случае это принятие управленческого решения на основе расчетного уровня компетентности человека относительно требуемого вида деятельности.

Метод анализа иерархий. Расчет компетентностей сотрудников

Метод Анализа Иерархий (МАИ) – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений [6]. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение (ЛПР), какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти вариант, который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к её решению. МАИ позволяет понятным и рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. Следующим этапом анализа является определение приоритетов с помощью процедуры парных сравнений с учетом психологической предрасположенности человека к конкретному виду деятельности и образовательных характеристик.

Введем необходимые понятия. Цветовые индикаторы (ЦИ) психологической предрасположенности человека к конкретному виду деятельности (P_i). Образовательные характеристики пользователя (Q_i) - профильное образование и опыт работы или отсутствие такового в векторе деятельности (D_i).

Анализ результатов программы психодиагностики позволяет принять решение о предрасположенности человека к требуемому виду деятельности и присвоить цветовой индикатор (ЦИ) психологической предрасположенности к деятельности [1]. На сегодняшний момент основным недостатком любой организации является то, что руководителями не учитываются психологические предрасположенности человека к конкретному виду деятельности с учетом образовательных характеристик. Каждой категории пользователей возможно присвоить соответствующий тип психологической предрасположенности к конкретной деятельности [1]:

- психологический тип P_1 – иррациональные экстраверты;
- психологический тип P_2 – рациональные экстраверты;
- психологический тип P_3 – рациональные интроверты;
- психологический тип P_4 – иррациональные интроверты.

Классификация по психологическим типам позволяет перегруппировать пользователей, распределяя их по соответствующим кластерам при условии однотипных психологических характеристик. В данной работе мы соотносим психологический тип (P_i) с видом требуемой деятельности с учетом образовательных характеристик пользователя.

Приведем классификацию рассматриваемых видов деятельности.

- D_1 – коммуникативная деятельность;
- D_2 – деятельность, связанная с управлением;
- D_3 – деятельность, связанная с четким выполнением задач в соответствии с регламентом, поддержание устойчивого состояния системы в рамках установленных правил и регламентов;

- D_4 – творческая деятельность инновационного типа, поиск решений нестандартных задач.

Компетентность (КМ) считается высокой, если психологические предрасположенности и характеристики соответствуют деятельности, требуемой от человека. Соответственно выполняется условие, если $P_1=Q_1=D_1$, то $КМ=1$.

Для заданного вида деятельности $D_1 = P_1 > P_4 > P_2 > P_3$; соответственно для $D_2 = P_2 > P_3 > P_1 > P_4$; для $D_3 = P_3 > P_2 > P_4 > P_1$; для $D_4 = P_4 > P_1 > P_3 > P_2$. Для D_k ($k=1,2,3,4$) введем количественную характеристику P^k_{ij} , обозначающую отношение психологического типа P_i к типу P_j относительно этого вида деятельности.

Таблица 1- Соответствие P^k_{ij} и P_i

D_k	P_1	P_2	P_3	P_4
P_1	P^k_{11}	P^k_{12}	P^k_{13}	P^k_{14}
P_2	P^k_{21}	P^k_{22}	P^k_{23}	P^k_{24}
P_3	P^k_{31}	P^k_{32}	P^k_{33}	P^k_{34}
P_4	P^k_{41}	P^k_{42}	P^k_{43}	P^k_{44}

Логика присвоения значений величинам P^k_{ij} , которые могут принимать значения вида n или $1/n$, где $n=1, 3, 5, 7, 9, 11, 13$. Где для вида деятельности D_k психологические типы имеют следующие приоритеты: P_a – наиболее приоритетный тип, далее идут типы P_b, P_c, P_d . Тогда $P^k_{ab}=3, P^k_{bc}=5, P^k_{cd}=7, P^k_{ac}=9, P^k_{bd}=11, P^k_{ad}=13$. Далее, $P^k_{ji}=1/P^k_{ij}$, откуда, в частности, $P^k_{ii}=1$.

Здесь значение 1 означает отсутствие приоритета (одинаковая значимость), 3 – слабое преимущество, 13 – абсолютное преимущество, а 5, 7, 9, 11 соответствуют промежуточным значениям на шкале приоритетов.

Отметим, что теперь порядок приоритетов не меняется относительно вида деятельности, например, Q_1 (наличие образования и опыта) всегда будет иметь первый приоритет по отношению к любому из видов деятельности и т.д.

Логика присвоения значений величинам Q_{ij} , которые принимают значения вида n или $1/n$, где $n=1, 2, 4, 5, 8, 10, 12$. Значения имеют вид: $Q_{12}=2, Q_{23}=4, Q_{34}=6, Q_{13}=8, Q_{24}=10, Q_{34}=12$. Далее, $Q_{ji}=1/Q_{ij}$, откуда, в частности, $Q_{ii}=1$.

Следует отметить, что приоритеты образовательных характеристик имеют значения (1, 2, 4, 5, 8, 10, 12) меньше, чем соответствующие приоритеты психологических типов (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13). Данное обстоятельство отражает тот факт, что в предложенной модели расчетов психологический тип имеет большее значение для расчета уровня компетентности по сравнению с образовательной характеристикой. Данная модель может использоваться и в ситуации, когда образовательным характеристикам будет дано большее предпочтение перед психологическими типами. В этом случае нужно поменять значения приоритетов (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 – для образовательных характеристик и 1, 2, 4, 5, 8, 10, 12 – для психологических типов). Экспертным мнением установим приоритеты Q_i между собой. Q_i соотносятся между собой, как $Q_1 > Q_2 > Q_3 > Q_4$.

Выполнив расчеты, получаем ожидаемое распределение, где максимальный уровень компетентности у человека, который по своим психологическим и образовательным характеристикам максимально соответствует этому требуемому виду деятельности - P_1Q_1 , а минимальное соответствие у пользователя с низким уровнем компетентности для этого вида деятельности – P_3Q_4 .

Аналогичным образом производятся расчеты для остальных видов деятельности (D_2, D_3, D_4). Предложенный математический аппарат расчета уровней компетентности пользователей позволяет вводить в переменные психологической предрасположенности D_i и видов деятельности P_i , дополнительные значения i - которая может принимать значение как от 1 до 8, так и от 1 до 16 в зависимости от требований, предъявляемых к деятельности пользователей в информационной системе. В типологии существует 16 психологических типов личности, для простоты понимания мы оперируем в данной работе только 4 основными.

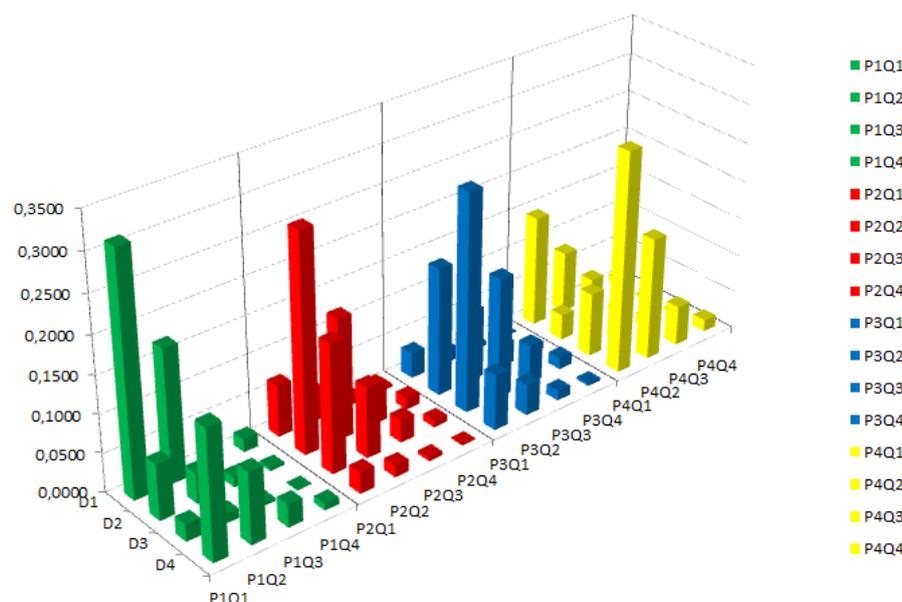


Рис. 1 – Результирующее распределение уровней компетентности относительно требуемого вида деятельности

Заключение

Предложенный метод расчета уровня компетентности позволяет решать целый ряд задач развития и управления в организации. Существенным является не только динамика и рост масштабов качества самовыражения, но и использование изначального потенциала человека для достижения поставленных целей [7]. Специфика деятельности к созиданию состоит в том, чтобы каждый человек соответствовал стратегии развития организации в векторе творческих способностей [8].

Данная методика применялась для расчета уровня компетентности с целью выявления склонности к творчеству в инженерном деле среди студентов выпускных курсов Института Космических и Информационных Технологий (ИКИТ) СФУ. Также данный метод успешно реализован в рамках мероприятий бизнес-акселератора начального уровня (АНО «МИКС») на базе Красноярского регионального инновационно-технологического бизнес-инкубатора (КГАУ «КРИТБИ»), при организации площадки для научно-инженерного сообщества в Кластере инновационных технологий ЗАТО г. Железногорск.

Список литературы

1. *Краснов И.З.* Дифференцированный подход к подготовке специалистов информационной безопасности // Решетневские чтения. 2013. Т.2. №17. С. 301 – 304.
2. *Эдгар Ш.* Организационная культура и лидерство. СПб.: Питер, 2008. 336 с.
3. *Новиков Д.А.* Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. М.: ЛЕНАНД, 2016. 160 с.
4. *Волобуев С.В.* Философия устойчивости социотехнических систем: информационные аспекты. М.: Вузовская книга, 2004. 360 с.
5. *Медведев А.В.* Основы адаптивных систем. Сиб. Гос. Аэрокосмическая академия. Ун-т. Красноярск, 2015. 526 с.
6. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь. 1993. 278с.
7. *Лебедев С.А.* Философия математики и технических наук. М.: Академический проект, 2006. 784 с.
8. *Виханский О.С., Наумов А.И.* Менеджмент: человек, стратегия, организация, процесс. М.: МГУ, 1995. 416 с.

05.13.18

М.Д. Линденбаум, О.В. Игнатъева, Т.М. Линденбаум

Ростовский государственный университет путей сообщения,
факультет информационные технологии управления, кафедра вычислительная техника и
автоматизированные системы управления, Ростов-на-Дону, tm-lind@yandex.ru

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ЗАКОНЕ ГАУССА ПО КРИТЕРИЮ КОЛМОГОРОВА ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРАХ

Разработан алгоритм статистического моделирования распределения Колмогорова при неизвестных значениях параметров закона Гаусса. По большому объему реализаций программы моделирования показано, что проверка гипотезы о законе распределения без учета числа неизвестных параметров приводит к недопустимому увеличению значимости критерия и уменьшению его мощности. Рассчитано с достаточной точностью распределение критерия Колмогорова при двух неизвестных параметрах, позволяющее его широкое практическое использование.

Ключевые слова: *статистическая гипотеза, распределение Колмогорова, алгоритм, статистическое моделирование, уровень значимости, мощность критерия.*

При обработке статистических данных о непрерывных случайных величинах, как правило, возникает необходимость решения задачи сглаживания, т.е. выбора вида закона распределения. Проверка гипотезы о том, что закон распределения выбран правильно осуществляется с помощью статистических критериев; на практике наиболее широко используются критерии Пирсона и Колмогорова. Для решения практических задач правильный выбор закона распределения, описывающего имеющиеся статистические данные, чрезвычайно важен. Проверка правильности гипотезы о законе распределения обычно выполняется с помощью критериев Пирсона и Колмогорова. В работе выполнен сравнительный анализ этих критериев, показаны достоинства критерия Колмогорова, разработан подход к его практическому использованию при неизвестных параметрах закона распределения.

Если в процессе сбора статистических данных выборка получается сгруппированной, то к ней применим только критерий Пирсона. Для не сгруппированных данных можно использовать оба критерия. Критерий Колмогорова является равномерно наиболее мощным относительно любой альтернативной гипотезы, так как не требует предварительной обработки данных, а, как показал К. Шеннон, любая обработка информации приводит к частичной ее потере. Критерий Пирсона требует предварительную группировку данных, а это приводит к уменьшению мощности критерия, т.е. к увеличению вероятности ошибочно выбрать неверный закон распределения. В [1] показано, что в этом случае, например, при оценке показателя надежности погрешность может достигать 300% и более причем в сторону завышения, что весьма нежелательно. Кроме того, в литературе описано несколько методов группировки различных по расчету числа интервалов, предлагается также выбирать интервалы из условия минимизации инверсий. В результате неопределенным получается не только мощность критерия, но и уровень значимости.

Критерий Колмогорова лишен этих недостатков, и можно было бы считать его наилучшим, если бы ни условие, которое в значительной мере перечеркивает все достоинства. Критерий строго применим, если известен не только гипотетический закон распределения, но и значения всех его параметров. На практике параметры закона распределения никогда не бывают известными. «Если все же применять этот критерий в тех случаях, когда параметры теоретического распределения выбираются по статистическим данным, критерий дает заведомо завышенные значения вероятности $P(\lambda)$, поэтому мы рискуем принять как правдоподобную гипотезу, в действительности плохо согласующуюся с опытными данными» [2]. Часто ничем необоснованно предлагают компенсировать отсутствие информации о параметрах закона распределения, условным завышением уровня

значимости в 1,5 ... 2 раза. Критерий очень простой в применении, поэтому многие исследователи все же его применяют.

Существует ситуация, при которой априори известен не только закон распределения, но и его параметры, если выборка получена путем статистического моделирования, т.е. моделирования методом Монте-Карло. Это позволяет производить проверку статистической гипотезы, как по известным параметрам, так и считая их неизвестными, а затем сравнивать полученные результаты, на основе которых вывести распределение Колмогорова при неизвестных параметрах.

Для моделирования был выбран закон Гаусса, так как он в силу центральной предельной теоремы наиболее часто встречается на практике. Нормализованный нормальный закон распределения (с параметрами $m_x=0$, $\sigma_x=1$) наиболее просто моделируется по формуле

$$x = \sum_{i=1}^{12} r_i - 6, \quad (1)$$

где r – равномерно распределенная величина, $0 \leq r \leq 1$, получаемая с датчика случайных чисел (ДСЧ).

Объем выборки n принят в пределах $100 \leq n \leq 2500$, как наиболее часто имеющийся на практике, значения n целесообразно брать из множества (100, 400, 900, 1600, 2500), т.к. в этом случае \sqrt{n} имеет значения (10, 20, 30, 40, 50).

В критерии Колмогорова мерой расхождения между теоретическим $F(x_i)$ и статистическим $F^*(x_i)$ распределением является максимальное абсолютное расхождение D_{\max} между ними

$$D_{\max} = \max_i |F^*(x_i) - F(x_i)|. \quad (2)$$

Допустимая величина D_{\max} на заданном уровне значимости α определяется распределением Колмогорова

$$\alpha = P(\lambda) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} (-1)^k e^{-2k^2 \lambda^2}, \quad (3)$$

$$D_\lambda = \lambda / \sqrt{n}. \quad (4)$$

При $D_{\max} > D_\lambda$ гипотеза о законе распределения должна быть отвергнута на уровне значимости α , в противном случае оснований отвергнуть гипотезу нет. Формула (3) сложна для программирования и расчета, ее можно упростить, причем при суммировании знакопеременного ряда достаточно ограничиться первыми 5 ... 15 членами

$$\alpha = P(\lambda) = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} e^{-2k^2 \lambda^2}. \quad (5)$$

В результате однократного моделирования случайной величины x_i , $1 \leq i \leq n$ методом Монте-Карло строятся статистическая $F^*(x_i)$ функция распределения и теоретическая $F(x_i)$ функция со статистическими оценками параметров m_x^* , σ_x^* и определяется одно значение $D_{\max j}$. Повторив процедуру достаточно много раз $1 \leq j \leq N$, строится статистическая функция распределения $F^*(D_{\max j})$, представляющая собой статистическую оценку критерия Колмогорова, для получения оценки с большой точностью принимается $N=1000$.

Предположили, что показатель (2) справедлив и в случае, когда параметры закона распределения неизвестны. Тогда, приняв $D_\lambda = D_{\max}$, рассчитываются значения $\lambda_j = D_{\max j} \sqrt{n}$, $1 \leq j \leq N$, строится статистическое распределение Колмогорова $P^*(\lambda_j)$ и сравнивается с (2).

Алгоритм моделирования следующий.

1 Цикла по $k=1, 5$: $n_k=100, 400, 900, 1600, 2500$

2 Цикла по $j=1, 1000$

3 Цикла по $i=1, n_k$: Моделирование x_i по формуле (1). Конец цикла по i

4 Упорядочение по возрастанию $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots$

5 Статистическая оценка числовых характеристик m_x^* , σ_x^*

6 Расчет функции распределения закона Гаусса $F(x_i)$

7 Расчет статистической функции распределения $F^*(x_i)$

8 Расчет критерия Колмогорова $D_{\max j}$ и λ_j по формулам (2, 4)

9 Конец цикла по j

10 Упорядочение по возрастанию $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3 \leq \dots$

11 Расчет статистических функций Колмогорова $F_k^*(\lambda_j)$

12 Конец цикла по k .

Был выполнен большой объем моделирования, более 50 млн. реализаций. На рисунке представлены распределение Колмогорова при известных значениях параметров, рассчитанное по формуле (5), и статистические распределения при граничных значениях $n=100$, $n=2500$, а также среднее значение при $n=1100$. Оказалось, что предпосылка о применимости формулы (2) при неизвестных параметрах закона распределения соблюдается не точно, а с некоторым систематическим разбросом. Наличие разброса возможно обусловлено корреляционной связью между параметрами закона распределения и критерием Колмогорова. Вместе с тем, этот разброс не превышает $\pm 3\%$, что вполне допустимо при практическом использовании критерия.

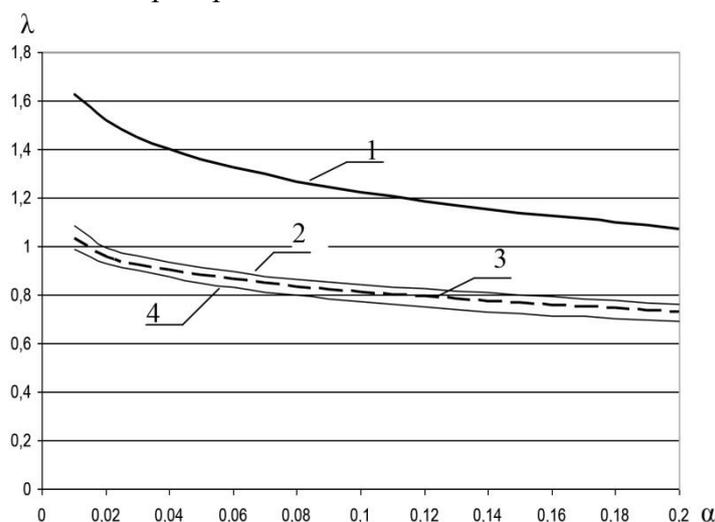


Рис. – Распределение Колмогорова:

1 – теоретическое, 2 – при $n=2500$, 3 – среднее при $n=1100$, 4 – при $n=100$.

Как видно из рисунка, никакое увеличение уровня значимости не компенсирует отсутствие информации о параметрах закона распределения, т.е. в этом случае непосредственное применение критерия Колмогорова недопустимо. Общепринято уровень значимости α задавать 0.02, 0.05 или 0.1, в таблице приведены теоретические и полученные моделированием средние значения λ и их возможный диапазон,.

Таблица – Распределение Колмогорова

$\alpha=P(\lambda)$		0.10	0.05	0.02
Параметры известны		1.222	1.358	1.517
Параметры неизвестны	Средние значения	0.810	0.882	0.958
	Пределы	0.775-0.845	0.85-0.915	0.927-0.997

Разработанный алгоритм позволяет получить аналогичные результаты и для других двухпараметрических законов распределения, для закона распределения Вейбулла результаты оказались близко совпадающими [3]. Предложенный подход и полученные результаты могут иметь широкое практическое использование для проверки гипотезы о законе распределения по критерию Колмогорова.

Список литературы

1 Линденбаум М.Д., Ульяницкий Е.М. Надежность информационных систем: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. стр. 215 – 217.
 2 Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов–7-е изд.стер.–М.:Высшая шк.с.158.
 3 Линденбаум М.Д., Букерева Л.А., Колесниченко В.В. О проверке закона распределения по статистическим критериям. Труды международной научно-практической конференции «Транспорт – 2015», ФГБОУ СПО РГУПС, Ростов-на-Дону, 2015 г. стр.185 – 187.

05.13.01

Е.А. Малыш, Г.М. Водинчар

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,
физико-математический факультет, кафедра математики и физики,
Петропавловск-Камчатский, goswell-47@mail.ru

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ВИСТЛЕРОВ В СПЕКТРОГРАММАХ

Разработаны алгоритмы фильтрации атмосфериков и узкополосных шумов в ОНЧ-спектрограммах. Предложен алгоритм детектирования вистлера в спектрограмме, основанный на нелинейном преобразовании координат «время-частота» с целью выпрямления образа вистлера и последующем распознавании этой прямой. Тестирование алгоритма показало его пригодность для работы в системе реального времени.

Ключевые слова: *вистлеры, распознавание образов, фильтрация импульсных помех.*

Вистлеры (свистящие атмосферерики) формируются в результате частотной дисперсии импульса грозового разряда при распространении этого импульса в магнитосферной плазме. В естественном электромагнитном излучении ОНЧ-диапазона они проявляются в виде сигналов имеющих характерную саблеобразную форму на спектрограмме [1]. Форма дисперсионного искажения импульса определяется параметрами плазмы, поэтому вистлеры являются естественными маркерами состояния плазмосферы Земли [2].

Их детектирование в глобальном масштабе осуществляется сетью мониторинга AWDANet, одна из станций которой установлена в обсерваторском пункте ИКИР ДВО РАН «Карымшина». Также мониторинг вистлеров в ИКИР ведется с помощью радиоконкомплекса собственной разработки, в котором реализована система автоматического распознавания вистлеров [3, 4]. Однако данная система не позволяет вести детектирование вистлеров в реальном времени, и существует необходимость в разработке новой системы распознавания.

Исходными данными для решаемой задачи распознавания вистлеров в системе мониторинга ИКИР являются 15-минутные wav-файлы ОНЧ-радиосигнала. В настоящей работе описывается алгоритм распознавания вистлеров в спектрограммах 4-секундных фрагментов этих файлов, представленных в виде двумерных массивов A_{ij} , $i = 0, \dots, N - 1$, $j = 0, \dots, M - 1$ (рис. 1), где $N = 513$ и $M = 172$.

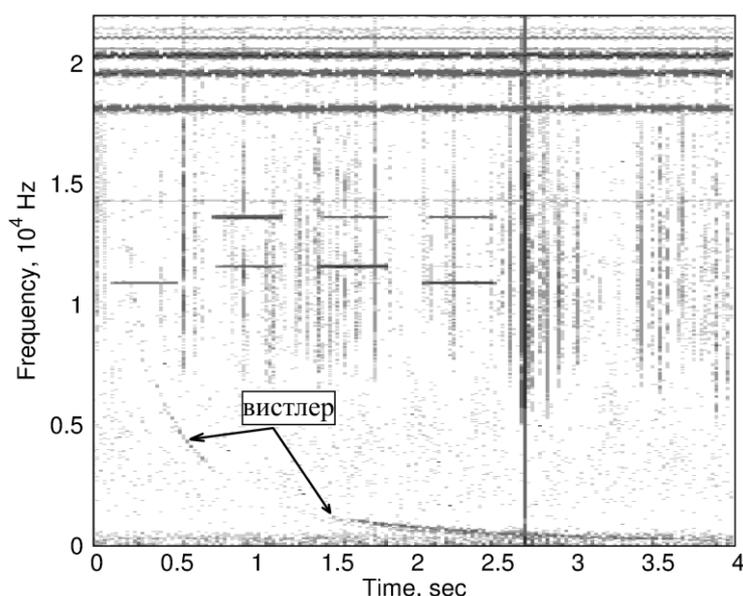


Рис. 1 – Фрагмент типичной спектрограммы, содержащей вистлер

По вертикали индекс i нумерует отсчеты частоты f_i , а по горизонтали индекс j - отсчеты времени t_j . Хорошо видно, что в сигнале, кроме вистлера, присутствуют атмосферика и узкополосные составляющие, являющиеся протяженными помехами (вертикальными и горизонтальными) для задачи распознавания. Видно, что интенсивность этих помех превосходит интенсивность самого вистлера. Это приводит к необходимости прежде всего подавить подобные помехи.

Эффективным способом подавления импульсных помех в изображениях является медианная фильтрация. В [5] был предложен модифицированный алгоритм медианной фильтрации, позволяющий подавлять протяженные вертикальные помехи в спутниковых снимках. Этот алгоритм был адаптирован нами для подавления вертикальных и горизонтальных помех в спектрограммах.

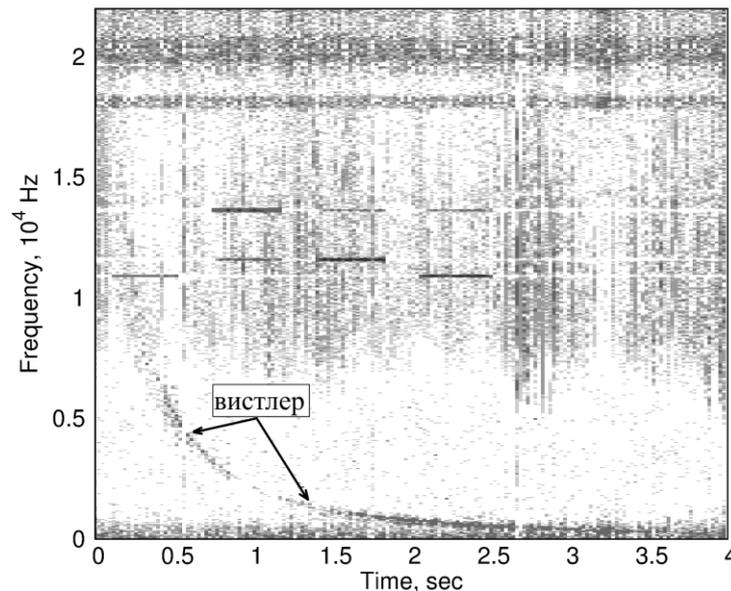


Рис. 2 – Результат медианной фильтрации спектрограммы с рис. 1

Составляются два одномерных массива X_i и Y_j , элементы которых являются средними элементов исходного массива спектрограммы по строкам и столбцами соответственно. Каждая вертикальная помеха оказывается сконцентрированной в нескольких соседних отсчетах массива Y_j , а горизонтальная – в нескольких соседних отсчетах массива X_i . Каждый из этих массивов подвергается одномерной медианной фильтрации: $X_i^{med} = \text{median}\{X_i\}$, $Y_j^{med} = \text{median}\{Y_j\}$.

Затем определяются массивы шумов $\Delta X_i = X_i - X_i^{med}$, $\Delta Y_j = Y_j - Y_j^{med}$ которые вычитаются из исходного массива A_{ij} . Отфильтрованная спектрограмма B_{ij} изображена на рис. 2. Видно, что предложенный алгоритм фильтрации действительно эффективно подавляет образы атмосфериков и узкополосных шумов.

На следующем этапе распознавания происходит отбор значимых отсчетов для каждого столбца фильтрованной спектрограммы B_{ij} по правилу отвержения на уровне значимости $\alpha = 0.05$ гипотезы о том, что этот столбец является спектрограммой белого шума. Пары индексов значимых элементов записываются в массив $P_m = (j_m, i_m)$. В дальнейшей обработке используются только массивы f_i, t_j, P_m . При этом элементу P_m соответствует точка (t_{j_m}, f_{i_m}) на исходной спектрограмме.

Переходом к этим массивам обеспечивается существенное снижение объема обрабатываемых далее данных. Анализ типичных спектрограмм показал, что размерность P_m примерно на порядок меньше размерности исходной спектрограммы.

На рис. 3 точками изображены элементы P_m , отобранные для фильтрованной спектрограммы с рис. 2.

Из теории распространения радиоволн диапазона $1 \div 8$ кГц в магнитосферной плазме известно, что форма вистлера, пришедшего в момент $\tau \geq 0$, хорошо описывается уравнением

$$t - \tau = D/\sqrt{f} \quad (1)$$

где коэффициент $D > 0$ называют дисперсией [1]. Из (1) видно, что если ввести преобразование $s = f^{-1/2}$, то в плоскости координат (t, s) образ вистлера выпрямляется, и уравнению (1) будет соответствовать $t - Ds - \tau = 0$, т.е. наклонная прямая, образующая ненулевой острый угол с положительным направлением оси времени. Соответствующие точкам P_m точки $Q_m = (t_{j_m}, s_{i_m})$ изображены на рис. 4.

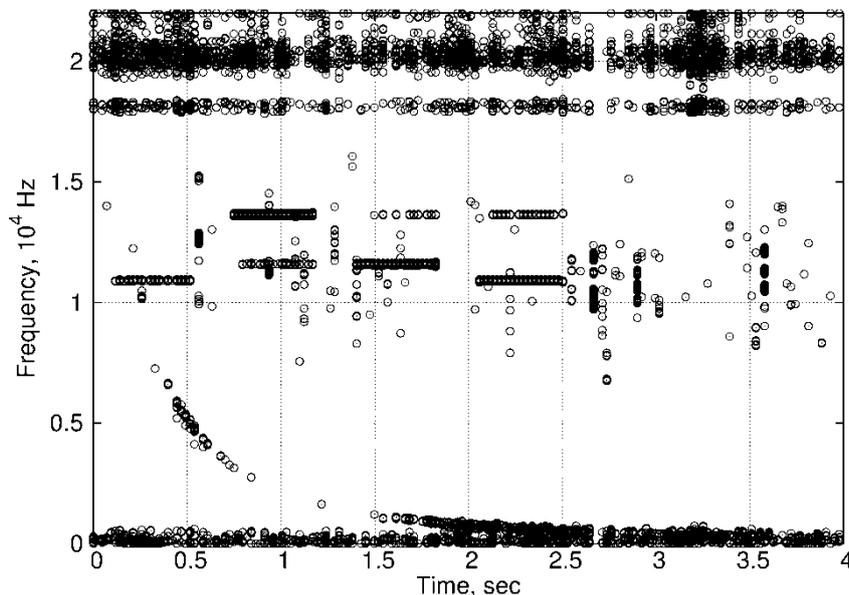


Рис. 3 – Значимые точки P_m спектрограммы

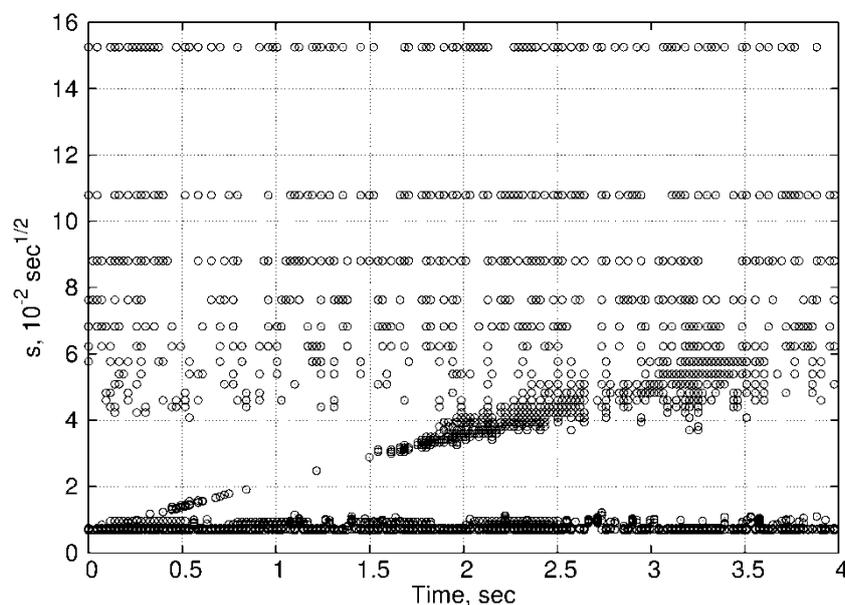


Рис. 4 – Распределение точек Q_m в плоскости (t, s)

Поскольку распознавание прямой линии представляется алгоритмически более простой задачей, чем распознавание кривой, то признаком наличия вистлера (вистлеров) является группировка точек Q_m вблизи прямой (прямых) в плоскости (t, s) .

Из многих вариантов записи уравнений таких прямых для наших целей лучше всего подходит $t \sin \varphi - s \cos \varphi - d = 0$, где φ - угол, образуемый прямой с осью времени, а d - расстояние от прямой до начала координат. Обработка большого числа спектрограмм показала, что реальные значения φ лежат в диапазоне $1^\circ < \varphi < 10^\circ$, а значение $d \geq 0$ ограничено сверху наибольшим d_{\max} из расстояний от точек Q_m до начала координат.

Пучек прямых, проходящих через точку Q_m , задается уравнением

$$d = t_j \sin \varphi - s_{i_m} \cos \varphi, \quad (2)$$

определяющим линию в области $1^\circ < \varphi < 10^\circ$, $0 \leq \varphi \leq d_{\max}$ плоскости (φ, d) . Тогда прямой, проходящей через несколько точек Q_m , будет соответствовать точка пересечения таких синусоид. Поэтому признаком близости точек к прямой в плоскости (t, s) будет существование точки в плоскости (φ, d) , через малую окрестность которой проходят синусоиды.

Введем равномерные сетки φ_k и d_l на возможных значениях углов и расстояний. Для каждой точки Q_m и каждого угла φ_k из уравнения (2) определяем расстояние d и округляем его до ближайшего d_l . В результате получим двумерную гистограмму распределения пар (φ, d) для точек Q_m . Если для пары (φ_k, d_l) значение гистограммы велико, то много точек Q_m лежит вблизи соответствующей прямой.

Тестирование описанного алгоритма распознавания показало, что обработка 225 спектрограмм одного 15-минутного wav-файла требует около 4 минут, что обеспечивает значительный резерв времени обработки.

Авторы благодарят сотрудника ИКИР ДВО РАН к.ф.-м.н. Н.В. Черневу за любезно предоставленные ОНЧ-данные.

Список литературы

1. Гершман Б.Н., Угаров В.А. Распространение и генерация низкочастотных электромагнитных волн в верхней атмосфере // Успехи физических наук. – 1960. – Т. 72. – №2. – С. 235-271.
2. Lichtenberger J. A new whistler inversion method // J. Geophys. Res. – 2009. – V. 114. – A07222.
3. Водинчар Г.М., Сивоконь В.П., Чернева Н.В., Шевцов Б.М., Малыш Е.А. Возможное проявление активности мировых грозных очагов в потоке вистлеров на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2014. – № 2(9). – С. 44-52.
4. Cherneva N.V., Sivokon' V.P., Agranat I.V. Spectral characteristics of whistlers // Problems of Geocosmos: Proc. of the 9th Int. Conf., St. Petersburg, October 8-12, 2012. SPb.: St. Petersburg State Univ., 2012. P. 212-217.
5. Гектин Ю.М., Зайцев А.А. Разработка и применение модифицированного алгоритма медианной фильтрации при бортовой коррекции изображений дистанционного зондирования // Труды МФТИ. 2014. Т. 6. № 4. С. 103-106.

05.13.00

О.А. Митина

Московская государственная академия водного транспорта
Факультет водных путей, портов и портового оборудования
Кафедра информатики и ИКТ
Москва, alogmi@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

В настоящее время проделана значительная работа по созданию эффективных механизмов поддержки субъектов инновационного предпринимательства. Но данные инструменты зачастую представляют собой материальные системы поддержки, в то время как именно инновационные предприятия часто нуждаются в консультационных услугах по вопросам ведения бизнеса. В этих условиях одним из наиболее актуальных способов поддержки предприятий выступает информационное обеспечение их деятельности.

Ключевые слова: *развитие, информационное обеспечение, инновационное предпринимательство.*

В современных условиях увеличения масштабов информационных потоков возможность получения квалифицированной консультационной помощи является одним из ключевых факторов эффективного функционирования и развития бизнеса. Особенно эта проблема становится актуальной для инновационного предпринимательства.

В условиях того, что руководители (владельцы) инновационного предприятия часто не имеют средств содержания штата сотрудников, обладающих специальными знаниями, следящих за изменением законодательства, и сами, по целому ряду причин, этой работой не занимаются, одним из наиболее актуальных способов поддержки предприятий выступает информационное обеспечение их деятельности [1, с. 153].

Под управлением информационным обеспечением инновационной деятельности понимается процесс воздействия на систему информационного обеспечения в соответствии с присущими ей законами, закономерностями, принципами и методами для достижения цели эффективного развития объекта управления на основе активизации инновационной деятельности.

Высшим уровнем иерархии управления информационным обеспечением инновационной деятельности выступает инновационный уровень, характеризующийся выполнением функций и решением комплекса задач, связанных с созданием, использованием и коммерциализацией инноваций в целях объективно необходимого инновационного развития предприятия в целом на основе использования систематизированной и качественной информации.

Следует отметить, что процесс управления информационным обеспечением инновационной деятельности предприятия основывается, прежде всего, на учете и анализе всех типов информационного взаимодействия между основными элементами системы и внешним окружением, являющиеся по своей сущности информационными потоками различного типа [2, с. 81].

В результате исследования общих принципов управления, принципов управления инновационной деятельностью и принципов управления информационными ресурсами, выделены следующие частные принципы управления информационным обеспечением инновационной деятельности: принцип комплексного информационного взаимодействия всех уровней управления инновационной деятельностью посредством использования современных программных продуктов и технических средств; принцип учета специфики управления информационными ресурсами и инновационной деятельностью под

воздействием совокупности факторов эндогенной и экзогенной среды предприятия; принцип стандартизации параметров системы управления информационным обеспечением инновационной деятельности и показателей эффективности ее функционирования; принцип упорядоченности различного типа информационных потоков о реализовываемой инновационной деятельности; принцип обеспечения защиты информации об осуществляемой инновационной деятельности в рамках предприятия; принцип однократного введения информации в систему информационного обеспечения управления; принцип многократного использования информации.

Представленные частные принципы управления информационным обеспечением инновационной деятельности характерны для различных социально-экономических систем.

Управление информационным обеспечением инновационной деятельности предприятий должно осуществляться в соответствии с определенными показателями, критериями и нормативами, выраженными количественно и позволяющими произвести оценку состояния, динамики, результативности и эффективности управления информационным обеспечением инновационной деятельности [3, с. 92].

Оценка эффективности функционирования информационного обеспечения инновационной деятельности позволяет сформировать актуальные рекомендации и предложения по совершенствованию процесса управления информационным обеспечением инновационной деятельности в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

Сформированная методология управления информационным обеспечением инновационной деятельности предприятий полностью и целиком, как правило, направлена на обязательное получение внешних положительных эффектов, поскольку производство и потребление инновационного продукта порождает как дополнительные выгоды социально-экономической системы макроуровня. Из этого следует, что истинная предельная полезность данного продукта с точки зрения макроуровня выше, чем предельная полезность предприятия, его производящего и потребителя, оплачивающего разработанный инновационный продукт [4, с. 20].

При этом важнейшими направлениями развития информационного обеспечения инновационной деятельности предприятий должны стать следующие:

- установление взаимодействия на глобальном информационном и инновационном уровнях;
- развитие государственно-частного партнерства в сфере информатизации с четким определением приоритетности задач развития ИТ-технологий;
- достижение интеграционных и кооперационных эффектов взаимодействия технической и интеллектуальной составляющих экономической системы;
- формирование привлекательного инвестиционного климата;
- развитие программно-целевого подхода к управлению информационным обеспечением инновационной деятельности и т.д.

Выбор методов управления, формирующих механизм управления информационным обеспечением инновационной деятельности, как направления воздействия состоит в подборе таких средств и инструментов воздействия, которые адекватны ситуации, а также способствуют достижению поставленной цели и прогнозируемого результата.

Следует отметить, что вследствие сложности и изменчивости социально-экономических систем и их составляющих существует проблема конструирования жестко регламентированного и формализованного механизма управления информационным обеспечением инновационной деятельности.

Исходя из выше сказанного, выделены следующие основные перспективы развития информационного обеспечения инновационной деятельности предприятий:

- государственная поддержка развитая информационного обеспечения инновационной деятельности и коммерциализации ИТ-продуктов предприятий на внутреннем и международном уровнях;
- формирование единого информационного пространства на базе принципа

«электронное правительство» и технологий Cloud computing;

- повышение уровня информатизации всех структур управления компании;
- расширение использования телекоммуникационных сетей в сфере инновационной деятельности;
- совершенствование нормативно-правовой базы в сфере информационного обеспечения инновационной деятельности, направленное на обеспечение согласования интересов всех уровней управления и институтов рынков;
- оптимизация информационных потоков по всему воспроизводственному циклу;
- формирование инфраструктуры информационного обеспечения инновационной деятельности;
- развитие электронного бизнеса.

Таким образом, информационное обеспечение инновационной деятельности предприятий является катализатором инновационного развития, так как информатизация, IT-технологии и инновационная деятельность по своей природе и экономической сущности выступают в качестве рычага и инструмента развития экономической системы.

Список литературы

1. *Черкасов М.Н.* Источники финансирования современных инновационных проектов // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. – 2012. № 1-2. – С. 152-156.
2. *Осипов К.А., Дегтярева Н.М., Булов В.Г.* Стратегия и тактика производственного менеджмента: управление развитием информационного обеспечения на предприятии. Монография / К.А. Осипов, Н.М. Дегтярева, В.Г. Булов. – Тольятти: Двор печатный АВТОВАЗ, 2013. – 199 с.
3. *Грищенко А.И.* Разработка методики управления инновационными процессами в рамках сетевой экономики: Монография. / А.И. Грищенко // Брянск: «Издательство Курсив», 2014. – 287 с.
4. *Домогатская Е.А.* Управление предпринимательскими рисками в условиях ограниченной информации / С.В. Шманев, Е.А. Домогатская // ОрелГИЭТ . – 2012. № 2 (20). – С. 20-27.

05.13.00

О.А. Митина

Московская государственная академия водного транспорта
Факультет водных путей, портов и портового оборудования
Кафедра информатики и ИКТ
Москва, alogmi@yandex.ru

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

При создании реальных систем защиты информации от постороннего доступа, исследовании физических явлений или процессов, построении систем распознавания, идентификации и хранения информации с желаемыми характеристиками целесообразно провести их анализ и компьютерное моделирование путем создания математической модели. Такой подход требует значительно меньших временных и технических средств по сравнению с физическим экспериментом, особенно на предварительной стадии разработки, когда системы или разрабатываемого устройства еще не существует.

Ключевые слова: защита информации, высокотехнологичное оборудование, обеспечение, математические методы.

Анализ последних исследований и публикаций [1-4] показывает, что распространенные компьютерные информационно-диагностические системы на железнодорожном транспорте обеспечивают главным образом функции мониторинга и коммерческого учета и не реализуют решения задач диагностики и оперативного управления. Кроме того, внедрение компьютерных методов управления возможно при соблюдении жестких требований безопасности, что в свою очередь требует решения задач обеспечения информационной защиты от несанкционированного доступа и повышение надежности оборудования.

В статье рассматривается разработка модернизационных мероприятий по архитектуре распределенных компьютерных систем мониторинга, контроля и диагностики на примере электроэнергетических сетей железнодорожного транспорта, направленных на повышение эффективности функционирования систем, обеспечение возможностей внедрения полноценных диагностических функций и комплексного автоматизированного управления режимами. При этом все компоненты корпоративной компьютерной системы мониторинга и диагностики на каждом из уровней иерархии должны обеспечиваться соответствующими комплексами информационной защиты, или системы информационной безопасности (СИБ), что является предпосылкой дальнейшего использования инфраструктуры системы для комплексного автоматизированного управления.

Микропроцессорные устройства и компоненты компьютерной сети мониторинга и диагностики формируют нижний уровень корпоративной компьютерной системы, на котором осуществляется формирование первичной информации.

Значительное развитие микропроцессорных технологий сегодня в значительной степени позволяет повысить вычислительную способность устройств регистрации с использованием цифровых сигнальных процессоров (DSPs – Digital Signal Processors), многоядерных процессоров (MCPs – Multi-Core Processors), процессоров на ПЛИС (Dynamically Reconfigurable Processors based on PLD) [1]. Поэтому предлагается организационное смещение нагрузки информационной обработки оперативной информации на нижние уровни иерархии.

При этом по сравнению с базовой конфигурацией, значительная часть информационных потоков будет локализоваться в соответствующих подсистемах, что позволит получить резерв трафика и вычислительных мощностей на верхних уровнях иерархии [2].

Кроме того, для повышения эффективности процессов передачи информации в диагностических компьютерных сетях применяются методы прогнозирования перегрузок и

алгоритмы управления очередями. Основной функцией управления трафиком является эффективное управление пропускной способностью [3].

Таким образом, предложенное распределение функциональности позволяет повысить эффективность использования сетевых каналов связи и общую эффективность реализации информационно-диагностических функций корпоративной компьютерной системой.

Для применения в технологии векторного измерения параметров режима Wide Area Measurement System (WAMS), стандартом C37.118 определены четыре типа сообщений: данные, заголовки, конфигурации и команды. Сообщения, направляемые от Phasor Measurement Units (PMUs) и локальных концентраторов на верхние уровни иерархии, зачастую содержат данные о режимных параметрах или заголовки событий с описательной информацией, данные конфигурации. В обратном направлении от узлов доступа могут поступать сообщения с предусмотренными командами управления и настройки. Для использования инфраструктуры WAMS в задачах управления режимами энергоснабжения необходимо обеспечение соответствующей унифицированной системы командных сообщений с управляющих уровней их надежной доставки и арбитража на уровне PMUs [4].

Регламентированные протоколы обмена предусматривают многопоточную передачу от отдельного источника. Критические аспекты информационной безопасности в части протокола обмена включают необходимость обмена в реальном времени, необходимость сохранения целостности и, в некоторых случаях, обеспечения конфиденциальности. Работа в реальном времени приводит критичность корпоративных систем диагностики к срокам доставки сообщений, и необходимость соответствующей быстродействия СИБ. В свою очередь, при контроле целостности и конфиденциальности средствами СИБ, должна сохраняться обязательность доставки сообщений.

Протоколы передачи данных потоковых векторов, реализованы на прикладном уровне (уровень 7) OSI (Open Systems Interconnection Basic Reference Model, базовая модель взаимодействия открытых систем). Поскольку ни один из современных стандартов потоковой передачи данных от PMUs не требует механизмов защиты в своей структуре, механизмы безопасности должны включаться на нижних уровнях модели OSI.

Для предотвращения несанкционированных команд, данные могут сопровождаться соответствующими подписями, или кодом аутентификации сообщения с использованием при передаче механизма криптографической хеширования с ключом (HMAC, Hashbased Message Authentication Code). Характер потоковых данных в рассматриваемых системах, требует «быстрой и легкой» методологии шифрования для обеспечения целостности и конфиденциальности данных, что может быть реализовано на основе симметричных алгоритмов типа AES (Advanced Encryption Standard). При этом могут использоваться инфраструктура открытых ключей (PKI, Public Key Infrastructure), обмен ключами Диффи-Хеллмана или общие ключи, если количество устройств достаточно мало.

Доступные решения для шифрования и аутентификации протоколов потоковых данных в компьютерных системах диагностики реализуются на основе защищенных каналов связи в сетях на основе интернет-протоколов типа IPSEC (IP security) и VPNs, а также DTLS (Datagram Transport Layer Security), в то же время, наиболее надежным решением является использование выделенных сетей.

Сетевые протоколы обмена предназначены для анализа и архивирования и не поддерживают высокие скорости. Использование этих протоколов ограничено внутренней сетью. Спецификация формата файлов COMTRADE (C37.111), позволяет простой разбор, чтение и обработку данных от многих источников, которые генерируют, сохраняют и передают информацию, однако она не является оптимизированной для передачи по сетям связи. Вследствие этого, данный формат используется преимущественно для архивирования и длительных операций в «off-line».

Стандарт OPC UA (Object Linking and Embedding (OLE) for Process Control (OPC) Unified Architecture) адаптирован для обеспечения контроля тревог и событий, пакетной передачи, коммуникации сервер-сервер, доступа к архивным данным, доступа к объектам (SOAP,

Simple Object Access Protocol) и веб-службам, реализации механизмов защиты.

Расширение набора протоколов передачи данных может происходить с использованием современных протоколов обмена для интернет-сетей общего пользования с учетом специфики корпоративных диагностических и управляющих компьютерных систем. В частности, предлагается применение перспективной технологии веб-сокетов (WebSocket), ориентированной на поточную информацию в реальном времени.

Таким образом, предложены пути модернизации архитектуры корпоративной компьютерной системы диагностики режимов систем железных дорог, которые позволят повысить надежность и эффективность системы и обеспечить предпосылки внедрения комплексного автоматизированного управления. А также меры, включающие обязательное внедрение систем информационной безопасности, организационное смещение нагрузки обработки оперативной информации на нижние уровни иерархии, расширение набора протоколов передачи данных.

Список литературы

1. Шумков Е.А., Видовский Л.А. Задача управления проектами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. № 115. – С. 760-768.
2. Садовник Е.А., Ермакова А.Ю., Микова С.Ю. Функции и задачи системы обнаружения вторжений на основе анализа активности вычислительных процессов // Инновационная наука. – 2016. № 1-2 (13). – С. 121-124.
3. Ложников П.С., Сулавко А.Е. Технология идентификации пользователей компьютерных систем по динамике подсознательных движений // Автоматизация. Современные технологии. – 2015. № 5. – С. 31-36.
4. Гантимуров А.П. Разработка методов и инструментов для построения и анализа информационного взаимодействия промышленных предприятий // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2016. Т. 2. № 1. – С. 112-116.

05.13.00

О.А. Митина

Московская государственная академия водного транспорта
Факультет водных путей, портов и портового оборудования
Кафедра информатики и ИКТ
Москва, alogmi@yandex.ru

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

На современном уровне развития производственных процессов к системам автоматизации управления высокотехнологичным оборудованием в условиях систем распределенных предприятий предъявляются достаточно высокие требования. Кроме своей основной функции – контроля и управления технологическим процессом, система должна иметь возможность масштабирования и быть интегрированной в корпоративной сети обмена данными. Поэтому для решения этой задачи необходимо применять комплексный подход, который охватывает все уровни функционально-организационной структуры предприятия.

Ключевые слова: распределенное предприятие, предприятие, автоматизация управления, информационные технологии.

В настоящее время основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях остается диспетчерское управление и сбор данных. Именно на принципах диспетчерского управления строятся крупные автоматизированные системы в промышленности и энергетике, на транспорте, в космической и военной областях, в различных государственных структурах. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – процесс сбора информации реального времени с удаленных точек (объектов) для обработки, анализа и возможного управления удаленными объектами.

В этой статье концентрируется внимание на практическом использовании возможностей HMI/SCADA-системы zenon.

HMI/SCADA zenon – это простой в использовании и в то же время мощный программно-технический комплекс для создания систем автоматизации; интеллектуализует процесс управления и обеспечивает достижение высокой эффективности производства [1].

Инновационные технологии, воплощенные в zenon, позволяют объединить в одной системе решения, которые охватывают почти все сегменты деятельности современного предприятия: уровень производства, сбора данных, уровень диспетчерского контроля, управления производством (MES). Обладает специальными программными средствами для непосредственного выхода на уровень планирования ресурсов и производительности предприятия (ERP). Zenon продуктивно сотрудничает с другими существующими на предприятии системами, такими как система промышленного обмена данных (PDC), система управления сетью (IT NMS), ведения бизнеса SAP-приложениями и т.д.

Используя относительно HMI/SCADA-системы термин – «независимое программное обеспечение», мы намерены идентифицировать продукт, который соответствует следующим характеристикам: открытость, гибкость, масштабирование, и имеющий инструменты непосредственного влияния на процесс производства [2].

Наибольшие сложности, связанные с внедрением всех SCADA-систем, сопряжены с решением проблем совместимости аппаратных средств. Несоответствие программных средств исключает сбор и эффективное использование данных. Zenon базируется на стандартных открытых технологиях, и предлагает набор простых в использовании графических функций для построения систем визуализации любой сложности. Характерной

чертой данного продукта является широкое разнообразие доступных интерфейсов, таких как COM (Visual Basic, Delphi, Visual C++, C#, .NET...), XML, SQL, IEC 61131-3, что в свою очередь, выступает залогом безопасного и непрерывного потока данных.

Для создания своих собственных макросов, функций, подпрограмм, интерактивных средств визуализации, проектировщик может в полной мере использовать возможности технологий VBA, ActiveX, WPF. Zenon позволяет организовать сквозной поток данных и сохранить полученную информацию в стандартных базах данных, таких как Oracle, MS-SQL Server, DB2, Informix. На данный момент поддерживаются следующие межсетевые протоколы: OPC Server, SQL-online, MODBUS RTU slave, Open MODBUS TSP, Slave DEC-TCP, DNP3 slave. Технология бронирования позволяет выполнять поэтапную замену, модификацию или ремонт отдельных элементов системы, не прекращая работу предприятия. Это касается не только аппаратных средств контроля и управления процессом, но и сетевых технических устройств – девайсов [3].

Упомянутые определяющие особенности четко выделяют HMI/SCADA-систему zenon среди целого ряда продуктов подобного класса.

Соблюдение высоких критериев качества – вот определяющий фактор, которого необходимо придерживаться при производстве. Тот или иной производственный процесс на транспорте, например, жестко регламентируется стандартами и правилами. Поэтому разработанная система автоматизации должна работать не только в соответствии с существующими требованиями, но и быть готовой к быстрому и «безударному» внедрению новых стандартов.

Постоянное совершенствование существующих инструментов и интеграция самых передовых технологий, позволяет HMI/SCADA-системе zenon отвечать современным требованиям производства. Zenon дает возможность создать информационный круговорот, который обеспечит внедрение на предприятии стандартов: SO 9000, ISA-95, ISA-S88. Особое внимание необходимо обратить на полное соответствие zenon требованиям FDA CFR Part 11, соблюдение которых гарантирует пользователю системы высокий уровень надежности и безопасности при производстве. Согласно требованиям FDA zenon реализует следующие задачи [4]:

- контроль всех действий, выполняемых оператором или иным обслуживающим персоналом;
- концепция авторизации и разграничения прав доступа (128 уровней);
- система подтверждения определенных действий через соответствующий запрос пользователю;
- фиксация внесения каких-либо изменений в систему управления;
- быстрое извлечение архивных данных сертификация проектов.

Прямым путем к достижению повышения производительности является увеличение эффективности использования имеющихся производственных линий и оборудования. Для формулировки этой задачи существует специальный термин – OEE (общая эффективность оборудования). Это индикатор, который включает в себя целый ряд показателей и используется в ME5 как один из главных факторов при анализе работы предприятия.

Реализация такой системы с использованием HMI/SCADA zenon осуществляется за счет сбора информации с уровня производства и передачи ее на верхние уровни, где она соответствующим образом обрабатывается и представляется в удобной для анализа форме. Сквозной двунаправленный поток данных, реализованный ресурсами zenon, гарантирует получение не только своевременной и достоверной информации, но также обеспечивает следующие преимущества:

1. управление и анализ в режиме онлайн; как результат, получение четкого понимания слабых мест и наличия потенциальных узлов оптимизации;
2. максимизация доступности EPP-систем за счет прямого коммуникационного интерфейса двунаправленной передачи данных до SAP-приложений;
3. четкий обзор и удобное представление элементов визуализации процесса, как на HMI,

так и SCADA уровнях;

4. производственно-ориентированные операции, основанные на вычислениях ОЕЕ в режиме реального времени. Уменьшение времени простоя оборудования путем автоматического сбора данных, интерактивного фильтрования и ведения статистики с помощью zenon IPA и генератора отчетов;

5. уменьшение времени «холостого» использования оборудования за счет синхронизации работы поточной линии, основанной на графическом анализе состояний машин с zenon ETM;

6. управление линией с учетом результатов работы смежного процесса, используя технологию «горизонтальной открытости» zenon.

Практическое применение HMI/SCADA zenon позволяет получать значительный экономический эффект от сокращения времени человекоконтроля на предприятиях.

Список литературы

1. *Гантимуров А.П.* Разработка методов и инструментов для построения и анализа информационного взаимодействия промышленных предприятий // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2016. Т. 2. № 1. – С. 112-116.
2. *Скоба А.Н., Терновский О.А.* Решение задачи об оптимальном распределении ресурсов при внедрении распределённой информационной системы на предприятии // В сборнике: Интеграция науки и практики как механизм развития отечественных наукоемких технологий производства Сборник научных статей по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции. Ответственный редактор Л.В. Илюхина. – 2015. – С. 180-189.
3. *Сафронов В.В., Барабанов В.Ф., Нужный А.М., Подвальный С.Л.* Модульное построение распределённой информационной системы машиностроительного предприятия // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. Т. 11. № 4. – С. 44-50.
4. *Еременко С.В.* Моделирование сбора и обработки вертикально интегрированных данных реального времени в корпоративном портале распределенного предприятия с непрерывным технологическим циклом // Информационные системы и технологии. – 2015. № 1 (87). – С. 66-73.

05.13.00

А.В. Мотова, Г.А. Гареева к.п.н., Д.Р. Григорьева к.п.н.

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, экономическое отделение,
кафедра бизнес-информатики и математических методов в экономике,
Набережные Челны, 94.anna.motova@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОНЬЮНКТУРЫ РЫНКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

В работе представлены результаты изучения объема погрузки нефти и нефтепродуктов за 2008-2015 годы и составлен прогноз на 2016 год. Федеральной службой государственной статистики проведено исследование показателей конъюнктуры рынка железнодорожных перевозок в Российской Федерации и представлены данные об объеме погрузки нефти и нефтепродуктов с января 2008 года по декабрь 2015 года. Прогнозирование объема погрузки нефти и нефтепродуктов на 2016 год проведено методами ARIMA (АРПСС) и экспоненциального сглаживания в пакете прикладных программ STATISTICA 6.0.

Ключевые слова: прогнозирование временных рядов, метод АРПСС, метод экспоненциального сглаживания, метод Винтерса.

Анализ временных рядов является важной областью статистики, целью которой является определение природы ряда и прогнозирование. Современные статистические методы позволяют с высокой точностью спрогнозировать любые показатели. Существует множество аналитических инструментов для построения точных прогнозов и определения вероятностной модели будущего.

Целью работы является исследование объема погрузки нефти и нефтепродуктов за 2008-2015 годы и составление прогноза на 2016 год.

Имеются официальные статистические данные об объеме погрузки нефти и нефтепродуктов с января 2008 года по декабрь 2015 года [1]. На основании этих данных был проведен анализ и составлен прогноз на 2016 год.

Наиболее популярной среди специалистов является программа STATISTICA, использующая различные методы прогнозирования. Для прогнозирования были выбраны модель ARIMA (АРПСС) и метод экспоненциального сглаживания [2].

Модель АРПСС - это регрессионный метод прогнозирования. Необходимо провести визуальный анализ временного ряда для нахождения закономерностей, выделения компонент и подбора прогностической модели [3].

Объемы погрузки нефти и нефтепродуктов за 2008-2015 годы представлены на рисунке 1.

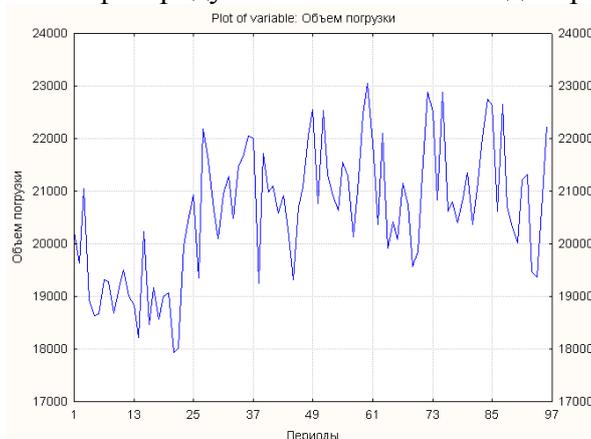


Рис. 4 - Объемы погрузки нефти и нефтепродуктов за 2008-2015 годы

Для получения стационарного ряда и выявления сезонности необходимо провести автокорреляционный анализ. Функция автокорреляции представлена на рисунке 2.

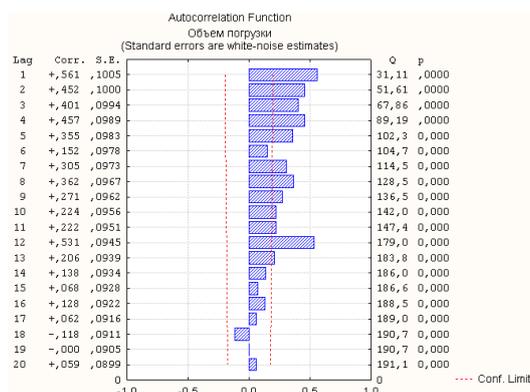


Рис. 5 - Функция автокорреляции

Автокорреляционная функция свидетельствует о наличии сезонности, так как лаг 12 – это локальный максимум.

Для составления прогноза необходимо преобразовать ряд взятием разности порядка 1 и 12. Автокорреляционная функция и функция частной автокорреляции преобразованного ряда показывают, что преобразованный ряд является стационарным и содержит сезонную компоненту (рисунок 3). Для построения модели АРПСС необходимо подобрать параметры p и q .

Функция частной автокорреляции в лагах, кратных сезонности, экспоненциально убывает с течением времени. Из этого следует, что параметры модели p и q равны 0.

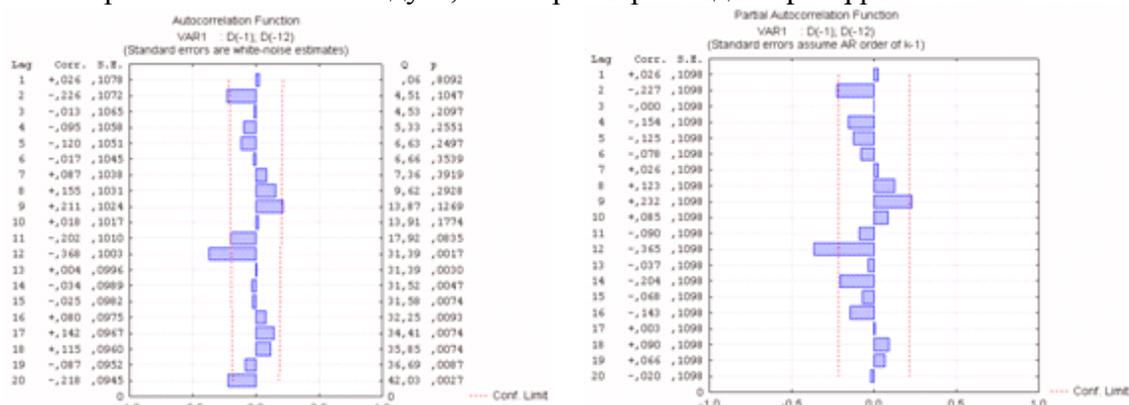


Рис. 6 - Автокорреляционная функция и функция частной автокорреляции преобразованного ряда

Данная модель адекватна. Проведенная кросс-проверка показала ошибку 9,44%. Данное значение является допустимым, однако такой прогноз не точный. С каждым периодом ошибка прогноза увеличивается, что свидетельствует о том, что модель АРПСС применима только для краткосрочных прогнозов.

Прогноз на 2016 год представлен на рисунке 4.

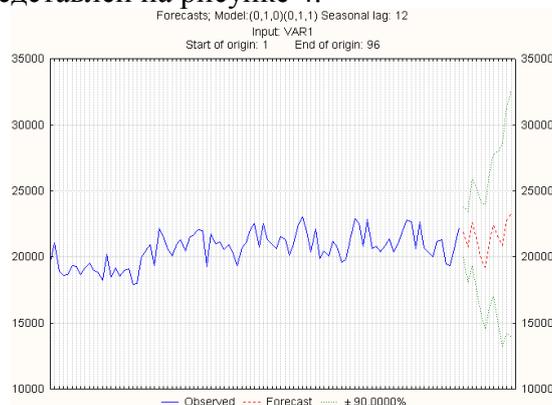


Рис. 7 - Прогноз на 2016 год (метод АРПСС)

В течение 2016 года значения объема погрузки нефти и нефтепродуктов будут колебаться. К концу 2016 года объем погрузки возрастет на 4,69% по сравнению с 2015 годом.

Преимуществом модели АРПСС (ARIMA) является возможность определения сезонной компоненты. Однако данный метод не учитывает независимые переменные и опирается только на данные предыдущих периодов, что не позволяет сделать прогноз на длительное время.

Метод экспоненциального сглаживания – простой и популярный метод прогнозирования временных рядов. Экспоненциальное сглаживание методом Винтерса позволяет учесть тренд (линейный, экспоненциальный и демпфированный) и сезонный фактор [3].

Для построения модели необходимо указать параметры $\text{Alpha}=0,6$, $\text{Delta}=0,1$, $\text{Gamma}=0,1$. На рисунке 5 представлены следующие ряды: ряд объема погрузки, сглаженный ряд и ряд остатков и прогноз на 2016 год.

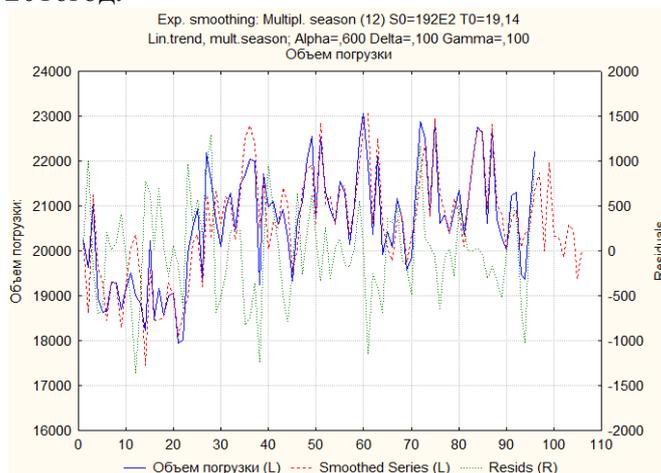


Рис. 8 - Прогноз на 2016 год (Метод экспоненциального сглаживания)

Средняя ошибка, равная 1,98%, показывает качество и адекватность построенной модели и прогноза. Согласно данному прогнозу, объем погрузки нефти и нефтепродуктов сократится к концу 2016 года.

Метод экспоненциального сглаживания применим для среднесрочного прогноза. Это доказывается результатами исследования: средняя абсолютная ошибка невелика и свидетельствует о качественном прогнозе.

Таким образом, при сравнении модели АРПСС и метода экспоненциального сглаживания было выявлено, что экспоненциальное сглаживание гарантирует более точный прогноз на среднесрочный период. Ошибка данного метода незначительна и равна 1,98%.

Для прогнозирования объема погрузки нефти и нефтепродуктов на 2016 год лучше использовать метод экспоненциального сглаживания с линейным трендом и сезонностью (метод Винтерса).

Список литературы

1. Основные показатели транспорта по Российской Федерации, 2016г. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/# (дата обращения: 07.02.2016).
2. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Издательство "Финансы и статистика", 2010. 302с.
3. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. М.: Горячая линия Телеком, 2013. 288с.

05.13.00

А.Ф. Няшин, К.А. Татосова

Тюменский государственный университет,
Институт математики и компьютерных наук, кафедра математического моделирования,
Тюмень, atatosov@utmn.ru

ОСОБЕННОСТИ КОНВЕКЦИИ МАРАНГОНИ В ТОНКОЙ ПЛЕНКЕ РАСТВОРА

Рассмотрено термокапиллярное течение в тонкой пленке гомогенного раствора, обусловленное неравномерным нагревом свободной поверхности и изменением состава вследствие ухода летучей компоненты. Отмечены особенности уравнений тонкого слоя. Предложены способы описания движения жидкости.

Ключевые слова: *тонкая пленка, поверхностное натяжение, жидкость.*

Введение

Поверхностная конвекция имеет большое значение во многих областях техники и технологиях, включая химическое машиностроение, микрофлюидику и т.д. Особенно ярко межфазная конвекция выражена в тонких пленках жидкостей. Математическое описание физических процессов, лежащих в основе явления конвекции, изложено в ряде работ [1, 2]. Многослойные пленки, имеющие несколько межфазных границ раздела, рассмотрены рядом авторов [3-5]. Учет дополнительных межмолекулярных сил в сверхтонких пленках выполнен в [6]. Межфазная конвекция в ряде случаев имеет место при химических реакциях [7, 8] и фазовых переходах [9, 10]. В настоящей работе рассмотрена поверхностная конвекция в тонких пленках растворов с учетом изменения его состава вследствие испарения со свободной поверхности летучей компоненты.

Общие уравнения движения жидкого раствора

Движение раствора подчиняется уравнениям Навье-Стокса, перемещения растворенной компоненты, переноса тепла и уравнению неразрывности смеси

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right) &= -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \rho \mathbf{g} + \left(\zeta + \frac{\mu}{3} \right) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v}), \\ \rho \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla C \right) &= \nabla \cdot (\rho D \nabla C), \\ \rho T \left(\frac{\partial s}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla s \right) &= \sigma'_{ik} \frac{\partial v_i}{\partial x_k} - \nabla \cdot (\mathbf{q} - \mu_c \mathbf{i}) - \mathbf{i} \nabla \mu_c, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) &= 0. \end{aligned}$$

В общем уравнении переноса тепла диффузионный поток \mathbf{i} и вектор плотности потока тепла \mathbf{q} определяются выражениями

$$\begin{aligned} \mathbf{i} &= -\rho D \nabla C, \\ \mathbf{q} &= \left[k_T \left(\frac{\partial \mu_c}{\partial C} \right)_{p,T} - T \left(\frac{\partial \mu_c}{\partial T} \right)_{p,C} + \mu_c \right] \mathbf{i} - \alpha \nabla T. \end{aligned}$$

Здесь μ_c – химический потенциал, k_T – безразмерная величина, называемая термодиффузионным отношением. С помощью соотношений [11]

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{c_p}{T} \frac{\partial T}{\partial t} - \left(\frac{\partial \mu_c}{\partial T} \right)_{p,C} \frac{\partial C}{\partial t}, \quad \nabla s = \frac{c_p}{T} \nabla T - \left(\frac{\partial \mu_c}{\partial T} \right)_{p,C} \nabla C;$$

уравнение переноса тепла может быть приведено к виду

$$\begin{aligned} \rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T \right) &= \\ &= \sigma'_{ik} \frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \nabla \cdot \left[k_T \left(\frac{\partial \mu_c}{\partial C} \right)_{p,T} (\rho D \nabla C) \right] + \nabla \cdot (\alpha \nabla T). \end{aligned}$$

Уравнения движения жидкости удовлетворяют определенным условиям на ограничивающих ее поверхностях. Рассмотрим слой раствора, находящийся на плоской

горизонтально расположенной твердой подложке и имеющий свободную поверхность, граничащую с атмосферным газом. Ось z направим вертикально вверх, совместив плоскость $z = 0$ с нижней границей слоя. Положение свободной поверхности будем характеризовать аппликацией $z = h(x, y, t)$. Граничные условия

на твердой подложке $z = 0$:

$$v = 0, \quad T = T_s, \quad \frac{\partial C}{\partial z} = 0;$$

на свободной поверхности $z = h$:

$$\begin{aligned} -(p - p_0) + 2\mu \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{n} + 2k_R \gamma &= 0, \\ 2\mu \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \cdot \boldsymbol{\tau} &= \nabla \gamma \cdot \boldsymbol{\tau}, \\ -k \mathbf{n} \cdot \nabla T &= J L_v + K_g (T_l - T_0), \\ \rho D \mathbf{n} \cdot \nabla C &= -J(1 - C), \\ \partial_t h + \mathbf{v} \cdot \nabla(-z + h) &= -J/\rho. \end{aligned}$$

Введем малый параметр в виде отношения поперечной и продольной характерных длин $\varepsilon = d/l$. В плоском случае в первом приближении будем иметь

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} &= 0, \\ \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho D \frac{\partial C}{\partial z} \right) &= 0, \\ \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} &= 0, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) &= 0. \end{aligned}$$

(1)

Для системы (1) граничные условия принимают вид $z = 0$:

$$u = w = 0, \quad T = T_s, \quad \frac{\partial C}{\partial z} = 0;$$

$z = h$:

$$\begin{aligned} p &= p_0, \\ \mu \frac{\partial u}{\partial z} &= \frac{\partial \gamma}{\partial x}, \\ \rho D \frac{\partial C}{\partial z} &= -J(1 - C), \\ -k \frac{\partial T}{\partial z} &= J L_v + K_g (T_l - T_0), \\ \frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} &= w - \frac{J}{\rho}. \end{aligned}$$

(2)

Решение уравнения диффузии в системе (1) удовлетворить одновременно двум граничным условиям не может. Так как заметные изменения концентрации растворенной компоненты происходят в непосредственной близости от свободной поверхности, то целесообразно удовлетворить граничному условию на твердой подложке. Таким образом, имеем $C = C(x, t)$

и, следовательно, $\rho = \rho(x, t)$. При этом вязкость раствора также будем считать функцией продольной координаты и времени.

Интегрируя уравнения Навье-Стокса из (1) с учетом граничных условий (2), находим закон сохранения массы тонкой пленки

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial \rho h \langle u \rangle}{\partial x} &= -J, \\ \langle u \rangle &= -\frac{\rho g}{3\mu} h^2 \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{g}{8\mu} h^3 \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{1}{2\mu} h \frac{\partial \gamma}{\partial x}, \end{aligned}$$

$$\langle u \rangle = \frac{1}{h} \int_0^h u dz. \quad (3)$$

Здесь $\langle u \rangle$ представляет собой среднюю по толщине скорость жидкости.

Одномерное приближение

Используемый подход приводит к тому, что остается неопределенной функция $C(x, t)$. Дополним систему приближенным уравнением переноса концентрации растворенного вещества. По аналогии с (3) имеем

$$\frac{\partial \rho C h}{\partial t} + \frac{\partial \rho C h \langle u \rangle}{\partial x} = -J,$$

или

$$\frac{\partial}{\partial t} [(1 - C) \rho h] + \frac{\partial}{\partial x} [(1 - C) \rho h \langle u \rangle] = 0.$$

Уравнение энергии для тонкой пленки $\partial^2 T / \partial z^2 = 0$ отделяется от остальных, полностью интегрируется и переходит в разряд замыкающих соотношений. С учетом граничных условий находим поле температуры в пленке

$$kT = -[JL_v + K_g(T_l - T_0)]z + kT_s.$$

Связь температур верхней и нижней поверхностей жидкого слоя

$$T_l = \frac{kT_s + (K_g T_0 - JL_v)h}{k + K_g h}.$$

Обобщением уравнений движения пленки раствора вдоль плоской поверхности будут

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla_{\perp} \cdot (\rho h \mathbf{u}) &= -J, \\ \frac{\partial}{\partial t} [(1 - C) \rho h] + \nabla_{\perp} \cdot [(1 - C) \rho h \mathbf{u}] &= 0, \\ \mathbf{u} &= -\frac{\rho g}{3\mu} h^2 \nabla_{\perp} h - \frac{g}{8\mu} h^3 \nabla_{\perp} \rho + \frac{1}{2\mu} h \nabla_{\perp} \gamma. \end{aligned}$$

При этом двумерный вектор средней скорости

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= \frac{1}{h} \int_0^h \mathbf{v}_{\perp} dz, \\ \mu \mathbf{v}_{\perp} &= -\frac{1}{6} z^3 g \nabla_{\perp} \rho + \frac{1}{2} z^2 g \nabla_{\perp} (\rho h) + z \left(\nabla_{\perp} \gamma + \frac{1}{2} g h^2 \nabla_{\perp} \rho - g h \nabla_{\perp} (\rho h) \right). \end{aligned}$$

Учет в динамическом граничном условии скачка давления Лапласа приводит к следующему изменению в уравнении импульсов

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= -\frac{1}{3\mu} h^2 \nabla_{\perp} p + \frac{5g}{24\mu} h^3 \nabla_{\perp} \rho + \frac{1}{2\mu} h \nabla_{\perp} \gamma, \\ p &= \rho g h - \gamma \nabla_{\perp}^2 h. \end{aligned}$$

Полуторомерное приближение

В обосновании первой модели движения пленки не учитывалась малость коэффициента диффузии летучей компоненты в растворе, который на несколько порядков меньше коэффициента температуропроводности. Таким образом, уравнение для переноса концентрации целесообразно использовать в полном виде, пренебрегая лишь диффузией вдоль продольной координаты. С целью сохранения основных балансовых соотношений тонкого слоя будем считать плотность раствора и вязкость постоянными. Данное предположение уместно при незначительном изменении концентрации или смеси близких по плотности составляющих.

Уравнения движения принимают вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} &= -\nabla \frac{p}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{g}, \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla C &= D \nabla^2 C, \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T &= \chi \nabla^2 T. \end{aligned}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0.$$

В уравнении переноса тепла пренебрегаем диффузионной теплопроводностью в виду малости D .

Вводя малый параметр в виде отношения поперечной и продольной характерных длин, в первом приближении для плоского течения будем иметь следующую систему уравнений

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} &= 0, \\ \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g &= 0, \\ \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0; \end{aligned}$$

с граничными условиями (2).

Интегрируя систему уравнений движения, находим

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial x} &= -\frac{J}{\rho}, \\ \langle u \rangle &= \frac{1}{h} \int_0^h u dz = -\frac{\rho g}{3\mu} h^2 \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{2\mu} h \frac{\partial \gamma}{\partial x}, \\ \mu u &= \frac{1}{2} z^2 \rho g \frac{\partial h}{\partial x} + z \left(\frac{\partial \gamma}{\partial x} - \rho g h \frac{\partial h}{\partial x} \right). \end{aligned}$$

Обобщением уравнений движения пленки вдоль горизонтальной плоскости будут

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla_{\perp} \cdot (h\mathbf{u}) = -\frac{J}{\rho}, \quad \mathbf{u} = -\frac{\rho g}{3\mu} h^2 \nabla_{\perp} h + \frac{1}{2\mu} h \nabla_{\perp} \gamma.$$

(4)

Здесь вектор скорости

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= \frac{1}{h} \int_0^h \mathbf{v}_{\perp} dz, \\ \mathbf{v}_{\perp} &= \frac{1}{2\mu} z^2 \rho g \nabla_{\perp} h + \frac{1}{\mu} z (\nabla_{\perp} \gamma - \rho g h \nabla_{\perp} h). \end{aligned}$$

Вертикальную компоненту скорости определим из уравнения неразрывности

$$\begin{aligned} \nabla_{\perp} \cdot \mathbf{v}_{\perp} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0, \\ w &= -\int_0^z \nabla_{\perp} \cdot \mathbf{v}_{\perp} dz, \\ w &= \frac{1}{6\mu} z^3 \rho g \nabla_{\perp}^2 h + \frac{1}{2\mu} z^2 (\nabla_{\perp}^2 \gamma - \rho g \nabla_{\perp} \cdot (h \nabla_{\perp} h)). \end{aligned}$$

Перемещение летучей компоненты в растворе обусловлено конвекцией и диффузией

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla C = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}.$$

Уравнение для концентрации необходимо рассматривать для пленки переменной толщины. С помощью замены

$$z' = \frac{z}{h(x, y, t)},$$

область изменения вертикальной координаты течения жидкости $0 \leq z \leq h$ отображается на отрезок $[0; 1]$. В соответствие с заменой переменных,

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t'} - \frac{\partial}{\partial z'} \frac{z}{h^2} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t'} - \frac{z'}{h} \frac{\partial h}{\partial t} \frac{\partial}{\partial z'}, \\ \frac{\partial}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x'} - \frac{\partial}{\partial z'} \frac{h^2}{z} \frac{\partial x}{\partial h} = \frac{\partial}{\partial x'} - \frac{h}{z'} \frac{\partial x'}{\partial h} \frac{\partial}{\partial z'}, \\ \frac{\partial}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y'} - \frac{\partial}{\partial z'} \frac{h^2}{z} \frac{\partial y}{\partial h} = \frac{\partial}{\partial y'} - \frac{h}{z'} \frac{\partial y'}{\partial h} \frac{\partial}{\partial z'}, \\ \frac{\partial}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z'} \frac{\partial}{\partial z} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial z'}, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} = \frac{1}{h^2} \frac{\partial^2}{\partial z'^2}.$$

Таким образом, опуская штрихи, имеем следующую систему уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla_{\perp} \cdot (h\mathbf{u}) &= -\frac{J}{\rho}, \\ \mathbf{u} &= -\frac{\rho g}{3\mu} h^2 \nabla_{\perp} h + \frac{1}{2\mu} h \nabla_{\perp} \gamma, \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{v}_{\perp} \cdot \nabla_{\perp} C - \left[\frac{z}{h} \left(\frac{\partial h}{\partial t} + \mathbf{v}_{\perp} \cdot \nabla_{\perp} h \right) - \frac{w}{h} \right] \frac{\partial C}{\partial z} &= \frac{D}{h^2} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}, \\ \mathbf{v}_{\perp} &= \frac{1}{2\mu} z^2 \rho g h^2 \nabla_{\perp} h + \frac{1}{\mu} zh (\nabla_{\perp} \gamma - \rho g h \nabla_{\perp} h), \\ w &= \frac{1}{6\mu} z^3 \rho g h^3 \nabla_{\perp}^2 h + \frac{1}{2\mu} z^2 h^2 (\nabla_{\perp}^2 \gamma - \rho g \nabla_{\perp} \cdot (h \nabla_{\perp} h)). \end{aligned} \quad (5)$$

Граничные условия для уравнения переноса летучей компоненты тоже преобразовываются

$$z = 0: \frac{\partial C}{\partial z} = 0; \quad z = 1: \frac{\partial C}{\partial z} = -\frac{h}{\rho D} J(1 - C).$$

Связь температур верхней и нижней поверхностей жидкого слоя имеет прежний вид.

Общий случай

Принятые в предыдущем приближении допущения о постоянстве свойств раствора во многих случаях могут не выполняться. Отказ от постоянства плотности по вертикали приводит к потере уравнения эволюции тонкой пленки (4), и возникает необходимость вернуться к системе уравнений движения для первого приближения (1). Для общего подхода целесообразно использовать замену области интегрирования на фиксированную аналогично проведенной для модели (5).

Таким образом, имеем следующую систему уравнений

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x'} + \frac{z'}{h} \frac{\partial h}{\partial x'} \frac{\partial p}{\partial z'} + \mu \frac{1}{h^2} \frac{\partial^2 u}{\partial z'^2} &= 0, \\ \frac{1}{h} \frac{\partial p}{\partial z'} + \rho g &= 0, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t'} - \frac{z'}{h} \frac{\partial h}{\partial t'} \frac{\partial \rho}{\partial z'} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x'} - \frac{z'}{h} \frac{\partial h}{\partial x'} \frac{\partial(\rho u)}{\partial z'} + \frac{1}{h} \frac{\partial(\rho w)}{\partial z'} &= 0, \\ \rho \left\{ \frac{\partial C}{\partial t'} + u \frac{\partial C}{\partial x'} - \left[\frac{z}{h} \left(\frac{\partial h}{\partial t'} + u \frac{\partial h}{\partial x'} \right) - \frac{w}{h} \right] \frac{\partial C}{\partial z'} \right\} &= \frac{D}{h^2} \frac{\partial}{\partial z'} \left(\rho \frac{\partial C}{\partial z'} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Для системы (6) граничные условия принимают вид

$$z' = 0:$$

$$u = w = 0, \quad \frac{\partial C}{\partial z'} = 0;$$

$$z' = 1:$$

$$p = p_0,$$

$$\mu \frac{1}{h} \frac{\partial u}{\partial z'} = \frac{\partial \gamma}{\partial x'} - \frac{1}{h} \frac{\partial h}{\partial x'} \frac{\partial \gamma}{\partial z'},$$

$$\frac{\partial C}{\partial z'} = -\frac{h}{\rho D} J(1 - C),$$

$$\frac{\partial h}{\partial t'} - \frac{1}{h} \frac{\partial h}{\partial t'} \frac{\partial h}{\partial z'} + u \left(\frac{\partial h}{\partial x'} - \frac{1}{h} \frac{\partial h}{\partial x'} \frac{\partial h}{\partial z'} \right) = w - \frac{J}{\rho}.$$

(7)

Поле температуры определится равенством

$$kT = -[JL_v + K_g(T_l - T_0)]hz' + kT_s.$$

Заключение

Таким образом, в настоящей работе представлены три основных способа описания движения жидкости в тонких пленках растворов, учитывающих испарение летучей компоненты через свободную поверхность контакта с атмосферой. Полное замыкание представленных систем уравнений включает в себя кинетику фазового перехода на свободной поверхности и уравнение теплового баланса на нижней границе жидкой пленки.

Список литературы

1. *Simanovskii I.B., Nepomnyashchy A.A.* Convective Instabilities in Systems with Interface. Gordon and Breach, London. 1993.
2. *Colinet P., Legros J.C., Velarde M.G.* Nonlinear Dynamics of Surface-Tension Driven Instabilities, Wiley-VCH, Berlin. 2001.
3. *Yarin A.L.* Surface tension driven flows at low Reynolds number arising in opto-electronic technology // J. Fluid Mech, 1995. № 286. P. 273–200.
4. *Craster R.V., Matar O.K.* Surfactant transport on mucus film // J. Fluid Mech. 2000. № 425. P. 235–258.
5. *Matar O.K., Craster R.V., Warner M.R. E.* Surfactant transport on highly viscous surface films, J. Fluid Mech. 2002. №466. P. 85–111.
6. *Israelachvili J.H.* Intermolecular and Surface Forces. Academic Press, New York. 1992.
7. *Bratsun D.A., De Wit A.* On Marangoni convective patterns driven by exothermic chemical reaction in two-layer systems, Phys. Fluids. 2004. № 16. P. 1082–1096.
8. *Shi Y., Eckert K.* Acceleration of reaction fronts by hydrodynamic instabilities in immiscible systems // Chem. Eng. Sci. 2006. № 61. P. 5523–5533.
9. *Merkt D., Bestehorn M.* Benard-Marangoni convection in a strongly evaporating fluid // Physica D. 2003. № 185. P. 196–208.
10. *Souche M., Clarke N.* Interfacial instability in bilayer films due to solvent evaporation // Eur. Phys. J. E. 2009. № 28. P. 47–55.
11. *Landau L.D., Lifshitz E.M.* Fluid Mechanics, Pergamon Press, Oxford. 1987.

05.13.05

В.Н. Осколков к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике»
г. Пермь, voskolkov@mail.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-ОПЕРАТОРНОГО ТЕРМИНАЛА С CAN- ШИНОЙ

Представлен вариант модернизации программно-операторного терминала управления контроллерами исполнительных устройств от персонального компьютера по CAN технологии с улучшенными параметрами: увеличение времени бесперебойного питания при его универсальности, увеличение памяти оперативного запоминающего устройства, увеличение рабочей частоты, модернизация программного обеспечения, повышение ударопрочности, пылезащищенности, стойкости к внешней среде.

Ключевые слова: *CAN-шина, CAN-bus, автономное питание.*

В автомобилестроении, промышленности, управлении производством, системах «умный дом» и т.д. стала применяться так называемая CAN-технология (переводится как «сеть контроллеров»). Суть ее заключается в том, что персональный компьютер (ПК) через терминал (конечное устройство соединяющее ПК с внешними цепями) через витую дифференциальную пару (CAN шину) соединен с контроллерами исполнительных устройств или систем. Впервые эту технологию применила фирма BOSCH в 80-е годы, которая в автомобиле таким образом заменила толстые длинные жгуты из медных проводов для управления системами сигнализации, АВС, подвески и др.

За время эксплуатации этих систем выявились недостатки, которые заключаются в следующем: во-первых, оказалось недостаточным время автономного питания системы, всего полтора часа, во-вторых, недостаточное количество оперативной памяти, флэш-памяти, в-третьих, недостаточная скорость работы (рабочая частота).

При разработке программно-операторного терминала с CAN шиной были дополнительно поставлены задачи.

1. Разработать устройство питания по принципу бесперебойного питания с временем автономной работы не менее 3 часов.

2. Увеличить память ОЗУ с 1Кб (ATmega8L) до 4 Кбайт (ATmega128). Увеличить флэш-память с 512 байт (ATmega8L) до 128 Кбайт (ATmega128).

3. Увеличить рабочую частоту с 8 МГц (ATmega8L) до 16 МГц (ATmega128).

4. Модернизировать программное обеспечение.

5. По возможности повысить ударопрочность, пылезащищенность, стойкость к внешней среде.

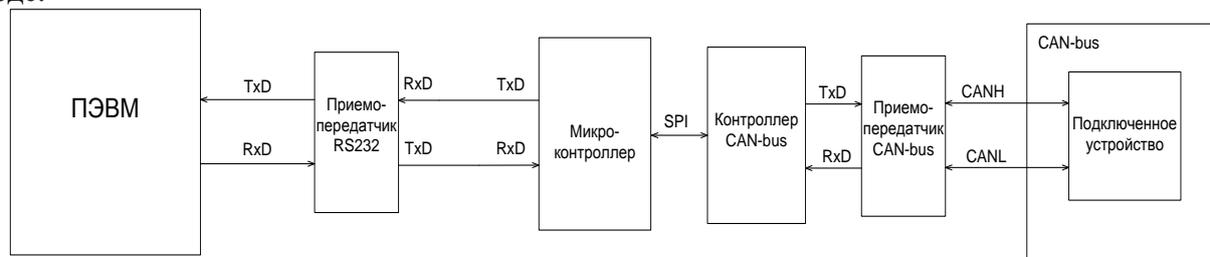


Рис. Структурная схема терминала

Согласно техническому заданию, программно-аппаратный терминал выполнен в виде самостоятельного устройства, снабжённого микроконтроллером, осуществляющим связь между интерфейсами. Его структурная схема представлена на рисунке.

ПЭВМ, к которой подключен терминал, предназначен осуществлять передачу информации в подключенные устройства. К подключенным устройствам терминал подключен через интерфейс CAN-bus.

RS232 – популярный протокол, применяемый для связи компьютеров с модемами и другими периферийными устройствами [1]. Характеристики сигнала обмена данными по стандарту RS-232C включены в международный стандарт ITU-T v.28.

В качестве активного управляющего элемента в программно-аппаратном терминале использован микроконтроллер семейства AVR ATmega128 [2]. Данный микроконтроллер маломощный 8-разрядный КМОП микроконтроллер, основанный на расширенной AVR RISC-архитектуре. За счет выполнения большинства операций за один машинный цикл ATmega128 достигает производительности 1 млн. операций в секунду (МГц), что позволяет проектировщикам систем оптимизировать соотношение энергопотребления и быстродействия.

Микроконтроллер ATmega 128 программируется с помощью программатора ТРИТОН пятой версии [3].

Программаторы пятой версии ТРИТОН и ТРИТОН+ - это современные профессиональные программаторы микросхем, предназначенные для разработки, технического обслуживания и промышленного производства средних объёмов. Современная элементная база и автоматическая сборка обеспечивают высокую надежность программаторов, а использование алгоритмов, рекомендованных фирмами-производителями, и уникальные схемотехнические решения гарантируют высочайшее качество записи микросхем. Программное обеспечение, выполненное в классическом стиле, работает со всеми версиями Windows, легко в освоении, обеспечивает удобную работу и имеет большое количество сервисных возможностей для поддержки всех режимов работы микросхем.

Задание тактовой частоты работы микроконтроллера осуществлено с помощью кварцевого резонатора ZQ2 с тактовой частотой 14,7456 МГц. Резонатор расположен в непосредственной близости от соответствующих выводов микросхемы с обеспечением минимального сопротивления соединяющих проводников.

Контроллер CAN-bus необходим для связи приемопередатчика CAN-bus с микроконтроллером и наоборот. Сам контроллер CAN-bus соединен с микроконтроллером посредством шины SPI.

Интерфейс SPI - синхронный последовательный интерфейс, предназначен для организации обмена между двумя устройствами, причем одно из них является инициатором обмена (master), второе - пассивное (slave).

CAN протокол связи стандартизирован согласно ISO 11898-1 (2003).

Приемопередатчик CAN-bus необходим для преобразования последовательного потока данных от микроконтроллера в дифференциальный сигнал и наоборот.

Интерфейс CAN-bus обеспечивает высокий уровень защиты данных даже при работе в сложных условиях (сильные помехи), при этом достигается достаточно большая скорость передачи данных (до 1 Мбит/с).

Дифференциальный режим передачи позволяет эффективно бороться с сильными электромагнитными помехами. Это достигается за счет того, что электромагнитный импульс воздействует на обе линии данных. Сигнал передается по двум линиям can high (CANH - высокий уровень) и can low CANL - низкий уровень). Логический 0 регистрируется когда на can high сигнал выше, чем на can low. Логическая единица в обратном случае. Уровень сигнала в них меняется, но разница остается постоянной.

Для того, чтобы уменьшить размер печатной платы, применены радиоэлементы с маленькой установочной площадью. В качестве большинства таких элементов выбраны малогабаритные SMD элементы [4,5,6,7].

Преимущество использования SMD элементов заключается не только в том, что они обладают малыми геометрическими размерами и, как правило, лучшими электрическими характеристиками, по сравнению с классическими выводными элементами, но и в том, что у

этих элементов отсутствуют выводы, что позволяет уменьшить паразитные индуктивные и емкостные связи. Малогабаритный SMD элемент, как правило, обладает контактными площадками, которые занимают большой процент их общей площади, что улучшает теплоотведение от этих элементов. SMD элементы на плату устанавливаются по технологии поверхностного монтажа и полностью соприкасаются с печатной платой всей своей поверхностью, что обеспечивает лучшее теплоотведение. Так же, малые размеры SMD элементов определяют то, что при изменении температуры окружающей среды в больших пределах, они обладают малым значением температурной деформации, так как сами по себе они очень малы. Малая деформация элементов при изменении температуры значительно снижает нагрузку на паяное соединение и на сам элемент, что значительно увеличивает надежность устройства [8].

Однако, вместе с тем, такие элементы очень чувствительны к деформации печатной платы, что порождает ещё одно требование к печатной плате. Печатная плата должна иметь достаточно большую жесткость, чтобы исключить порчу SMD элементов из-за принудительной деформации печатной платы.

В терминале применен стеклотекстолит марки СФ-2-35-1,5 фольгированный (толщина фольги 0,35 мм), нагревостойкий, толщиной 1.5 мм с двухсторонним монтажом по третьему классу точности (ГОСТ 23.751-86). Многослойная печатная плата сложна в изготовлении, а односторонний монтаж обуславливает увеличение размеров платы. Третий класс точности упрощает требования к применяемому оборудованию.

Для обеспечения надёжности, герметичности, удобства и широкого температурного диапазона выбран высокопрочный пластик конструкции в форме полого параллелепипеда.

Электропитание терминала доработано путем разработки первичного электропитания по классической схеме от первичной сети 220 В, 50 Гц и стабилизатора по схеме буферного включения аккумулятора. При пропадании первичной сети устройство питается от аккумулятора. Емкость аккумулятора выбрана так, что питания хватает не менее чем на три часа работы с учетом службы аккумулятора не менее чем три года.

В заключение при разработке полностью были выполнены требования дополнительного ТЗ, также была реализована возможность преобразования и передачи информации из интерфейса RS232 в интерфейс CAN-bus и наоборот. А также было разработано приложение для управления работой терминала через ПЭВМ. Терминал разработан для автомобилестроения, но может применяться для диагностики в других областях народного хозяйства.

Список литературы

1. Интерфейсы ПК: справочник – СПб: ЗАО «Издательство «Питер», 1999.
2. 8 bit Microcontroller with 32K in system programmable Flash ATmega 128 –Atmel Corporation. http://www.atmel.com/dyn/products/product_parameters.asp, 2008 г.
3. *Архангельский А.Я.* Программирование в среде С++ Builder 6. – Москва, Издательство Бином, 2003 г.
4. Зарубежные микросхемы, транзисторы, тиристоры, диоды + SMD – Справочник – Издательство: Наука и техника, 2008 год.
5. *А.П. Родан, А.А. Куприянов.* Практический самоучитель P-CAD 2006. Система проектирования печатных плат – Издательство: Наука и техника, 2009 г.
6. Технология радиоэлектронных средств: учеб. пособие/ В.В. Киселев, В.Н. Осколков, Ю.Н. Ширяев. – 2-е изд. стереотип. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. 87 с.
7. Управление качеством РЭС: учеб. пособие/ В.В. Киселев, В.Н. Осколков. –Пермь: Изд-во Перм. нац.исслед. политехн. ун-та, 2011. –104 с.
8. *Осколков В.Н.* О моделировании теплового режима конструктивно-функциональных модулей – системы дискретных элементов //Фундаментальные исследования. – 2014.-№ 9-11.-С.2408-2410.

05.13.06

А.О. Очоа Бикэ, Д.А. Сериков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, anthonob@tpu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ УРАНА

Данная статья посвящена динамическому моделированию роста кристаллов гексагидрата нитрата уранила (ГНУ) методом клеточных автоматов в качестве альтернативы или дополнения методу экстракции, традиционно применяемому для переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Ожидается, что полученная на основе клеточных автоматов модель позволит спрогнозировать зависимость свойств конечного продукта от изменения входных параметров: концентраций урана и азотной кислоты, а также температуры раствора. Результатом данной работы является приложение на языке C++, которое позволяет отслеживать динамику изменений температуры раствора, концентрации урана в растворе, а также структуру кристаллов.

Ключевые слова: моделирование, кристаллизация, клеточные автоматы, уран, переработка.

В данной статье процесс кристаллизации рассматривается как дополнение, либо замена традиционно применяемому для аффинажа урана экстракционному процессу. Ожидается, что применение кристаллизации приведет к уменьшению объемов органических веществ, а также жидких радиоактивных отходов при переработке ОЯТ [1]. Как результат, кристаллизация позволяет получать на выходе материал желаемой чистоты. Чистота кристаллов зависит от точности контролирования процесса. В кристаллизации охлаждением с при начальных центрах кристаллизации, изучаемой в данной работе, пересыщение раствора достигается внешним охлаждением раствора. Высокая чистота кристаллов достигается удержанием пересыщения раствора на необходимом уровне, который соответствует росту кристаллов без образования новых центров кристаллизации. Использование клеточных автоматов позволяет отслеживать структуру кристаллов, а также изменять настройки процесса, сохраняя необходимую чистоту материала на выходе.

Клеточные автоматы являются дискретными динамическими моделями, поведение которых полностью определяется в терминах локальных зависимостей. Клеточный автомат представляет собой поле, разделенное равномерной сеткой на ячейки (клетки), хранящие информацию о своем состоянии [2]. Время в автомате дискретно и определяется количеством итераций его работы. Новое состояние каждой клетки определяется текущим состоянием клетки, а также состояниями клеток её окружения по определенному закону эволюции. Клеточные автоматы успешно применяются в качестве альтернативы дифференциальным уравнениям в частных производных, когда их решение требует слишком больших вычислительных мощностей [3].

Описание процесса с помощью клеточных автоматов состоит из следующих шагов [4]:

- 1) определение законов эволюции системы;
- 2) определение процессов, происходящих при кристаллизации, таких как высвобождение скрытой теплоты и уменьшение концентрации клеток в окружении закристаллизовавшейся клетки;
- 3) принятие допущений, упрощающих реализацию модели, но не влияющих на качество результатов исследования.

В модели используется гексагональная решетка, каждая ячейка которой представляет собой элементарный объем раствора. Причина использования гексагональной решетки заключается в её большей изотропности по сравнению с треугольной и прямоугольной

решетками.

Рассмотрим метод моделирования процесса кристаллизации [5]: клетки автомата имеют два возможных состояния $\Phi_{i,j}^{(n)} = \{0,1\}$, где 0 соответствует жидкому состоянию, 1 – твердому состоянию, индекс n определяет номер итерации (время), а индексы i,j – координаты клеток в решетке. Каждая клетка содержит информацию о своем состоянии концентрации $C_{i,j}^{(n)}$ и температуру $T_{i,j}^{(n)}$ начальные значения которых задаются до симуляции. Процесс роста кристаллов происходит по определенным правилам, называемым законами эволюции.

Условия перехода клетки из жидкого состояния в твердое:

- 1) Клетка может только закристаллизоваться, обратный переход запрещен;
- 2) Чтобы клетка закристаллизовалась, необходимо, чтобы в ее окружении была хотя бы одна твердая клетка;
- 3) Клетка закристаллизуется, если выполняется следующее условие:

$$\Delta_{i,j}^{(n)} > \Delta^* - \lambda \cdot \left[\sum_{k,l \in O(i,j)} \Phi_{k,l}^{(n)} - 3 \right],$$

здесь $\Delta_{i,j}^{(n)}$ – пересыщение $\{i,j\}$ -клетки;

Δ^* – предельное пересыщение;

$\Phi_{k,l}^{(n)}$ – фаза $\{k,l\}$ -клетки окружения $\{i,j\}$ -клетки;

λ – весовой коэффициент, определяющий влияние кривизны межфазной поверхности.

Фазовый переход $\{i,j\}$ -клетки сопровождается высвобождением скрытой теплоты (dT) клетки и уменьшением концентрации жидких клеток ее окружения $\Delta_{k,l}^{(n)}$:

$$\begin{aligned} T_{i,j}^{(n+1)} &= T_{i,j}^{(n)} + dT, \\ C_{k,l}^{(n+1)} &= C_{k,l}^{(n)} - q \cdot \Delta_{k,l}^{(n)}, \end{aligned}$$

здесь q – коэффициент, аналогичный кинетической константе скорости роста кристалла.

Следующие выражения теплообмена и диффузии оказывают большое влияние на процесс кристаллизации:

$$\begin{aligned} C_{i,j}^{(n+1)} &= C_{i,j}^{(n)} + \frac{D}{m} \left(\langle C_{k,l}^{(n)} \rangle - C_{i,j}^{(n)} \right), \\ T_{i,j}^{(n+1)} &= T_{i,j}^{(n)} + \frac{a}{p} \left(\langle T_{k,l}^{(n)} \rangle - T_{i,j}^{(n)} \right), \end{aligned}$$

Здесь

$$\langle C_{k,l}^{(n)} \rangle = \frac{1}{n_l} \sum_{k,l \in O(i,j)} C_{k,l}^{(n)},$$

$$\langle T_{k,l}^{(n)} \rangle = \frac{1}{6} \sum_{k,l \in O(i,j)} T_{k,l}^{(n)},$$

n_l – количество жидких клеток в окружении $\{i,j\}$ -клетки ($n_l \leq 6$); $\langle C_{k,l}^{(n)} \rangle$ и $\langle T_{k,l}^{(n)} \rangle$ – средняя концентрация жидких клеток и средняя температура всех клеток окружения $\{i,j\}$ -клетки; D , a , m , p – параметры, зависящие от дискретизации пространства и времени.

Концентрация насыщения раствора определяется следующей функцией температуры и концентрации азотной кислоты [6].

$$C_U = 10^\alpha,$$

Здесь

$$\begin{aligned} \alpha &= 5.504 - 1.411 \cdot C_H + 0.0263 \cdot C_H^2 - 0.913 \cdot 10^{-2} \cdot T_{abs} + \\ &+ 0.088 \cdot 10^{-4} \cdot T_{abs}^2 + 3.586 \cdot 10^{-3} \cdot C_H T_{abs}. \end{aligned}$$

T_{abs} – температура раствора (К), C_H и C_U – концентрации азотной кислоты (моль/л) и урана (г/л). Функция (8) получена из графиков растворимости, полученных опытным путем.

Представленные ниже рисунки демонстрируют результаты симуляции процесса

кристаллизации с использованием клеточных автоматов. Разработанное приложение предоставляет пользовательский интерфейс для настройки процесса кристаллизации, а также отображает результаты симуляции: форму кристалла, распределение концентрации и распределение температуры (Рис. 1).

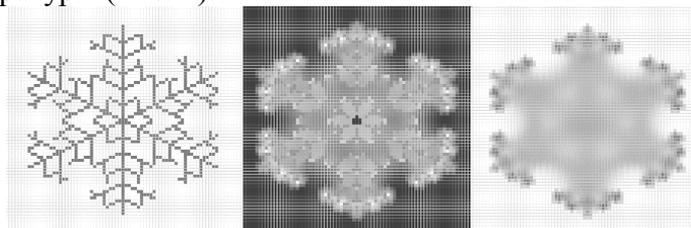


Рис. 1 – Форма кристалла, распределение концентрации и распределение температуры

Анализ влияния начальных условий и изменение этих условий позволяет определить оптимальные параметры кристаллизации, при которых достигается максимальная чистота кристаллов (Рис. 2).

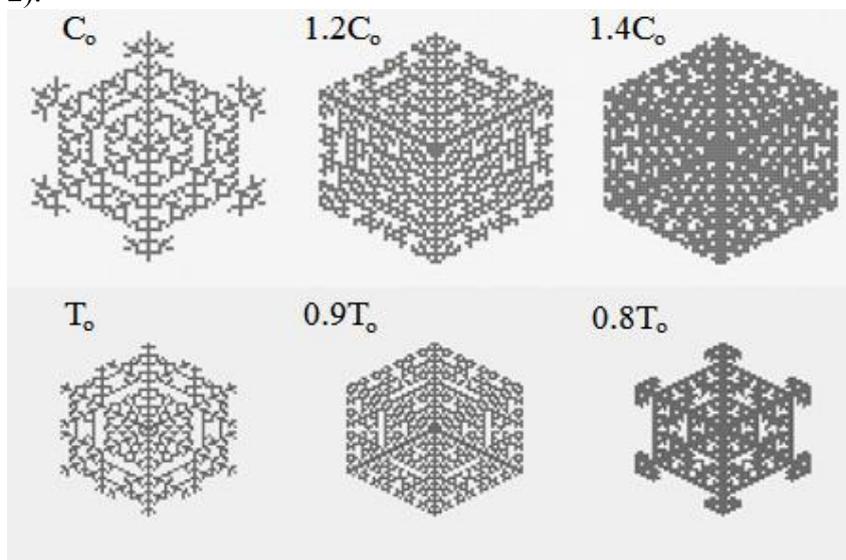


Рис. 2 – Влияние начальных условий (увеличение концентрации нитрата уранила и уменьшение температуры раствора)

Влияние диффузии и теплообмена на форму и чистоту кристалла продемонстрировано на рис. 3. Поэтому определение коэффициентов в уравнениях данных процессов требует высокой точности.

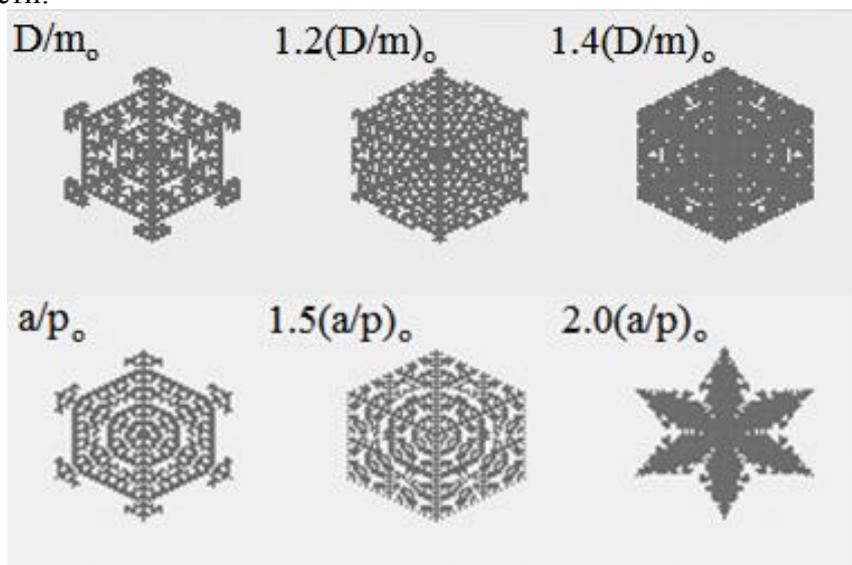


Рис. 3 – Влияние диффузии (увеличение коэффициента диффузии) и теплообмена (увеличение коэффициента теплопроводности)

В таблице 1 продемонстрированы зависимости чистоты кристалла от изменения параметров кристаллизации. Чистота рассчитана как отношение количество твердых клеток в кристалле ко количеству всех клеток.

Таблица 1 – Чистота кристалла

Концентрация	Значение	C_0	$1.2C_0$	$1.4C_0$
	Чистота	0.4382	0.6171	0.8606
Температура	Значение	T_0	$0.9T_0$	$0.8T_0$
	Чистота	0.4476	0.5905	0.7923
Коэффициент диффузии	Значение	$(D/m)_0$	$1.2(D/m)_0$	$1.4(D/m)_0$
	Чистота	0.7723	0.8169	0.9576
Коэффициент теплопроводности	Значение	$(a/p)_0$	$1.5(a/p)_0$	$2.0(a/p)_0$
	Чистота	0.6465	0.6877	0.9030

Результатом данной работы является приложение, осуществляющее моделирование процесса кристаллизации. Представленное приложение позволяет отслеживать динамику процесса кристаллизации, а также получать информацию о зависимости структуры кристалла от параметров кристаллизации. Продемонстрирована важность их оптимального нахождения для получения кристаллов высокой чистоты. Управление процессом кристаллизации возможно осуществлять через значения концентрации нитрата уранила и температуры раствора.

Список литературы

1. *Veselov, S.* Mathematic Simulation of Crystallization Refining Process of Spent Nuclear Fuel Reprocessing Desired Products in Linear Crystallizer / S. Veselov, V. Volk, V. Kashev, T. Podimova, E. Posenitskiy // *Advanced Materials Research* – 2015. – Vol. 1084. – P. 666-672.
2. *Toffoli, T.* Invertible cellular automata: A review. / T. Toffoli, N. H. Margolus // *Physica D: Nonlinear Phenomena* – 1990. – Vol. 45. – P. 229-253.
3. *Gonçalves M.A.* Development of Compositional Patterns during the Growth of Solid Solutions from Aqueous Solutions: A Cellular Automaton Simulation / M.A. Gonçalves, M. Prieto // *Cryst. Growth Des.* – 2014. – Vol. 14. – P. 2782–2793.
4. *Abasheva, E.R.* Cellular automata for simulation of crystallization in different mediums / E.R. Abasheva, E.M. Koltsova // *Proc. of European Congress of Chem. Eng.In. (Copenhagen, 16-20 September 2007)* – Copenhagen. – 2007.
5. *Ochoa Bique, A.O.* A comparison of simulation techniques for uranium crystallization process / A.O. Ochoa Bique, A.G. Goryunov, F. Manenti // *Chemical engineering transactions.* – 2015. – Vol. 43. – P. 793-798.
6. *Chikazawa, T.* Batch crystallization of uranyl nitrate / T. Chikazawa, T. Kikuchi, A. Shibata, T. Koyama, S. Homma // *J. Nucl. Sci. Technol.* – 2008. – Vol. 45. – P. 582-587.

05.13.06

Т.В. Сазонова к.т.н., О.И. Христуло д.т.н., А.В. Богданов

Кумертауский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет»,
кафедра экономической теории,
Кумертау, SazonovaTV@kfsu.edu.ru

**ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ МНОГОМЕРНОГО
НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ
НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ
И МЕТОДА КВАЙНА-МАК-КЛАСКИ**

В работе представлены результаты изучения автоматизированной системы синтеза первоначальных логических структур antecedentes продукционных правил МНРСИИ на основе последовательностных уравнений с их последующей минимизацией методом Квайна-Мак-Класки

Ключевые слова: *нечеткая логика, многомерный регулятор, автоматизация, Trace Mode.*

Поскольку antecedentes продукционных правил МНРСИИ по своей логической природе являются функциями двузначной логики [1, 2, 3], то для синтеза и минимизации их структуры целесообразно использовать такие высокоэффективные инструменты как последовательностные уравнения с приоритетом на включение или отключение (синтез первоначальных (неминимизированных) логических структур практически без ограничения на их размерность) [4] и метод Квайна-Мак-Класки (минимизация функций двузначной логики, заданных в совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДНФ), на основе двоичной системы счисления).

Материал по синтезу минимизированной логической структуры antecedenta продукционного правила МНРСИИ с позиций лучшего его понимания целесообразно рассмотреть на типовом примере.

Пусть задано продукционное правило вида:

$$\text{Если } Y_1 = Y_{11}, \text{ ТО } P_1 = P_{11}, \quad (1)$$

где Y_1 – его условная часть (antecedent) МНРСИИ, представленная в виде функции двузначной логики; Y_{11} – четкий терм функции Y_1 , являющийся аргументом двузначной логики, который принимает значение логической единицы и нуля при равенстве логической единице её функции включения ($Y_{11\text{вкл}}$) и функции отключения ($Y_{11\text{откл}}$) соответственно. Причем структура $Y_{1\text{вкл}}$ и $Y_{1\text{откл}}$ задана в виде следующих функций двузначной логики:

$$Y_{1\text{вкл}} = \overline{X_1} X_2 + X_1 X_3; \quad (2)$$

$$Y_{1\text{откл}} = X_1 \overline{X_3} + \overline{X_2}, \quad (3)$$

где X_1 , X_2 и X_3 – аргументы двузначной логики (например, четкие термы входных и выходных переменных контуров регулирования МНРСИИ или дискретные входные и выходные переменные многосвязного объекта управления).

По заданным исходным данным необходимо получить минимизированную логическую структуру antecedenta для продукционного правила (1) МНРСИИ. Решение поставленной задачи целесообразно производить в следующей последовательности:

1. Подставить значения $Y_{1\text{вкл}}$ и $Y_{1\text{откл}}$ в последовательностное уравнение с приоритетом на включение:

$$Y_1 = Y_{1\text{вкл}} + y_{11} \overline{Y_{1\text{откл}}} = \overline{X_1} X_2 + X_1 X_3 + y_{11} \overline{X_1 X_3 + \overline{X_2}},$$

где y_{11} – переменная памяти терма Y_{11} .

2. Используя законы О. де Моргана, освободиться от двойных инверсий и одинарных

инверсий над целыми выражениями:

$$Y_1 = \overline{X_1 X_2} + X_1 X_3 + y_1 \overline{X_1 X_3} X_2 = \overline{X_1 X_2} + X_1 X_3 + \overline{X_1} X_2 y_1 + X_2 X_3 y_1. \quad (4)$$

3. Для упрощения дальнейших преобразований выражение (4) необходимо представить совокупностью двоичных чисел, а неполные конъюнкции заменить полными:

$$Y_{11} = 00_ _ + 1_1_ + 01_1 + _111$$

$$\begin{array}{cccc} \overline{0000} & \overline{1010} & \overline{0101} & \overline{0111} \\ 0001 & 1011 & 0111 & 1111 \\ 0010 & 1110 & & \\ 0011 & 1111 & & \end{array} \quad (5)$$

4. Для получения СДНФ функции Y_1 в виде совокупности двоичных чисел необходимо в выражении (5) по закону тавтологии исключить повторы. В результате СДНФ функции Y_{11} принимает следующий вид:

$$Y_1 = 0000 + 0001 + 0010 + 0011 + 1010 + 1011 + 1111 + 0101 + 0111 + 1110. \quad (6)$$

5. Выражение (6) минимизировать методом Квайна-Мак-Класки. С этой целью двоичные числа в (6) разбить на группы по количеству единиц и произвести всевозможные сравнения чисел из смежных групп (рисунок 1). Сравняются только те двоичные числа, которые отличаются только в одном разряде и они отмечаются галочкой, а числа без вариантов сравнения отмечены звездочкой (*) – это простые импликанты, логическая сумма которых образует сокращенное покрытие функции Y_1 . После сравнения в этом разряде ставится нижний прочерк. Процесс анализа заканчивается в случае отсутствия вариантов сравнения, а количество групп уменьшится до одной.

0000	✓					000_	✓									00_
0001	✓	✓				00_0		✓								00_
0010	✓		✓			00_1		✓	✓							0_1
0011		✓	✓	✓		0_01				✓						_01
1010			✓		✓	001_	✓				✓					_01
0101		✓				_010						✓				_11
1011				✓	✓	_011						✓	✓			_11
1110					✓	0_11				✓				✓		1_1
0111					✓	101_				✓				✓		1_1
1111						1_10									✓	
						01_1				✓						
						1_11							✓		✓	
						111_								✓		
						_111							✓			

Рис.1 – Минимизация структуры antecedenta продукционного правила МНРсИН методом Квайна-Мак-Класки

6. Для получения из сокращенного минимального покрытия терма Y_1 строится импликантная матрица Квайна (рисунок 2), строками которой являются простые импликанты, а столбцами – двоичные числа первого столбца рисунка 1. Галочки в клетках матрицы указывают покрытие полных конъюнкций терма Y_{11} соответствующими импликантами. Например, импликанта A покрывает конъюнкции 0000 и 0010 и т.д. Анализ матрицы показывает, что импликанту A можно исключить, так как она покрывается импликантой B .

7. Выбор минимального покрытия формализуется с помощью алгебраического метода С. Петри. По столбцам матрицы записываются дизъюнкции тех импликант, которые отмечены в данном столбце (рисунок 2):

$$A(A+B)(A+C)C(A+B+C+D)(B+E)(C+D)E(B+D+E)(D+E) = ACE \quad (7)$$

Смысл выражения (7) заключается в том, что любая из отмеченных импликант покрывает данную вершину, а покрытие четкого терма соответствует конъюнкции всех записанных дизъюнкций.

	0000	0010	0001	0101	0011	1010	0111	1110	1011	1111	
00__	✓	✓	✓		✓						A
01		✓			✓	✓			✓		B
0__1			✓	✓	✓		✓				C
__11					✓		✓		✓	✓	D
1_1_						✓		✓	✓	✓	E

Рис. 2 – Импликантная матрица Квайна antecedента Y_1 продукционного правила (1) МНРсИН

Выражение (7) упрощением с помощью тождеств двузначной логики приведено к нормальной дизъюнктивной форме, каждый член которой представляет собой конъюнкцию простых импликант и соответствует некоторому тупиковому покрытию рассматриваемого четкого термина. Как следует из выражения (7), функция Y_1 имеет одно тупиковое покрытие C_1 , поэтому оно будет и минимальным, то есть:

$$C_1 = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & - & - \\ - & - & 1 \\ - & 1 & - \end{matrix} \right\}$$

цена которого определяется по формуле цены покрытия.

$$C = \sum_s g_s (n - s), \tag{8}$$

где g_s – число s -кубов, образующих покрытие antecedента Y_1 от n переменных. В данном случае $n=4$. По формуле (8) для antecedента Y_1 цена покрытия

$$C_1 = 3 \cdot (4-2) = 8. \tag{9}$$

Исходя из приведенных рассуждений минимизированная логическая структура antecedента Y_1 имеет следующий вид:

$$Y_{1min} = 00_ + 0_1 + 1_1 = \overline{X_1} \overline{X_2} + \overline{X_1} y_1 + \overline{X_1} X_3. \tag{10}$$

Для оценки степени минимизации первоначальной формы antecedента (6) воспользуемся выражением (8) и вычислим цену покрытия первоначальной структуры условной части продукционного правила:

$$C_{первонач.} = 10 \cdot (4-0) = 40. \tag{11}$$

Из сравнения выражений (9) и (11) следует, что в результате минимизации объем рассматриваемого antecedента уменьшился в 6,7 раза. Минимизированные структуры antecedентов для других продукционных правил МНРсИН получаются аналогичным образом.

Процесс синтеза и минимизации логической структуры antecedентов продукционных правил МНРсИН автоматизирован с помощью программы `sminimiz.prj` в среде Trace Mode 6 [4], основной экранный интерфейс (ЭИ) которого представлен на рисунке 3. В целях лучшего понимания материала работа программы поясняется с использованием рассмотренного выше примера.

В начале программа запрашивает условия ($Y_{вкл}$), при которых antecedент продукционного правила равен логической единицы, а затем – условия отключения ($Y_{откл}$).

Равенство логической единицы $Y_{откл}$ означает равенство логическому нулю antecedента продукционного правила. Следующим шагом запрашивается вид последовательностного уравнения с приоритетом на включение ($Y_1 = Y_{вкл} + y_1 \overline{Y_{откл}}$) или с приоритетом на отключение ($Y_1 = (Y_{вкл} + y_1) \overline{Y_{откл}}$). Последовательностное уравнение с приоритетом на включение и на отключение используется для синтеза antecedентов продукционных правил, управляющих технологическим процессом в штатном режиме и в аварийных ситуациях соответственно.

После выбора вида последовательностного уравнения, вначале на экран выводится продукционное правило с неминимизированной структурой antecedента, а затем тоже правило, но с минимизированной структурой antecedента. Синтез и минимизация условной

части остальных производственных правил МНРСИИ производится аналогично. Использование программы позволяет в 3 – 4 раза сократить сроки разработки системы производственных правил МНРСИИ.

Синтез и минимизация системы производственных правил

Ввод Yвкл.
 $/X1*/X2+X1*X3$

Ввод Yоткл.
 $X1*/X3+/X2$

Последовательное уравнение с приоритетом на включение

Последовательное уравнение с приоритетом на отключение

Первичная неминимизированная структура антецедента производственного правила
ЕСЛИ $Y1=/X1*/X2+X1*X3+/X1*X2*Y1+X2*X3*Y1$, ТО P1=P11

Производственное правило с минимизированной структурой антецедента
ЕСЛИ $Y1=/X1*/X2+/X1*Y1+/X2*X3+X3*Y1$, ТО P1=P11

Рис.3 – Основной экранный интерфейс программы синтеза и минимизации логической структуры антецедентов производственных правил МНРСИИ

Таким образом, предложена автоматизированная система синтеза первоначальных логических структур антецедентов производственных правил МНРСИИ на основе последовательностных уравнений с их последующей минимизацией методом Квайна-Мак-Класки, позволившая существенно уменьшить объем системы производств рассматриваемого регулятора и в 3 – 4 раза сократить сроки её разработки.

Список литературы

1. *Гузаиров, М.Б.* Управление технологическими процессами, реализованное на четких логических регуляторах / М.Б. Гузаиров, Е.А. Муравьева. – М.: Машиностроение, 2012. – 305с.
2. *Сазонова, Т.В.* Четкий логический регулятор температуры в автоклаве для производства газосиликатных шлакоблоков: научный журнал «Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета» / Т.В. Сазонова, Л.Ю. Полякова, А.И. Каяшев, Е.А. Муравьева. – 2011. – т.15. – №2 (42). – С.114-119.
3. *Зотов, М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М. Г. Зотов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 375 с.
4. *Букреев, В.Г.* Основы инструментальной системы разработки АСУ Trace Mode: учеб. пособие / В.Г. Букреев, А.В. Цхе. – Томск: изд-во ТПУ, 2003. – 127 с.

05.13.19

Е.А. Солдатова

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики,
Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий,
Кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Санкт-Петербург, Elena_Sold@bk.ru

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АУДИТ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с аудитом информационной безопасности на предприятии. В ходе работы был определен, исследован и проанализирован стратегический аудит, а также рассмотрены проблемы, связанные с проведением аудита информационной безопасности на предприятии.

Ключевые слова: *Информационная безопасность, аудит, ИТ-инфраструктура.*

В современных условиях основной целью каждого предприятия является извлечение прибыли, поэтому необходимо выработать правильную стратегию для ее достижения. Современные требования бизнеса, предъявляемые к определению уровня обеспечения информационной безопасности предприятий, и существенный рост рисков от нарушения информационной безопасности во всех сферах жизнедеятельности, диктуют необходимость использовать в своей работе аппаратно-технические методы и средства, позволяющие количественно и качественно измерять уровень информационной защищенности предприятий.

Укрепление информационной безопасности в организационно – распорядительных документах по защите информации РФ рассматривается в числе важнейших долгосрочных задач. Роль информационной безопасности и её место в системе национальной безопасности страны определяется тем, что государственная информационная политика тесно взаимодействует с государственной политикой обеспечения национальной безопасности страны через систему информационной безопасности, которая выступает важным связующим звеном всех основных компонентов государственной политики в единое целое.

Аудит рассматриваем как совокупность взаимосвязанных процедур анализа и оценки не только программно – технической составляющей защиты информации, но и организационно – административных мер по её обеспечению, а также выработанных предложений.

В ходе работ по аудиту производится сбор и анализ следующих форм документированной информации:

- (а) Структурированные и функциональные схемы участников автоматизированной системы;
- (б) Проектная и эксплуатационная документация на автоматизированную систему;
- (в) Организационно – распорядительные и нормативно-технические документы по ИБ;
- (г) Организационно – штатная структура подразделения, отвечающая за безопасность ИБ;
- (д) Перечень сведений конфиденциального характера;
- (е) Планы восстановления работоспособности автоматизированной системы при возникновении аварийных ситуаций;
- (ж) Программы и планы развития организационных и технических мер по обеспечению информационной безопасности.

При проведении анализа конфигурации типовых рабочих мест, сетевых устройств и ключевых серверов их перечень определяется по согласованию с руководством предприятия, осуществляющей эксплуатацию автоматизированной системы.

У аудита информационной безопасности три этапа:

- (1) Проведение комплексного обследования систем;
- (2) Проведение анализа существующих рисков;

(3) Разработка рекомендаций по совершенствованию системы защиты информационных ресурсов и плана их практического внедрения.

Проведение комплексного обследования систем – это у нас описание объекта (предприятия) с использованием стандарта BSI «Руководство по защите информационных технологий для базового уровня защищенности». Здесь определяем категорию информации ограниченного доступа, тип объекта, структура объекта исследования (ПО, сервера, АРМ) и т.д.

ИТ-аудит информационных систем – это комплексное изучение, оценка и анализ текущего состояния всех составляющих ИТ-инфраструктуры предприятия. Являясь наиболее эффективным методом выявления проблем и слабых мест, ИТ-аудит востребован компаниями любого масштаба и сферы деятельности, поскольку позволяет минимизировать риски, сохранить и защитить имеющуюся ИТ-инфраструктуру и позволить бизнесу выйти на новый уровень путем внедрения актуальных информационных систем.

ИТ-аудит направлен на руководство предприятий для получения адекватного состояния ИТ и инженерной инфраструктуры предприятия, идентификации проблемных областей в части ИТ-поддержки основного бизнеса.

ИТ-аудит закладывает основу для повышения показателей отдачи от инвестиций (ROI) в информационные технологии, снижения совокупной стоимости владения (ТСО) средствами ИТ, повышения качества принятия стратегических решений, касающихся информационно-технологической поддержки бизнеса и дальнейших инвестиций в ИТ и инженерные системы, сокращения сроков внедрения новых средств ИТ, получение быстрых и распространяемых результатов.

Результатами проектов по ИТ аудиту являются:

- Отчет о текущем состоянии исследуемых областей;
- Выводы о необходимости развития или модернизации существующих информационных и инженерных систем;
- Рекомендации о возможных направлениях развития, технологических или организационных решениях.

При этом большое внимание уделяется таким аспектам, как:

- Роль ИТ в основном бизнесе компании;
- Организация службой управления ИТ предприятия;
- Оценка отдачи от эксплуатации действующих ИС;
- Оценка влияния действующих информационных систем на взаимоотношения с потребителями и поставщиками.

Список литературы

1. *А.М. Голиков*, Основы информационной безопасности, учебное пособие, Томск, 2007 год.
2. *В.И. Аверченков*, Аудит информационной безопасности, 2-е издание, издательство Флинта, 2011 год.
3. *В.В. Кульба, А.Б. Шелков*, Мониторинг и аудит информационной безопасности автоматизированной системы, 2009 год.
4. Аудит информационной безопасности предприятий и систем. Учебное пособие. Московская академия комплексной безопасности, Тульский филиал. Тула, 2008
5. Федеральный закон Российской Федерации «Об аудиторской деятельности» № 307-ФЗ от 30.12.2008 г. // Российская газета. - 2008.
6. Филиппев Д.Ю. Внутренний аудит : мифы и реальность// учет и контроль, 2007 год, № 1.
7. ФЗ от 30 декабря 2008 г. № 307 «Об аудиторской деятельности»//Гарант
8. *Партыка Т.Л., Попов И.И.* Информационная безопасность. Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования.-- М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.
9. *Г.П. Жигулин* Теория и практика прогнозирования, 2011 год.

05.13.11

Т.Г. Сопельниченко, О.В. Егорова, Н.В. Ливенцова

ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок, nagaizeva@tpu.ru

ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО УЗЛА ПРОИЗВОДСТВА ФТОРА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА

В работе представлена объектная модель электролизного узла производства фтора, разработанная для программного обеспечения (ПО) расчета математической модели узла, используемой в компьютерном тренажере. Объектная модель построена в виде иерархии классов объектов, реализующих необходимую функциональность программного обеспечения расчета модели узла.

Ключевые слова: *объектная модель, электролизный узел, компьютерный тренажер, программное обеспечение.*

Для обучения оперативного персонала безопасным и эффективным приемам управления электролизным узлом производства фтора разрабатывается компьютерный тренажер (КТ), структура которого приведена в [1]. В рамках решения данной задачи возникла необходимость создания ПО, реализующего расчет математической модели узла, предназначенной для имитации работы технологического оборудования [2]. Модульный принцип построения модели, однотипность структуры каждого модуля, а также необходимость обеспечения эффективного и гибкого управления модулями определили использование технологии объектно-ориентированного программирования при разработке ПО расчета модели [3, 4].

Основой ООП является объектная модель, описывающая предметную область, для которой разрабатывается ПО, в виде совокупности взаимодействующих объектов, каждый из которых характеризуется набором данных (свойств) и алгоритмов их обработки (методов) [3, 4].

Настоящая статья посвящена разработке объектной модели электролизного узла производства фтора для ПО расчета математической модели узла.

Разработка ПО с использованием объектно-ориентированной технологии включает несколько этапов: анализ предметной области, проектирование, изготовление и использование [3, 4]. Анализ предметной области предполагает ознакомление с объектом разработки, т.е. изучение структурных схем, алгоритмов работы и т.п. После этого начинается этап проектирования, который включает в себя идентификацию и классификацию объектов (разбиение предметной области на отдельные объекты, определение их свойств и методов обработки свойств, объединение схожих по свойствам и характеру поведения объектов в группы (классы)), а также разработку первичной архитектуры проекта с учетом принятых условно-графических обозначений (УГО). Результатом данного этапа является объектная модель, описанная иерархией классов объектов. Следующим этапом идет изготовление, т.е. реализации объектной модели на каком-либо объектно-ориентированном языке программирования. На данном этапе описываются методы и свойства каждого класса, определяются правила наследования и т.д. После этого идет процесс тестирования программы. Создаются конкретные объекты классов, назначаются их свойства. Проверяется корректность работы программы. При необходимости, вносятся коррективы в иерархию классов. Конечным этапом разработки является использование созданного ПО, на котором при необходимости может осуществляться его коррекция и модернизация.

Согласно выше описанному разработка объектной модели была начата с анализа предметной области: математической модели электролизного узла.

Структурно в математической модели электролизного узла выделяются два модуля,

моделирование элементов которых может осуществляться независимо друг от друга [1, 2]:

- модуль имитации технологических процессов, состоящий из математических моделей электролизеров производства фтора, систем подачи фтористого водорода, охлаждения и электропитания серий;
- модуль имитации системы управления, включающий модели измерительных каналов электролизеров, исполнительных устройств, регулирующих органов и алгоритмов управления.

Все модели модулей характеризуются определенным набором входных и выходных переменных, параметров, определяющих условия моделирования, и математических соотношений, описывающих взаимосвязи между переменными.

Основываясь на принципах структурной организации модели были выделены следующие классы объектов: модели электролизеров, систем обеспечения электролизеров, измерительных каналов, исполнительных механизмов, регулирующих органов, алгоритмов управления.

При выявлении свойств и методов объектов было обнаружено, что все объекты наряду с уникальными по функциональному назначению свойствами и методами обладают также одинаковыми. Например, к одинаковым по функциональному назначению свойствам можно отнести, вектора входных и выходных переменных, параметров моделей; к одинаковым методам – методы обработки переменных и параметров моделей (импорт/экспорт, изменение значений, и др.). К уникальным методам – методы, реализующие расчет математических соотношений, описывающих связи между параметрами, входными и выходными переменными моделей.

С учетом выше описанного и принципов ОПП [3-5] была составлена иерархия классов, описывающая объектную модель электролизного узла. На рис. 1 показана диаграмма, отражающая данную иерархию. Диаграмма составлена с использованием условно-графических обозначений, предложенных в [3].

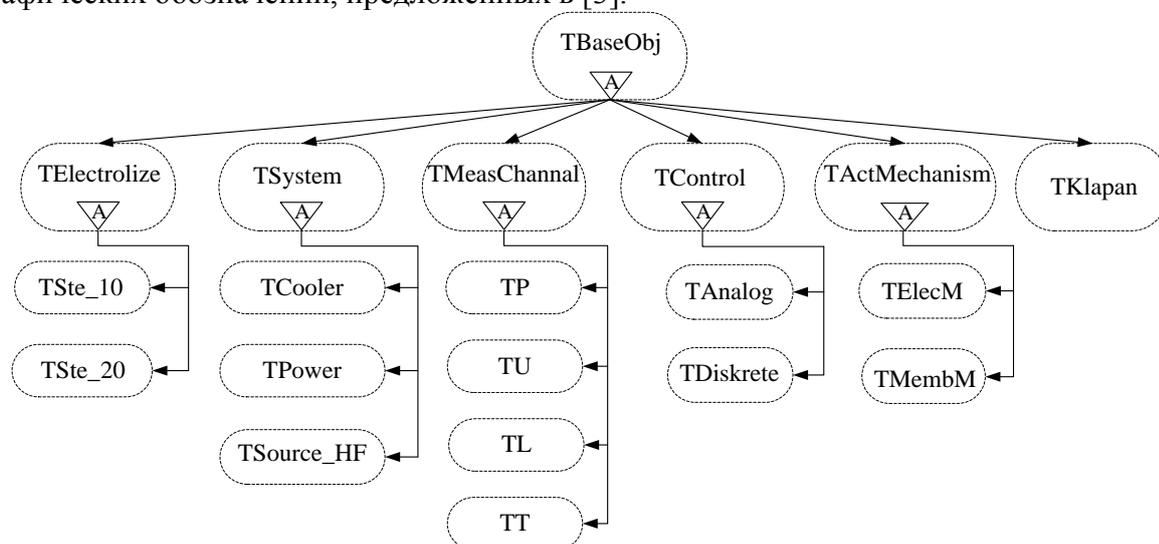


Рис.1 –Иерархия классов, описывающая объектную модель электролизного узла

Класс TBaseObj является предком всех остальных классов иерархии. В нем описаны методы и свойства, присущие данным классам. Все производные классы наследуют их по правилам ООП. Данный класс относится к категории абстрактных [5]. В таблице 1 приведены свойства и методы, инкапсулированные в данный класс.

Классы TElectrolize, TSystem, TMeasChannal, TControl, TActMechanism, TKlapan являются наследниками класса TBaseObj и также относятся к категории абстрактных. Они обладают по праву наследства всеми свойствами и методами класса TBaseObj, а также каждый содержит совокупность присущих только ему свойств (например, переменные -признаки неполадок и др.) и чистую виртуальную функцию Calculation () [5], которая служит основой для подменяющих ее функций в производных классах. Данные классы выполняют функции

родителей классов (TSte_10, TSte_20, T Cooler, TPower, TSoures_HF, TP, TU, TL, TT, TAnalog, TDiskrete, TElecM, TMemBM), инкапсулирующих в себе свойства методы моделей конкретных элементов технологической схемы электролизного узла (электролизеров: СТЭ 10, СТЭ 20; систем обеспечения электролизеров: охлаждения, электропитания и подачи HF, измерительных каналов, алгоритмов управления и исполнительных механизмов).

Таблица 1 – Свойства и методы класса TBaseObj

Класс	Свойства	Методы
TBaseObj	NumIn – число входных переменных	TBaseObj() – конструктор
	NumOut - число выходных переменных	~TBaseObj() – деструктор
	NumPar- число параметров	SetInData() – задать значение входной переменной
	InData – вектор входных переменных	SetInPar() – задать значение параметра
	OutData – вектор выходных переменных	GetInData() – взять значение входной переменной
	Par – вектор параметров	GetInPar() – взять значение параметра
		GetOutData() – взять значение выходной переменной
		InputData() – импорт данных из файла
		OutputData() – экспорт данных в файл

Классы TSte_10, TSte_20, T Cooler, TPower, TSoures_HF, TP, TU, TL, TT, TAnalog, TDiskrete, TElecM, TMemBM кроме свойств и методов классов родителей содержат свои уникальные свойства и метод Calculation (). Для каждого класса данный метод имеет уникальную реализацию и содержит совокупность расчетных соотношений, описывающих математическую модель конкретного элемента технологической схемы электролизного узла. Данный метод подменяет виртуальный метод Calculation () родителей этих классов при наследовании.

Разработка пользовательских типов, описывающих предложенную иерархию классов будет осуществляться на языке C++ [5]. При этом определения пользовательских типов будут реализовываться в виде совокупности библиотек динамической компоновки (DLL) [6].

Таким образом, разработана объектная модель электролизного узла производства фтора для ПО расчета его математической модели. Объектная модель представлена иерархией классов объектов, реализующих необходимую функциональность программного обеспечения расчета модели узла.

Список литературы

1. Нагайцева О.В., Ливенцова Н.В., Ливенцов С.Н. // Изв. ТПУ. – 2009. –Т. 315. – № 5. – С.89–93.
2. Нагайцева О.В., Ливенцова Н.В. Разработка тренажерной модели серии электролизеров производства фтора // Фундаментальные исследования и инновации в НИУ: Материалы Всероссийской науч.-мет. конф., г. Санкт-Петербург, 17–18 мая 2012. – Санкт-Петербургский Политехнический университет, 2012. – Т.1. – С. 45-47.
3. Грэди Буч и др. Объектно-ориентированный анализ и проектирование. – 3-изд., пер. с англ. – М.: Вильямс, 2010 – 720 с.
4. Фридман А.Л. Основы объектно-ориентированной разработки программных систем. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 192 с.
5. C/C++. Программирование на языке высокого уровня / Т.А. Павловская. – СПб.: Питер, 2003. – 461 с.

05.13.00

А.А. Шакирова, Г.А. Гареева к.п.н., Д.Р. Григорьева к.п.н.

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, экономическое отделение,
кафедра бизнес-информатики и математических методов в экономике,
Набережные Челны, AlbSha27@gmail.com

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ РЫНКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

В статье проанализирована динамика изменения числа пользователей сети Интернет со стационарных компьютеров и ноутбуков в России за несколько лет. На основе анализа исходных данных построен прогноз тенденции развития российской интернет-аудитории с применением таких статистических методов прогнозирования как метод экспоненциального сглаживания и метод нейросетевого моделирования. Исследования проводились с использованием программного пакета STATISTICA 13. Сравнительный анализ результатов применения двух методов показал тенденцию роста числа пользователей сети Интернет с компьютеров и ноутбуков.

Ключевые слова: *прогнозирование, временные ряды, Интернет, нейронные сети, экспоненциальное сглаживание.*

Задачи анализа и прогноза реальных временных рядов возникают во всех аспектах человеческой деятельности (в экономике, медицине, промышленности и т.д.). Современные методы статистического прогнозирования позволяют с высокой точностью предсказать практически все возможные показатели. Под прогнозированием понимают специальное научное исследование конкретных перспектив дальнейшего развития какого-либо процесса. Перспективы, которые необходимо предсказывать, чаще всего описываются временными рядами. Временным рядом называют последовательно измеренные через некоторые (зачастую равные) промежутки времени данные [1].

Интернет как средство распространения, хранения и обмена информацией представляет собой ключевой элемент инфраструктуры информационного общества. Знание о состоянии и динамике развития российской интернет-аудитории имеет важное практическое значение для управления использованием Интернета в России и представляет интерес для государственных органов, телекоммуникационных компаний и рекламной индустрии [2].

Для исследования использованы ежемесячные данные по объему интернет-аудитории со стационарных компьютеров и ноутбуков, взятые с официального сайта маркетинговой группы TNS [3]. Были рассмотрены интернет-пользователи в возрасте от 12 до 64 лет по всей России за последние 5 лет, т.е. в период с января 2011 года по январь 2016 года.

На основе этой информации построен прогноз числа пользователей сети Интернет на год, до февраля 2017 года. Для построения прогноза использованы такие статистические методы как метод экспоненциального сглаживания и метод нейросетевого моделирования. С целью определения наиболее адекватного из данных методов проведен сравнительный анализ полученных результатов.

На рисунке 1 изображены графики временных рядов, описывающие динамику изменения числа пользователей сети Интернет с компьютеров и ноутбуков в России за период с января 2011 года по январь 2016 года, а также интернет-пользователей со смартфонов и планшетов за 2015 год.

На графике слева наблюдается явный возрастающий линейный тренд в течение первых 4 лет. В 2015 году происходит спад интернет-аудитории, это объясняется тем, что россияне стали активно использовать смартфоны и планшеты в качестве устройств для выхода в Интернет – график справа.

Метод экспоненциального сглаживания дает возможность получить оценку параметров тренда, характеризующих не средний уровень процесса, а тенденцию, сложившуюся к моменту последнего наблюдения [4].

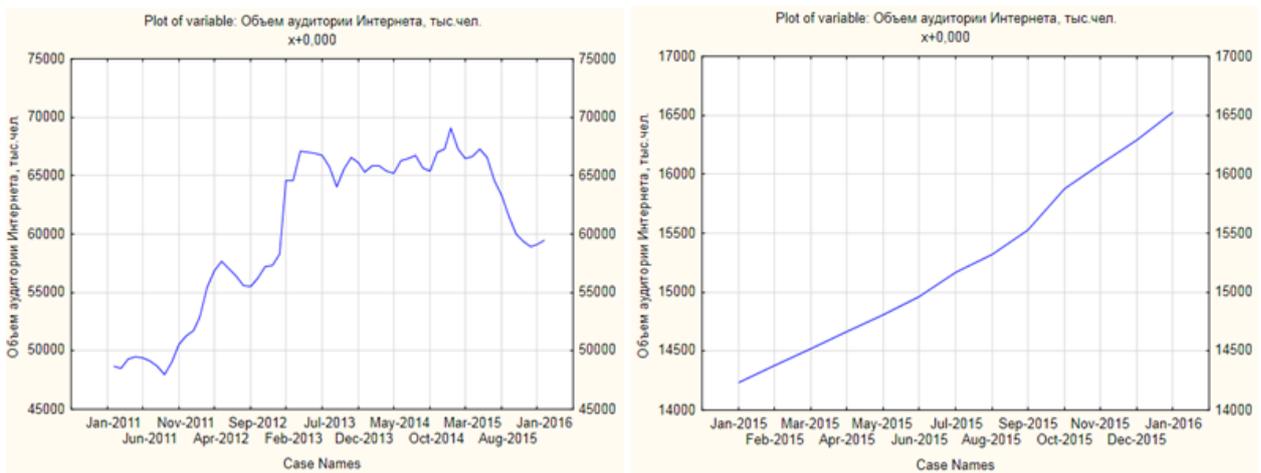


Рис. 9 - Динамика изменения числа пользователей сети Интернет с компьютеров (слева) и смартфонов (справа), тыс. чел.

В результате применения экспоненциального сглаживания временного ряда, средняя абсолютная ошибка составила примерно 1,55%, что явилось хорошим показателем, характеризующим довольно высокое качество модели. Полученные данные представлены на рисунке 2.

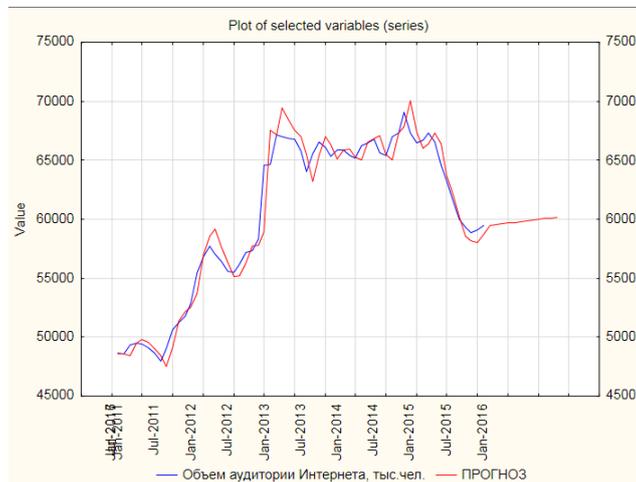


Рис. 2 - График прогноза исходного ряда

Таким образом, согласно построенному прогнозу на 12 месяцев, в ближайшем будущем число пользователей сети Интернет с компьютеров и ноутбуков начнет увеличиваться и к февралю 2017 года составит более 60000 тыс. человек.

Далее для построения прогноза объема интернет-аудитории был использован метод нейросетевого моделирования. Это новый и инновационный метод прогнозирования, главным отличием которого является то, что нейросети в принципе не нуждаются в заранее известной модели, а строят ее сами только на основе предъявляемой информации [5].

Проведено обучение нескольких сетей и выбрано 5 лучших из них (рис. 3).

Summary of active networks (Метод нейросетевого моделирования.sta)
Include cases: 1:61

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Validation perf.	Training error	Test error	Validation error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 12-1-1	0,809702	0,860343		331683,9	1305546		BFGS 12	SOS	Identity	Identity
2	MLP 12-1-1	0,809570	0,860499		334280,2	1338926		BFGS 12	SOS	Identity	Identity
3	MLP 12-1-1	0,808419	0,861033		354028,0	1306025		BFGS 15	SOS	Identity	Identity
4	MLP 12-1-1	0,808563	0,860212		355583,5	1311475		BFGS 14	SOS	Identity	Identity
5	MLP 12-1-1	0,809536	0,860299		334713,5	1336400		BFGS 12	SOS	Identity	Identity

Рис. 3 - Лучшие сети

Все сети показали практически одинаковые производительности, но у сетей 1 и 2 она немного выше. Для дальнейшей оценки качества сетей построена диаграмма рассеяния целевых и предсказанных значений ряда. Точки на диаграмме расположены довольно близко к прямой, что свидетельствует о хорошей предсказательной способности сетей.

Для оценки точности сетей рассмотрен график с изображением исходного и спрогнозированных на год вперед рядов. Линии сетей на графике очень близко расположены друг к другу, что говорит о практически идентичном качестве моделей. Поэтому выбирается сеть 1, показавшая наилучшую производительность.

Средняя абсолютная ошибка составила 2,13%. Результаты прогноза представлены на рисунке 4.

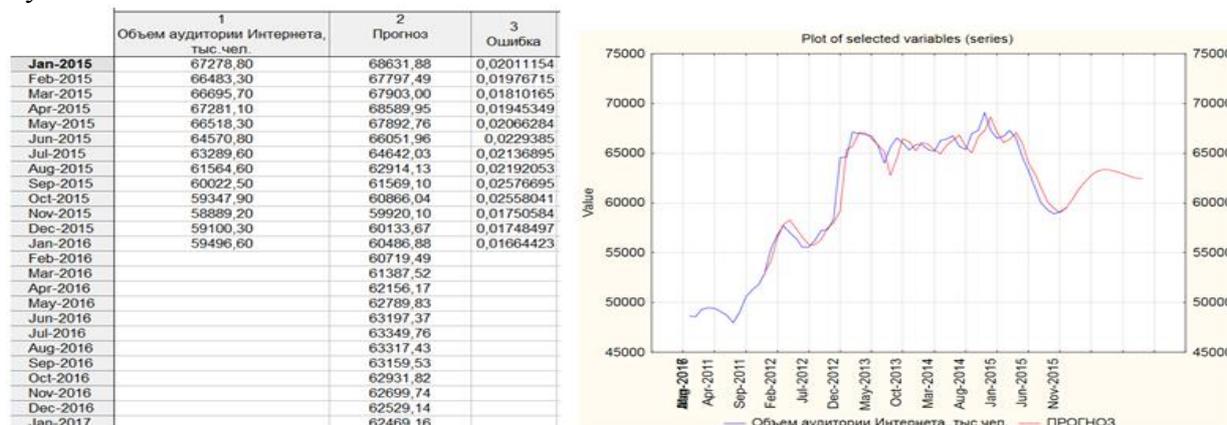


Рис. 4 - Значения исходного, спрогнозированного ряда

Таким образом, согласно полученному прогнозу, в первой половине 2016 года наблюдается тенденция роста объема интернет-аудитории, однако к концу года произойдет небольшой спад.

Сравнивая результаты применения экспоненциального сглаживания и нейронных сетей, можно сделать вывод, что оба метода, в целом, предсказывают тенденцию роста числа пользователей сети Интернет с компьютеров и ноутбуков. Модель, полученная в результате прогнозирования вторым методом, показала, что ближе к концу года число интернет-пользователей немного уменьшится, в то время как согласно первому методу объем интернет-аудитории будет непрерывно увеличиваться в течение всего периода. При этом прогноз методом экспоненциального сглаживания показал чуть меньшую ошибку (1,55%) на кросс-проверке, чем модель, полученная в результате применения нейронных сетей (2,13%).

Список литературы

1. *Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М.* Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, ИНФРА-М, 2010. 320 с.
2. *Гвоздева В.А.* Информатика, автоматизированные информационные технологии и системы. М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2013. 544 с.
3. Официальный сайт маркетинговой группы TNS URL: <http://tns-global.ru/services/media/> (дата обращения: 17.03.16).
4. Электронный учебник StatSoft URL: http://www.statsoft.ru/resources/statistica_text_book.php (дата обращения: 20.03.16)
5. *Боровиков В.П.* Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных. М.: Горячая линия Телеком, 2008. 392 с.

05.13.11

В.А. Шапов к.т.н.

Институт механики сплошных сред УрО РАН, лаборатория телекоммуникационных и информационных систем; Пермский национальный исследовательский политехнический университет, электротехнический факультет, кафедра информационных технологий и автоматизированных систем
г. Пермь, phprus@gmail.com

АРХИТЕКТУРА СЕРВИСА ОБРАБОТКИ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРЕ

В работе представлена архитектура разрабатываемого в ИМСС УрО РАН сервиса обработки интенсивных потоков экспериментальных данных на суперкомпьютере. Работа направлена на создание вычислительной среды, позволяющей пользователям экспериментальных установок УрО РАН эффективно использовать существующие суперкомпьютерные и телекоммуникационные ресурсы для обработки интенсивных потоков данных. Отличительная особенность – использование модели прямой передачи данных (память-память) и лямбда-каналов оптической WDM сети между источниками данных и суперкомпьютерами, а также применение технологий виртуализации для запуска унифицированных расчетных задач. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-37-60043.

Ключевые слова: суперкомпьютер, обработка потоков данных, распределенные системы, высокоскоростные сети, экспериментальная установка, облачные вычисления.

Введение

В настоящее время активно развивается новая парадигма предоставления услуг информационных технологий – облачные вычисления. Ее суть заключается в обеспечении повсеместного сетевого доступа к пулу ресурсов (например, сетям передачи данных, серверам, хранилищам данных, суперкомпьютерам, приложениям и сервисам, и т.д.), которые могут быть предоставлены или освобождены по требованию конечного пользователя [1].

В работе представлена архитектура сервиса, развивающего ранее созданные нами технологии обработки интенсивных потоков данных [2-3], для предоставления доступа к ним по облачной модели, что позволит автоматизировать исследователям доступ к коммуникационной и вычислительной среде, а также исследовать способы обслуживания интенсивных потоков данных в вычислительных сетях.

Решения по обработке интенсивных потоков данных

В задачах обработки больших объемов данных на суперкомпьютерах источником данных обычно является система хранения данных суперкомпьютера. В этом «классическом режиме» (рис. 1) обработка происходит в три этапа. Загрузка/выгрузка данных в/из хранилища (этапы 1 и 3) и их обработка (этап 2) связаны с промежуточными операциями записи/чтения данных в хранилище суперкомпьютера.

Наиболее частым способом обмена данными с хранилищами является использование протоколов передачи файлов, таких как FTP/GridFTP и SCP или прямой доступ к разделяемому хранилищу по протоколам CIFS и NFS/pNFS. Однако на протяженных высокоскоростных линиях связи эти решения работают недостаточно хорошо [4,5], в том числе из-за недостаточной эффективности протокола TCP.

В разработанном нами подходе [2,3] элементы потока данных вводятся непосредственно в вычислительные узлы, минуя промежуточное сохранение на дисках, и обрабатываются параллельно (модель «память-память» на рис. 1).

В этом случае на первый план выходит необходимость обеспечения эффективной передачи данных на вычислительные узлы суперкомпьютера и решение задачи

распределения элементов потока по вычислительным узлам. Эта задача решается компонентой диспетчеризации параллельных потоков в модели «память-память». Прототипом предлагаемой модели обработки данных является концепция очередей данных. Она позволяет реализовать параллельность на уровне обработки и передачи данных и перенести процесс диспетчеризации данных с множества вычислительных узлов на отдельный компонент системы – менеджер потоков данных.

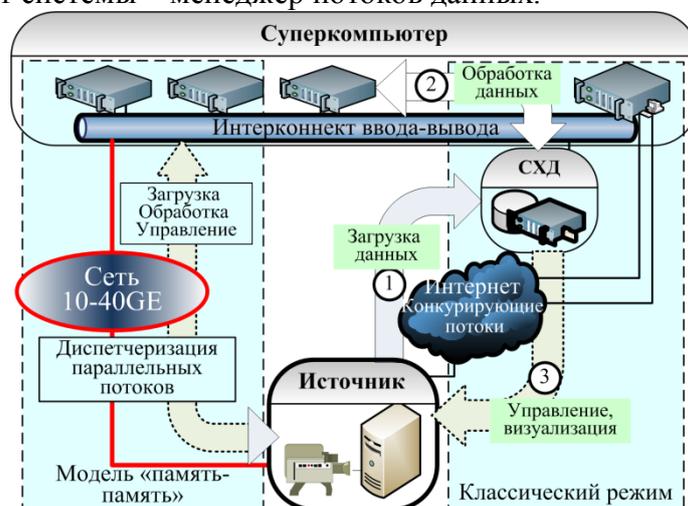


Рис. 1 – Существующие (классический режим) и разработанное (память-память) решения для обработки данных на суперкомпьютере

Отличительные особенности разработанного решения:

- отказ от промежуточного хранения данных в хранилищах;
- прямой ввод данных в вычислительные узлы;
- параллелизм L4-соединений между оконечными системами.

Параллелизм L4-соединений позволяет решить отмеченную выше проблему эффективного использования надежных транспортных протоколов, работающих по протяженным скоростным линиям связи [6]. Этим обеспечивается возможность использования в качестве транспортных протоколов (L4 OSI RM) повсеместно используемых протоколов TCP и UDT.

Классификация облачных технологий

В настоящий момент выделяют три основных вида облаков: публичные, частные и общественные, но в практических задачах они могут использоваться совместно в различных сочетаниях.

В публичных облаках инфраструктура находится в собственности поставщика сервиса и услуги предоставляются широкой аудитории пользователей. Одними из наиболее известных провайдеров облачных инфраструктур являются Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Compute Engine и другие.

Частные облака предоставляют услуги только одному потребителю, а инфраструктура чаще всего находится в его собственности и управлении.

Общественные облака ориентируются на использование инфраструктуры конкретным сообществом потребителей, имеющих общие задачи. Примером такой кооперации могут являться центры коллективного пользования научным оборудованием, существующие в научных институтах и университетах [7].

В то же время современные научные экспериментальные установки генерируют большие объемы данных, нуждающихся в обработке в реальном времени. Одна из таких задач, решаемая в ИМСС УрО РАН, – это обработка экспериментальных данных, получаемых по методу PIV (Particle Image Velocimetry) [8] – оптическому методу измерения полей скорости жидкости или газа в выбранном сечении потока. Интенсивность порождаемого потока данных зависит от числа, разрешения и частоты работы камер и может достигать нескольких гигабит в секунду. Обработка таких потоков данных с использованием только локального компьютера экспериментальной установки чрезвычайно затруднена. При этом

развитие математического аппарата и появление новых высокоточных алгоритмов расчетов увеличивают требования к необходимой вычислительной мощности.

Использование публичных облаков для проектов, связанных с обработкой интенсивных потоков данных в реальном времени, часто невозможно по причине отсутствия доступной магистральной сетевой инфраструктуры, соединяющей экспериментальные установки и центры обработки данных поставщиков облачных услуг, которые могут находиться на значительном удалении или в других странах. Это приводит к тому, что скорость обмена данными с вычислительными ресурсами публичных облаков достаточно низкая [9]. При этом у научных организаций уже существуют собственные вычислительные и коммуникационные ресурсы, которые могут предоставлять вычислительное и коммуникационное обеспечение для таких задач. В связи с этим мы считаем перспективным создание облачного сервиса для обработки потоков экспериментальных данных, работающего по модели PaaS (Platform as a Service, «Платформа как услуга»), поверх существующих вычислительных и коммуникационных ресурсов УрО РАН.

Архитектура сервиса обработки интенсивных потоков данных

Разработанная нами модель «память-память» и реализующее ее программное обеспечение (рис. 1) хорошо подходит для предоставления его возможностей в виде сервиса, позволяющего решать задачи обработки интенсивных потоков данных в пределах инфраструктуры ГИГА УрО РАН [10] с использованием суперкомпьютеров и экспериментальных установок, расположенных в разных городах.

На рис. 2 приведена схема архитектуры сервиса обработки интенсивных потоков данных.

Телекоммуникационным ядром платформы будет являться оптическая магистраль со спектральным уплотнением каналов на скорости 20 Гбит/с, соединяющая центр обработки данных ИМСС УрО РАН (Пермь) с Суперкомпьютерным центром ИММ УрО РАН (Екатеринбург), а также сеть передачи данных ПНЦ УрО РАН, объединяющая институты Перми на скоростях 1-40 Гбит/с.

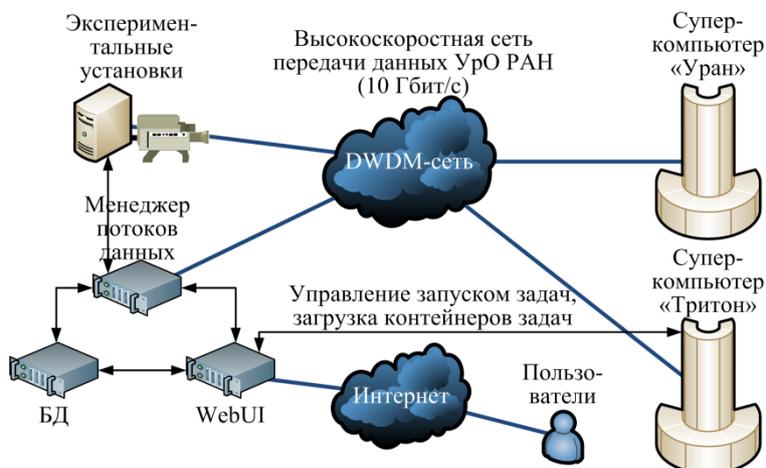


Рис. 2 – Архитектура сервиса обработки интенсивных потоков данных

Ядром вычислительных ресурсов будут:

- Суперкомпьютер на платформе HP (пиковая производительность 4,5 Тфлопс, сеть InfiniBand 4xDDR / GigabitEthernet) и сервер хранения данных Supermicro (36 Тбайт) на площадке ИМСС УрО РАН (Пермь).
- Три сервера HP ProLiant DL360p Gen8 (CPU 2xXeon 8C E5-2660 2,2ГГц; RAM 128 Гб; HDD 5,4 Тб; Mellanox NIC 2x10Гбит/с) на площадке ИМСС УрО РАН (Пермь).

Дополнительно закладывается возможность использования ресурсов суперкомпьютера ИММ УрО РАН (Екатеринбург, 216 Тфлопс), оснащенного ускорителями NVIDIA Tesla.

Компонент «Менеджер потоков данных» (рис. 2) – является сервером очередей SciMQ, который разработан автором, и отвечает за управление передаваемыми пользовательскими сообщениями (измерениями отдельных экспериментов) в очередях, включая их получение от экспериментальных установок, промежуточное хранение, распределение по запросам

вычислительных узлов суперкомпьютеров и прием/передачу от других внешних систем.

Компонент «БД» – это база данных PostgreSQL, в которой хранятся данные пользователей системы, такие как логин, пароль, токены авторизации для приложений и собираемая статистика об используемых системой ресурсах.

Компонент «WebUI» – веб-интерфейс к системе. На текущий момент веб-интерфейс менеджера очередей SciMQ позволяет полностью управлять им и просматривать архив статистики загрузки системы. В разрабатываемом сервисе будет реализована интеграция с вычислительными ресурсами, позволяющая запускать расчетные задачи непосредственно из веб-интерфейса системы.

Для унификации процедуры запуска расчетных приложений в разнородном вычислительном окружении нескольких суперкомпьютеров планируется использовать технологии контейнерной виртуализации. В настоящий момент на суперкомпьютере «Тритон» была успешно апробирована технология контейнерной виртуализации Docker для запуска одноузловых задач, требующих установки дополнительных библиотек, которые были недоступны в базовой операционной системе узлов.

Заключение

Разработка данного проекта позволит автоматизировать исследователям доступ к существующей коммуникационной и вычислительной среде и разработанным технологиям обработки интенсивных потоков экспериментальных данных, что приведет к повышению эффективности различных экспериментальных исследований.

Список литературы

1. The NIST Definition of Cloud Computing URL: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf> (дата обращения: 12.03.2016).
2. V. Shchapov, G. Masich, A. Masich, Platform for Parallel Processing of Intense Experimental Data Flow on Remote Supercomputers // *Procedia Computer Science*. Vol. 66. 2015. P. 515-524. ISSN 1877-0509. doi:10.1016/j.procs.2015.11.058.
3. G. Masich, V. Shchapov The software platform of transmission of intense data streams on remote supercomputers // *CEUR Workshop Proceedings (Proceedings of the 1st Russian Conference on Supercomputing (RuSCDays 2015), Moscow, Russia, September 28-29, 2015)*. Vol. 1482. 2015. P. 720-731.
4. D. Hildebrand, M. Eshel, R. Haskin, P. Kovatch, P. Andrews, J. White Deploying pNFS across the WAN: First Steps in HPC Grid Computing // *Proceedings of the 9th LCI International Conference on High-Performance Clustered Computing*. 2008.
5. Weikuan Yu, Rao N.S.V., Wyckoff P., Vetter J.S. Performance of RDMA-capable storage protocols on wide-area network//*Petascale Data Storage Workshop.2008.PDSW '08.3rd.2008.P.1-5*.
6. D. Schrager, F. Radulescu Efficient Algorithms for Fast Data Transfers Using Long and Large Pipes in WAN Networks // *19th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, Bucharest. 2013. P. 91-98. doi:10.1109/CSCS.2013.6.
7. Н.А. Балашов, и др. Облачный сервис ОИЯИ: статус и перспективы // *Труды Института системного программирования РАН*. М.: Изд-во Институт системного программирования РАН. – 2015. – №3. – Т. 27. – С. 345-353 (ISSN 2079-8156).
8. Степанов Р.А., Масич А.Г., Масич Г.Ф. Инициативный проект «Распределенный PIV» // *Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность: труды Всероссийской суперкомпьютерной конференции / М. Изд-во МГУ, 2009. – С. 360-363*.
9. M. G. McGrath, P. Raycroft, P. R. Brenner Intercloud Networks Performance Analysis // *IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E)*, Tempe, AZ. 2015. P. 487-492. doi:10.1109/IC2E.2015.85.
10. Масич А.Г., Масич Г.Ф. Инициатива GIGA UrB RAS // *Совместный вып. журн. «Вычислительные технологии» и журн. «Вестник КазНУ им. Аль-Фараби»*. Сер. «Математика, механика, информатика» №3 (58). По материалам Междунар. конф. «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании». - Казахстан, Алматы.-2008. –Т.13. – Ч. II. – С. 413-418 (ISSN 1560-7534).

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев
СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ
ПРОГРЕССИЙ

Ключевые слова: сумма членов арифметической прогрессии, суммы одностепенных положительных действительных чисел.

Получены формулы для расчета сумм произвольных одинаковых степеней действительных чисел с различными разностью и начальным числом. Приведены результаты для степеней от «1» до «5» и с разностью от «1» до «5». Рассмотрены приложения полученных результатов.

Б.В. Заятуев, Н.Н. Дондукова, Ю.Ю. Нефедов
О ЛОКАЛЬНО КОНФОРМНО-КЕЛЕРОВЫХ
СТРУКТУРАХ НА КАСАТЕЛЬНОМ РАССЛОЕНИИ

Ключевые слова: касательное расслоение, почти эрмитова структура, келерова структура.

В данной статье мы изучаем касательное расслоение над римановым многообразием, снабженным почти эрмитовой структурой инвариантного типа [1]. Получены условия, при которых эта структура является локально конформно-келеровой структурой. Также изучено касательное расслоение над двумерным римановым ориентируемым многообразием.

Д.Ю. Иванов, Р.И. Дзержинский
БЕЗУСЛОВНАЯ РАВНОМЕРНАЯ КОРРЕКТНОСТЬ
КРАЕВЫХ ЗАДАЧ С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ
ПЕРВОГО И ВТОРОГО РОДА ДЛЯ АБСТРАКТНОГО
ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Ключевые слова: краевая задача, эллиптическое уравнение, параболическое уравнение, единственность, существование, устойчивость.

Доказана безусловная равномерная корректность краевых задач с граничными условиями первого и второго рода для векторного дифференциального уравнения второго порядка с операторным коэффициентом, порождающим эллиптический случай.

И.В. Кулешов О.Г. Москалёва
СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВЫХ
ШУМОВ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ключевые слова: протяженный объект, система дифференциальных уравнений, угловой шум, корреляция, радиолокация.

В работе сделан вывод о том, что шумы мерцаний имеют характерные всплески, обусловленные протяженным характером объекта и особенностями его движения, имеет место корреляция ЭПР (эффективной поверхности рассеивания) и шумов мерцания, кроме того законы распределения случайных величин носят негауссовский характер.

Э.С. Сибгатуллин, О.Г. Новоселов, К.Э. Сибгатуллин
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА
ПРОЧНОСТИ ОБЪЕМНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПРИ ТРЕХОСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Ключевые слова: массивные тела, изотропия, сложное сопротивление, коэффициент запаса прочности, пространство сил и моментов.

Рассматриваются объемные конечные элементы (ОКЭ) в форме прямоугольных призм. В общем случае сложного сопротивления ОКЭ отличны от нуля все 18 внутренних силовых факторов (ВСФ) – девять сил и девять моментов. Материал ОКЭ – изотропный, по-разному сопротивляющийся растяжению и сжатию. Принято, что значения ВСФ известны из решения соответствующей

V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev
THE SUM OF THE GENERALIZED ARITHMETIC
PROGRESSIONS

Keywords: the sum of members of an arithmetic progression, the sum the same degrees positive real numbers.

The formulas to calculate sums of the same degree arbitrary real numbers with difference and different initial number. The results for the degrees from "1" to "5" and the difference from "1" to "5". Considered applications of the obtained results.

B.V. Zayatyuev, N.N. Dondukova, Y.Y. Nefjodov
ON THE LOCAL CONFORMAL KEHLERIAN
STRUCRURES ON A TANGENT BUNDLE

Keywords: tangle bundle, almost Hermitian structures, Kahlerian structures.

In this article we consider a tangent bundle over Riemann manifold with invariant almost Hermitian structures [1]. We found conditions under which such structure becomes local conformal Kahlerian one. Also we studied tangent bundles over two-dimensional Riemann oriented manifold.

D.Yu. Ivanov, R.I. Dzerzhinskij
UNCONDITIONAL UNIFORM CORRECTNESS OF
BOUNDARY-VALUE PROBLEMS WITH BOUNDARY
CONDITIONS OF FIRST AND SECOND KIND FOR THE
ABSTRACT ELLIPTIC EQUATION

Keywords: boundary value problem, elliptic equation, parabolic equation, uniqueness, existence, stability.

Proven unconditional uniform correctness of boundary-value problems with boundary conditions of first and second kind for the vector differential equation of second order with operator coefficient, generating elliptic case.

I.V. Kuleshov, O.G. Moskalyova
STATISTICAL SIMULATION OF ANGULAR NOISE
EXTENDED OBJECTS

Keywords: extended object, the system of differential equations, the angular noise correlation radar.

In the work on the basis of the solution of differential equations system for processing the signals reflected from extended objects, it was concluded that flicker noises have a characteristic bursts due to the extended object nature and the peculiarities of its motion, there is a correlation between effective surface scattering and flicker noise, besides the laws of random variables distribution are non-Gaussian.

E.S. Sibgatullin, O.G. Novoselov, K.E. Sibgatullin
DEFINITION OF SAFETY FACTOR VOLUMETRIC
FINITE ELEMENTS UNDER TRIAXIAL STRESS STATE

Keywords: massive body, isotropy, complex resistance, factor of safety, space forces and moments.

Volumetric finite elements (VFE) considered in the form of rectangular prisms. In general, the complex impedance nonzero all 18 internal power factors (IPF) - nine forces and nine points. Material (VFE) - isotropic, different resistance to tension and compression. It is assumed that the values of (IPF) are known from the solution of the corresponding problems of mechanics of deformable solids. Safety factor is determined by correlating a known vector (IPF) \vec{R}^ with a corresponding*

задачи механики деформируемого твердого тела. Коэффициент запаса прочности ОКЭ определяется путем сопоставления известного вектора ВСФ \vec{R}^* с соответствующим искомым вектором прочности \vec{R} в пространстве ВСФ.

desired strength vector \vec{R} in space (IPF).

В.Л. Усольцев

О РЕШЕТКАХ КОНГРУЭНЦИЙ АЛГЕБР С ОДНИМ ОПЕРАТОРОМ И ОСНОВНОЙ ОПЕРАЦИЕЙ ПОЧТИ ЕДИНОГЛАСИЯ

Ключевые слова: алгебра с операторами, решетка конгруэнций, простая алгебра, операция почти единогласия. Описаны простые алгебры в классе алгебр с одним оператором и основной операцией почти единогласия, заданной специальным образом. Получены необходимые и достаточные условия совпадения решеток конгруэнций алгебр из данного класса и унарных редуктов этих алгебр.

V.L. Usoltsev

ON CONGRUENCE LATTICES OF ALGEBRAS WITH ONE OPERATOR AND BASIC NEAR-UNANIMITY OPERATION

Keywords: algebra with operators, congruence lattice, simple algebra, near-unanimity operation. Simple algebras in the class of algebras with one operator and basic near-unanimity operation of special type are described. Necessary and sufficient conditions for coincidence of congruence lattices of algebras from given class and of their unary reducts are obtained.

Е.В. Волосова, Е.В. Пашкова, А.Н. Шипуля, Ю.А. Безгина
ИССЛЕДОВАНИЕ БИОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ХИМИЧЕСКИ ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ В ИХ СТРУКТУРУ ФЕРМЕНТАМИ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Ключевые слова: биополимерные материалы, химическая иммобилизация, активность. В работе представлены результаты изучения процессов химической иммобилизации протеолитических ферментов на примере трипсина в структуру биополимерных материалов и возможности определения удельной активности физико-химическими методами.

E.V. Volosova, E.V. Pashkova, A.N. Shipulya, Yu.A. Bezgina
STUDY BIOPOLYMER MATERIALS WITH CHEMICALLY IMMOBILIZED IN THE ENZYME STRUCTURE THEIR OPTICAL METHODS

Keywords: biopolymer materials, chemical immobilization, activity. The results of the study of the chemical processes of immobilization of proteolytic enzymes trypsin example in the structure of the biopolymer materials and the possibility of determining the specific activity of physical and chemical methods.

И.В. Макарова, А.И. Легаев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТУПЕНЧАТОЙ ЭКСТРАКЦИИ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ Na-КМЦ
Ключевые слова: карбоксиметилцеллюлоза, математическая модель, экстракция, изопропиловый спирт.

Данная статья посвящена математическому описанию процесса экстракции примесей из технической Na-КМЦ. Разработана математическая модель процесса экстракции примесей из технической Na-КМЦ. Приведенная модель позволяет с учетом основных закономерностей процесса выбрать оптимальные технологические режимы получения очищенной Na-КМЦ.

I.V. Makarova, A.I. Legaev

MATHEMATICAL FORMULATION OF THE STEPWISE EXTRACTION OF IMPURITIES FROM THE TECHNICAL Na-CMC

Keywords: carboxymethylcellulose, mathematical model, extraction, isopropanol. This article is devoted to the mathematical formulation of the extraction of impurities from the technical Na-CMC. The mathematical model of developed the extraction process of impurities from the technical Na-CMC. The equation model enables taking into account the basic regularities of the process to choose the optimal technological modes for producing purified Na-CMC.

Е.В. Пашкова, Е.В. Волосова, А.Н. Шипуля, Ю.А. Безгина
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ ГАЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Ключевые слова: электрохимически активированная вода, каталаза, ферментативная активность, озимая пшеница. В работе представлены результаты исследования влияния щелочной фракции электрохимически активированной воды на ферментативную активность каталазы семян озимой пшеницы химическим методом анализа и определении кинетических параметров ферментативной реакции.

E.V. Pashkova, E.V. Volosova, A.N. Shipulya, Yu.A. Bezgina
RESEARCH OF INFLUENCE OF ELECTROCHEMICAL ACTIVATED WATER ON ENZYMATIC ACTIVITY OF THE CATALASE BY THE GAS-METRIC METHOD

Keywords: electrochemical activated water, catalase, enzymatic activity, winter wheat. In work results of research of influence of alkaline fraction of electrochemical activated water on enzymatic activity of a catalase of seeds of winter wheat by a chemical method of the analysis and determination of kinetic parameters of enzymatic reaction are presented.

В.В. Хасанов, Р.Д. Ульбашева, Л.Г. Гринева
КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И РАСТВОРИМОСТЬ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ РАСТВОРИТЕЛЬ-ОКСИД

Ключевые слова: феррит, оксидные соединения, электронная плотность, относительная стабильность, кислотность, основность.

Работа посвящена исследованию кислотно-основных взаимодействий в оксидных расплавах, параметрами оценки кислотно-основных свойств выбраны ранее не использовавшиеся для этих целей величины средней электронной плотности и относительной стабильности

V.V. Khasanov, R.D. Ulbasheva, L.G. Grinyova
THE ACID-BASE PROPERTIES AND SOLUBILITY OF COMPONENTS OF SYSTEMS SOLVENT-OXIDE

Keywords: ferrite, oxide connections, electronic density, relative stability, acidity, basicity. Work is devoted research of the acid-base interactions in oxide melts, where as parameters of an estimation of the acid-base of properties choose the values which earlier were not used for these purposes: average electronic density and relative stability of compounds. It is established that solubility of ferrite raises with growth of acidity of components of systems solvent-oxide. It is shown interrelation of thermodynamic and the acid-

соединений. Установлено, что растворимость ферритов повышается с ростом кислотности компонентов систем растворитель-оксид. Показано взаимосвязь термодинамических и кислотно-основных характеристик оксидных соединений

Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОДАЧИ ЗАГОТОВКИ В ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Ключевые слова: гидروпривод для подачи стола станка, автоматический регулятор расхода рабочей жидкости, математическое моделирование динамики, устойчивость работы.

Разработана принципиальная схема гидропривода с автоматическим регулятором скорости подачи шлифовального станка. Регулирование скорости осуществляется за счёт изменения частоты вращения вала электродвигателя насоса. Проведено математическое моделирование динамики и получены условия устойчивости работы гидропривода.

А.П. Буйносов, В.А. Тихонов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ БАНДАЖЕЙ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, триботехнический состав, тормозная колодка, конструкция, изменение.

В статье приводятся результаты моделирования электровозной гребневой тормозной колодки с измененной конструкцией для повышения эффективности обработки бандажей колесных пар тягового подвижного состава триботехническим составом.

А.П. Буйносов, И.В. Умылин

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ

Ключевые слова: машиностроение, пара трения, триботехнический состав, износостойкость, формирование покрытия, применение.

В статье рассматриваются различные марки триботехнических составов, возможность их использования в машиностроении для снижения интенсивности процесса изнашивания тяжело нагруженных пар трения, процесс формирования износостойкого покрытия на детали после их применения.

А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭКИПАЖНОЙ ЭЛЕКТРОВОЗА

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, электровоз, экипажная часть, компьютерная модель, создание, принципы.

В статье приводятся теоретическое обоснование и основные принципы создания компьютерной математической модели экипажной части электровоза железнодорожного транспорта.

Т.Н. Охлопков, Н.В. Петров, Е.Е. Анисимов, А.И. Борисов, Д.В. Андреев, И.Н. Ушницкий

ДВОЙНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ ВЕТРОВЫХ СТЕКОЛ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Ключевые слова: фактор, ветровое стекло, видимость, обзорность, комфорт, микроклимат.

В статье предложен способ повышения комфортности транспортных средств эксплуатируемых в зимних условиях путем двойного остекления ветровых стекол транспортных средств. При эксплуатации транспортных

base characteristics of oxide compounds.

F.D. Bairamov, B.F. Bairamov

AUTOMATIC REGULATION OF FEED SPEED OF THE WORKPIECE IN GRINDING MACHINES

Keywords: hydraulic drive for feeding the machine table, automatic flow regulator of the working fluid, mathematical modeling of the dynamics, work stability.

The principal scheme of the hydraulic drive with automatic speed regulation feed table of the grinding machine is developed. Speed regulation is carried by changing the rotation frequency of electric engine's shaft of the pump. Mathematical modeling of the dynamics is done and conditions of hydraulic drive's stability are obtained.

A.P. Buinosov V.A. Tikhonov

INCREASE OF EFFICIENCY OF PROCESSING OF BANDAGES BY TRIBOTECHNICAL STRUCTURE DUE TO CHANGE OF THE DESIGN OF THE BRAKE SHOE

Keywords: electric locomotive, wheel pair, bandage, tribotechnical structure, brake shoe, design, change.

Results of modeling of an elektrovoznaya grebnyaya brake shoe with the changed design for increases of efficiency of processing of bandages of wheel pairs of a traction rolling stock by tribotechnical structure are given in article.

A.P. Buinosov, I.V. Umylin

TRIBOTECHNICAL STRUCTURES, THEIR APPLICATION FOR INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF FRICTION PAIRS

Keywords: mechanical engineering, friction pair, tribotechnical composition, abrasion resistance, the formation of a coating application.

In article different brands of tribotechnical structures, a possibility of their use in mechanical engineering for decrease in intensity of process of wear of heavy-duty friction pairs, process of formation of an anti wear coating on a detail after their application, in particular on crests of bandages of wheel pairs are considered.

A.P. Buinosov, N.G. Fetisova

BASIC PRINCIPLES OF CREATION OF COMPUTER MODEL VEHICULAR ELECTRIC LOCOMOTIVE

Keywords: railway transport, electric locomotive, vehicular part, computer model, creation, principles.

Theoretical justification and the basic principles of creation of computer mathematical model of vehicular part of an electric locomotive of railway transport are given in article.

T.N. Okhlopov, N.V. Petrov, E.E. Anisimov, A.I. Borisov, D.V. Andreyev, I.N. Ushnitsky

DOUBLE GLAZING OF WINDSHIELDS OF VEHICLES

Keywords: factor, windshield, visibility, visibility, comfort, microclimate.

In article the way of increase of comfort of vehicles of the windshields of vehicles operated in winter conditions by a double glazing is offered. At operation of vehicles during the winter period where temperature of air fluctuates on average from -30 to -55 degrees Celsius on the example of Yakutsk of

средств в зимний период, где температура окружающего воздуха колеблется в среднем от -30 до -55 градусов по Цельсию на примере г. Якутска Республики Саха (Якутия) комфорт существенно снижается.

А.П. Сергиев, А.В. Журавлев, А.В. Макаров, В.С. Долгих
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ
ВИБРАЦИОННОЙ АБРАЗИВНОЙ МАШИНЫ НА
ДИНАМИКУ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: математическая модель, гранулированная среда, оптимизация, виброабразивная обработка, упруго-вязкие среды, волны сжатия-растяжения.

В статье приведен хронологический анализ математических моделей взаимодействия гранулированной сыпучей среды с вибрирующим основанием. Теоретически и экспериментально подтверждено формирование волн сжатия-растяжения и указаны направления оптимизации и стабилизации устойчивости амплитудно-частотных характеристик волн сжатия-растяжения.

А.С. Грибанов, А.Г. Ефимов, И.В. Нелин
ПОСАДКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ
ОТСУТСТВИИ ВИДИМОСТИ

Ключевые слова: летательный аппарат; точность измерения высоты; автоматическая посадка ЛА.

Посадка летательного аппарата (ЛА) - один из самых сложных этапов полёта, так как при уменьшении высоты (в критических ситуациях) требуется высокая скорость принятия решения, что доступно только безинерционным системам автоматического управления. Несмотря на внедрения новых технологических решений в авиационную технику и в системы управления воздушным движением, случаи посадки летательного аппарата без участия оператора единичны. С другой стороны возможности оператора ограничены в условиях ограниченной видимости. Применение приборов измерения высоты на малых дальностях ограничено в связи с высокой погрешностью измерения. Поэтому решение задачи измерения высоты полета летательного аппарата на малых и сверхмалых высотах при заходе на посадку и исследование методов измерения расстояний на малых дальностях и в отсутствии видимости является актуальной.

Х.М. Гукетлов, Л.Т. Карданов, Ш.М. Сурхайханов,
И.А. Хамукова
К ВОПРОСУ УЧЕТА РЕСУРСОВ СВЕТОВОГО КЛИМАТА
ГОРОДА НАЛЬЧИКА

Ключевые слова: количество освещения, наружная естественная освещенность, коэффициента светового климата, прямая освещенность от Солнца, вероятность солнечного сияния.

В статье приводится алгоритм расчета количества горизонтальной наружной естественной освещенности при ясном и облачном небе МКО в годовом цикле, который был реализован на ЭВМ. Для учета реальной картины облачности были также проведены фотометрические наблюдения наружной естественной освещенности в годовом цикле в г.Нальчике. Сопоставление данных количества естественной освещенности, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований, позволили скорректировать коэффициент светового климата для города Нальчика.

В.П. Друзыанова, А.В. Спиридонова, М.Я. Рожина
ПИРОЛИЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В АВТОТРАНСПОРТНОЙ
ОТРАСЛИ ЯКУТИИ

Ключевые слова: автомобильный транспорт, переработка отходов, автомобильные покрышки, захоронение, пиролизная технология, топливо.

В работе представлены результаты исследований по

the Republic of Sakha (Yakutia) the comfort significantly decreases.

A.P. Sergiev, A.V. Zhuravlev, A.V. Makarov, V.S. Dolgich
THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL VIBRATION
ABRASIVE MACHINE DOWNLOAD ON THE DYNAMICS
OF VIBRATIONAL SYSTEM

Keywords: mathematical model, granular medium, optimization, vibro-abrazive processing, visco-elastic medium wave compression-stretching.

The article gives a chronological analysis of mathematical models of interaction between the granular substance and a vibrating base. The formation of waves of compression-tension is theoretically and experimentally confirmed and the direction of optimization and stabilization of amplitude-frequency characteristics of compression waves is identified.

A.S. Gribanov, A.G. Efimov, I.V. Nelin
AIRCRAFT LANDING IN THE ABSENCE OF VISIBILITY

Keywords: aircraft; precision altimetry; automatic aircraft landing.

Aircraft landing - one of the most difficult stages of the flight, as with a decrease in the height (in critical situations) require high speed of decision-making that is only available without inertia systems of automatic control. Despite the introduction of new technological solutions in aviation technology and air traffic control systems, aircraft landing cases without the participation of the operator is unique. On the other hand the operator opportunities are limited in the conditions of limited visibility. Application of height measurement instruments on small distances is limited due to the high errors of the measurement. Therefore, the solution of the problem of altitude measurement of the aircraft at low and ultra-low altitude during the approach and research of methods for measuring distances at short distances and the lack of visibility is relevant.

H.M. Guketlov, L.T. Kardanov, Sh.M. Surhayhanov,
I.A. Hamukova
ON THE QUESTION OF TAKING INTO ACCOUNT THE
RESOURCES OF THE CITY OF NALCHIK LIGHT
CLIMATE

Keywords: number of lighting, outdoor natural light, a light factor climate, direct light from the sun, the probability of sunshine.

The article provides an algorithm for calculating the number of horizontal outdoor natural light under a clear sky and cloud ICE, in an annual cycle, which was implemented on a computer. To account for the real picture of the clouds were also carried out photometric observations of the outside natural light in the annual cycle in Nalchik. A comparison of the amount of natural light received as a result of theoretical and experimental studies have allowed to adjust the ratio of the light environment for the city of Nalchik.

V.P. Druzyanova, A.V. Spiridonova, M.I. Rozhina
PYROLYSIS TECHNOLOGY IN THE TRUCKING
INDUSTRY YAKUTIA

Keywords: road transport, recycling, tires, burial, pyrolysis technology, fuel.

The paper presents the results of research to study the possibility of using pyrolysis technology of recycling of tires in

изучению возможности применения пиролизной технологии утилизации автомобильных шин в условиях Республики Саха (Якутия). С каждым годом количество автомобильного транспорта в Якутии увеличивается. Одновременно возрастает и накапливается объем отработанных автомобильных шин, наносящих значительный негативный ущерб экологии Севера и требующих кардинальных изменений в вопросе их эколого-энергосберегающей утилизации.

Л.Т. Карданов, Х.М. Гукетлов, М.И. Бжахов,
И.И. Афашоков, И.А. Хамукова

ВЕКТОРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕНОСА СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ОСВЕЩЕНИИ

Ключевые слова: световое поле, вектор телесного угла, проекция вектора телесного угла, световой центр фонаря, вектор плоского угла.

Оценка пространственной плотности и переноса световой энергии в различных точках помещения при равномерном небосводе основана на теории светового поля разработанной проф. А.А. Гершуном. В статье для помещений с комбинированным освещением вычислены направление и абсолютное значение вектора, в долях наружной горизонтальной освещенности, с использованием понятия вектора телесного угла. Это позволяет полнее оценить вопросы освещения архитектурных пространств.

Р.Ш. Мисбахов

ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ПУТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: Система мониторинга, пассивные оптические сети, рефлектометрия, длина волны.

В работе представлены результаты анализа построения систем мониторинга пассивных оптических сетей с использованием различных методов для локализации места повреждения.

В.А. Скуратов, И.В. Нелин

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС БРЛ-2.2 ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ, ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ МАЛЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

Ключевые слова: копланарная линия, бесконтактный датчик на основе копланарной линии, бесконтактная регистрация двигательной активности, дыхания и сердцебиения малых лабораторных животных.

В работе представлено описание аппаратно-программного комплекса БРЛ-2.2, позволяющего неинвазивно и бесконтактно регистрировать двигательную активность, дыхание и сердцебиение малых лабораторных животных. Для бесконтактной регистрации вышеперечисленных параметров применяются электромагнитные датчики собственной разработки на основе копланарной линии.

А.В. Федотов, П.С. Иванов

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОИСКА ТИПОВОГО ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ «ОПЕРАТОР – ПРИБОР НАБЛЮДЕНИЯ»

Ключевые слова: вероятность обнаружения, интенсивность поиска, оптико-электронный прибор, оператор, типовой объект.

В работе представлено формализованное описание поиска информационного объекта при использовании по назначению оптико-электронного прибора с учетом пространственно-временного фактора и информационных характеристик зрительного анализатора оператора. Представлены алгоритмы определения время поиска по экспоненциальному и треугольному законам распределения.

the Republic of Sakha (Yakutia) . Every year the number of road transport in Yakutia increases. At the same time increases and the accumulated amount of waste tires that cause significant adverse damage to ecology of the North and require fundamental changes in the issue of ecological and energy-saving recycling.

L.T. Kardanov, H.M. Guketlov, M.I. Bzhahov, I.I. Afashokov,
I.A. Hamukova

VECTOR REPRESENTATION OF THE TRANSFER OF LIGHT ENERGY IN THE COMBINED LIGHT

Keywords: light field vector of the solid angle projection of the solid angle of the light center of the lamp, vector plane angle.

Evaluation of spatial density and the transfer of light energy at different points in the room when ravnoyarkom sky based on the light field theory developed by prof. AA Gershun. In an article for buildings with a combined coverage calculated direction and the absolute value of the vector, as a fraction of the outer horizontal illumination, using the concept of the solid angle of the vector. This allows you to fully appreciate the issues lighting architectural spaces.

R.SH. Misbakhov

FINDING EFFECTIVE WAYS DESIGN OF MONITORING PASSIVE OPTICAL NETWORKS

Keywords: monitoring system, passive optical networks, OTDR wavelength.

The results of the analysis of the construction of passive optical network monitoring systems using a variety of methods for fault location.

V.A. Skuratov, I.V. Nelin

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX BRL-2.2 TO MONITOR MOTOR ACTIVITY, BREATHING AND HEARTBEAT OF SMALL LABORATORY ANIMALS

Keywords: coplanar line, non-contact sensor based on a coplanar line, non-contact registration of motor activity, breathing and heartbeat of small laboratory animals.

In this paper describes the hardware- software BRL-2.2, allowing noninvasive and non-contact record motor activity, breathing and heartbeat of small laboratory animals. For registration of the above parameters non-contact electromagnetic sensors own development are used on the basis of proprietary coplanar line.

A.V. Fedotov, P.S. Ivanov

FORMALIZATION OF THE MODEL OF THE SEARCH OBJECT IN THE SYSTEM "OPERATOR – DEVICE MONITORING"

Keywords: probability of detection, the intensity of the search, optoelectronic device, the operator, the model object

The paper presents the formalized description of the search information of the object by the use of opto-electronic device with regard to spatial-temporal factors and information characteristics of the visual analyzer of the operator. Presents algorithms for determining the search time by an exponential and triangular distribution.

В.Н. Хмелев, М.В. Хмелев, С.Н. Цыганок, В.А. Шакура,
Ю.М. Кузовников

**ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС
ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ ОТ ЗАУСЕНЦЕВ**

Ключевые слова: ультразвуковая очистка, кавитация,
снятие заусенцев, заусенцы.

Статья посвящена исследованию ультразвукового кавитационного воздействия на процесс очистки деталей от заусенцев в труднодоступных местах с использованием различных сред, в том числе абразивной суспензии и химически активных сред.

V.N. Khmelev, M.V. Khmelev, S.N. Ciganok, V.A. Shakura,
Yu.M. Kuzovnikov

**RESEARCH OF DETAILS CLEANING FROM BURRS BY
ULTRASONIC CAVITATION EFFECTS**

Keywords: Ultrasonic cleaning, cavitation, deburring, burrs. The article is devoted to the ultrasonic cavitation effects on the process of details burrs cleaning in hard to reach places, using a variety of media, including abrasive slurry and reactive environments.

И.А. Акимов, Е.О. Каракулина
**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ ВТОРОГО ЭТАПА ПРОИЗВОДСТВА
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ
ШОЛЬЦА**

Ключевые слова: композиционные материалы, метод изотермических поверхностей многослойная конструкция, полимеризация, установка Шольца, фазовый переход.

В данной работе представлены результаты изучения теплопередачи в многослойных изделиях с различными коэффициентами теплопроводности на этапе полимеризации композиционных материалов в установках Шольца.

I.A. Akimov, E.O. Karakulina
**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL
MODELS OF THE SECOND STAGE OF THE
PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS IN THE
INSTALLATION SCHOLZ**

Keywords: composite materials, the method of isothermal surface of the multilayer structure, polymerization, installation Scholz, the phase transition.

This paper presents the results of a study of heat transfer in multilayer products with different coefficients of thermal conductivity at the stage of polymerization of composite materials in plants Scholz.

И.З. Ахметзянов, В.С. Каримов
**ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ ПОЛНОГО ПОРЯДКА
ПРИ СИНТЕЗЕ КВАЗИАДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ ПО ВЫХОДУ**

Ключевые слова: объект с запаздываниями по выходу,
технология вложения систем, эталонная модель,
квазиадаптивная система.

Было найдено аналитическое решение задачи синтеза квазиадаптивной системы автоматического управления с эталонной моделью для многосвязного объекта с запаздываниями по выходу на основе технологии вложения систем. Наблюдатель полного порядка применялся для воспроизведения вектора состояния объекта. Получено множество решений задачи синтеза с условиями существования этих решений.

I.Z. Ahmetzyanov, V.S. Karimov
**APPLICATION OF FULL ORDER OBSERVER IN THE
SYNTHESIS OF QUASIADAPTIVE CONTROL SYSTEMS
WITH DELAYS ON THE OUTPUT**

Keywords: plant with delays on output, embedded technology systems, reference model, quasiadaptive system.

It was proposed an analytical solution to the problem of design of quasiadaptive automatic control system with a reference model for multivariable controlled plant with time delays on the output vector on basis of system embedding technology. The observer of a full order was applied to reproduction of a state vector of plant. Were calculated the algebraically expressions, which to determine solution set of problem design and existence conditions this solution.

Т.А. Деменкова, Д.Д. Яровов
**АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ ИХ АДАПТАЦИИ ДЛЯ
АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ**

Ключевые слова: алгоритмы цифровой обработки информации, радиолокационные системы, программируемые логические интегральные схемы.

В работе рассматривается проблема эффективных методов реализации алгоритмов цифровой обработки на основе современной элементной базы. В ходе работы был проведен анализ существующих стандартных решений цифровых фильтров. Разработаны методы адаптации алгоритма для аппаратной реализации на программируемых логических интегральных схемах. Реализована методика оценки производительности в заданных условиях.

T.A. Demenkova, D.D. Yarovov
**ALGORITHMS AND ADAPTATION METHODS FOR
HARDWARE IMPLEMENTATION**

Keywords: digital data processing algorithms, radar systems, programmable logic device.

The paper considers the problem of effective implementation methods of digital signal processing algorithms using the basis of modern element base. In the course of work there was an analysis of existing standard solutions of digital filters. The methods of adaptation algorithms for hardware implementation in programmable logic integrated circuits have been developed. Performance evaluation method implemented in the given conditions.

А.А. Денисевич, Е.В. Ефремов, М.И. Грачев
**РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
КАЛЬЦИТОАНГИДРИТА**

Ключевые слова: автоматизация, управление,
кальцитангидрит, серная кислота, известняк.

Работа посвящена разработке функциональной схемы автоматизации процесса получения кальцитангидрита. В работе описан метод нейтрализации концентрированной серной кислоты известняком посредством получения безводного твердого сульфата кальция, который будет применяться в технологических процессах производства металлургической промышленности.

A.A. Denisevich, E.V. Efremov, M.I. Grachev
**DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL DIAGRAM OF
AUTOMATION OF PRODUCTION CALCITE
ANHYDRIDE**

Keywords: automation, control, calcite anhydrite, sulfuric acid, carbonate of lime

This work is dedicated to the development of the functional diagram of automation of production calcite anhydrite. The paper describes a method for neutralization of concentrated sulfuric acid by carbonate of lime to obtaining a solid anhydrous calcium sulfate, which is used in technological processes of production of metallurgical industry.

Д.В. Дроздов, Е.А. Солдатова
АУДИТ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ

Ключевые слова: Информационная безопасность, аудит, ИТ-структура.

В статье рассматриваются вопросы, связанных ИТ-инфраструктурой аудита информационной безопасности на предприятии. В ходе работы был определен, исследован и проанализирован аудит ИТ-инфраструктуры, а также рассмотрены проблемы, связанные с проведением аудита информационной безопасности на предприятии.

С.Н. Задворский, А.А. Силаев
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ГРУППОЙ СЕТЕВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ КОТЕЛЬНОЙ
СТАНЦИИ

Ключевые слова: автоматизация котельных станций, автоматическое управление группой сетевых насосов, регулирование давления в тепловой сети.

Работа посвящена исследованию систем управления сетевыми насосами для котельной станции. Выявлены основные недостатки существующих систем управления сетевыми насосами. Предложена система управления, которая позволяет устранить найденные недостатки. Проведен ряд экспериментов, показывающий эффективность предложенной системы управления.

В.Н. Зайцев, Т.В. Бурнышева
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТА КЛАУДЕРА К ЗАДАЧЕ
ПОДАВЛЕНИЯ ВОЛН-ПОМЕХ
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Ключевые слова: вейвлет, численное моделирование, разностные схемы.

Проведена оценка практической применимости вейвлета, построенного на основе сейсмического импульса, построена синтетическая сейсмограмма смоделированной геологической среды, получены оценки отношения сигнал/шум для разных семейств вейвлетов.

А.В. Ивашенко, Н.А. Горбаченко, С.Ю. Леднева,
Н.Л. Омерова
КОМПОНЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К
ПОСТРОЕНИЮ СИМУЛЯЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

Ключевые слова: архитектура, компонент, имитационное моделирование.

В статье описывается концепция разработки систем имитационного моделирования, основанная на реализации компонентно-ориентированного подхода к разработке программного обеспечения.

Ю.П. Киринов, В.В. Кирьянов
РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА
Ключевые слова: восстановление и вакуумная сепарация губчатого титана, условия неопределенности, интервальная модель динамики, настройки ПИ-регулятора, робастное управление.

В статье рассмотрены принципы построения робастной системы управления температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана, функционирующей в условиях неопределенности. Получена интервальная модель динамики процессов. С использованием модели определены робастные настройки ПИ-регулятора системы. Синтезирована система управления, обеспечивающая гарантированное качество регулирования температурного режима при изменении динамических параметров процессов в пределах известного интервала.

D.V. Drozdov, E.A. Soldatova
AUDIT IT-INFRASTRUCTURE

Keywords: Audit, information security, IT-infrastructure.

The article deals with questions related to IT-infrastructure, the information security audit in the enterprise. The work has been identified, investigated and analyzed the audit IT-infrastructure, as well as the problems related to the information security audit in the enterprise.

S.N. Zadvorskiy, A.A. Silaev
AUTOMATIC MANAGEMENT NETWORK GROUP
PUMPS FOR BOILER PLANT

Keywords: automation of boiler plants, automatic control of a group of network pumps, pressure control in heating network. Work is devoted to research of network pump control systems for the boiler plant. The basic shortcomings of the existing network pump control systems. A control system that eliminates the deficiencies found. A number of experiments showing the effectiveness of the proposed control system.

V.N. Zaytsev, T.N. Burnisheva
APPLICATION OF KLAUDER WAVELET TO PROBLEM
WAVE INTERFERENCE SUPPRESSION IN SEISMIC
WAVE SIGNAL

Keywords: wavelet, numerical modelling, finite difference scheme

Shown is evaluation of the practical application of wavelet constructed based on seismic impulse. Constructed synthetic seismogram of the simulated geological environment and obtained estimates of signal-to-noise ratio for different families of wavelets.

A.V. Ivaschenko, N.A. Gorbachenko, S.Yu. Ledneva,
N.L. Omerova

A COMPONENT ORIENTED APPROACH FOR
SIMULATION SOLUTIONS DEVELOPMENT

Keywords: architecture, component, simulation.

This paper describes a concept for simulation systems development based on component oriented software programming.

Y.P. Kirin, V.V. Kiryanov
ROBUST MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL
PROCESSES OF PRODUCTION OF THE SPONGY TITAN
Keywords: restoration and vacuum separation of the spongy titan, uncertainty conditions, interval model of dynamics, the PI-regulator settings, robust management.

In article the principles of creation of a robust control system of temperature condition of processes of restoration and vacuum separation of the spongy titan functioning in the conditions of uncertainty are considered. The interval model of dynamics of processes is given. With use of the model the robust PI-regulator settings of system are defined. The control system providing the guaranteed quality of regulation of temperature condition during changes of dynamic parameters of processes within the known interval is synthesized.

В.В. Киселев, С.Ф. Минацевич, В.Д. Володин,

А.А. Шаронов, Р.С. Решетов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ПОГРУЖНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ СРЕДСТВАМИ MATLAB/SYMULINK

Ключевые слова: погружная телеметрия, последовательность Баркера, Simulink, каротажный кабель, передача данных.

В работе представлены результаты моделирования системы передачи данных по каротажному кабелю посредством фазовой модуляции последовательности Баркера. Приводится модель системы погружной телеметрии с возможностью передачи данных от наземного блока в скважину и из скважины наземному блоку. Моделирование осуществлялось средствами пакета MATLAB/Simulink.

И.З. Краснов, Н.С. Цыганков

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ТРЕБУЕМОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Ключевые слова: компетентность, системный анализ, творческий потенциал, системный подход, эффективное управленческое решение, создание команды.

В данной работе авторами предлагается методика расчета уровня компетентности человека относительно требуемого вида деятельности. Представленная методика позволяет руководителю принять решение по распределению ресурсов между членами команды в соответствии с психологической предрасположенностью каждого к деятельности. В результате практического применения методики была выявлена основная область применения, которой являются организации, деятельность которых основана на информационных технологиях с целью выработки управленческого решения по формированию эффективных команд инновационной деятельности.

М.Д. Линденбаум, О.В. Игнатьева, Т.М. Линденбаум

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ЗАКОНЕ ГАУССА ПО КРИТЕРИЮ КОЛМОГОРОВА ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРАХ

Ключевые слова: статистическая гипотеза, распределение Колмогорова, алгоритм, статистическое моделирование, уровень значимости, мощность критерия.

Разработан алгоритм статистического моделирования распределения Колмогорова при неизвестных значениях параметров закона Гаусса. По большому объему реализаций программы моделирования показано, что проверка гипотезы о законе распределения без учета числа неизвестных параметров приводит к недопустимому увеличению значимости критерия и уменьшению его мощности. Рассчитано с достаточной точностью распределение критерия Колмогорова при двух неизвестных параметрах, позволяющее его широкое практическое использование.

Е.А. Мальш, Г.М. Водинчар

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ВИСТЛЕРОВ В СПЕКТРОГРАММАХ

Ключевые слова: вистлеры, распознавание образов, фильтрация импульсных помех.

Разработаны алгоритмы фильтрации атмосфериков и узкополосных шумов в ОНЧ-спектрограммах. Предложен алгоритм детектирования вистлера в спектрограмме, основанный на нелинейном преобразовании координат «время-частота» с целью выпрямления образа вистлера и последующем распознавании этой прямой. Тестирование алгоритма показало его пригодность для работы в системе реального времени.

V.V. Kiselev, S.F. Minatsevich, V.D. Volodin,

A.A. Sharonov, R.S. Reshetov

SIMULATION OF PROCESS OF DATA TRANSMISSION IN SYSTEM OF SUBMERSIBLE TELEMETRY MEANS OF MATLAB/SIMULINK

Keywords: submersible telemetry, Barker sequence, Simulink, logging cable, data transmission.

The article presents the results simulation of data transmission in logging cable by means of Barker sequence phase modulation. It describes the of submersible telemetry system with the possibility to transfer data from the terrestrial unit into the well and from the well to the terrestrial unit. The simulation was conducted by means of MATLAB/Simulink.

I.Z. Krasnov, N.S. Tsygankov

ALGORITHM FOR CALCULATING THE LEVEL OF COMPETENCE OF THE REQUIRED HUMAN ACTIVITIES

Keywords: competence, systems analysis, creativity, systems approach, efficient managerial decisions, team building.

In this paper, the author proposes a methodology for calculating the level of human competence with respect to the desired activity. The presented method allows the manager to make a decision on the allocation of resources among members of the team in accordance with the psychological predisposition to each activity. Main areas of application techniques are organizations whose activities are based on information technologies in order to develop management solutions for building effective teams innovation.

M.D. Lindenbaum, O.V. Ignateva, T.M. Lindenbaum

TEST THE HYPOTHESIS OF GAUSS'S LAW ON KOLMOGOROV IN THE UNKNOWN PARAMETERS

Keywords: statistical hypothesis, Kolmogorov distribution algorithm, statistical modeling, level of significance, test power.

The algorithm of statistical simulation of Kolmogorov distribution with unknown values of the parameters of Gauss' law. By and large volume modeling program implementation showed that the verification of the hypothesis about the distribution of the law without regard to the number of unknown parameters lead to an unacceptable increase in the significance test and a decrease in its capacity. Calculated with sufficient precision the distribution of Kolmogorov criterion when two unknown parameters, allowing its wide practical use.

E.A. Malysh, G.M. Vodinchar

PATTERN RECOGNITION ALGORITHM OF WHISTLER IN THE SPECTROGRAM

Keywords: whistlers, pattern recognition, filtering impulse noise.

Are developed filter algorithms of atmospheric and narrow-band noise in the VLF spectrogram. An algorithm is proposed for detecting whistlers in the spectrogram. He based on the nonlinear coordinate transformation "time-frequency" in order to straighten the image whistler and subsequent recognition of this line. Testing of the algorithm showed its suitability for real-time system.

О.А. Митина

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: развитие, информационное обеспечение, инновационное предпринимательство.

В настоящее время проделана значительная работа по созданию эффективных механизмов поддержки субъектов инновационного предпринимательства. Но данные инструменты зачастую представляют собой материальные системы поддержки, в то время как именно инновационные предприятия часто нуждаются в консультационных услугах по вопросам ведения бизнеса. В этих условиях одним из наиболее актуальных способов поддержки предприятий выступает информационное обеспечение их деятельности.

О.А. Митина

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ключевые слова: защита информации, высокотехнологичное оборудование, обеспечение, математические методы.

При создании реальных систем защиты информации от постороннего доступа, исследовании физических явлений или процессов, построении систем распознавания, идентификации и хранения информации с желаемыми характеристиками целесообразно провести их анализ и компьютерное моделирование путем создания математической модели. Такой подход требует значительно меньших временных и технических средств по сравнению с физическим экспериментом, особенно на предварительной стадии разработки, когда системы или разрабатываемого устройства еще не существует.

О.А. Митина

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ключевые слова: распределенное предприятие, предприятие, автоматизация управления, информационные технологии.

На современном уровне развития производственных процессов к системам автоматизации управления высокотехнологичным оборудованием в условиях систем распределенных предприятий предъявляются достаточно высокие требования. Кроме своей основной функции – контроля и управления технологическим процессом, система должна иметь возможность масштабирования и быть интегрированной в корпоративной сети обмена данными. Поэтому для решения этой задачи необходимо применять комплексный подход, который охватывает все уровни функционально-организационной структуры предприятия.

А.В. Мотова, Г.А. Гареева, Д.Р. Григорьева

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОНЪЮНКТУРЫ РЫНКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Ключевые слова: прогнозирование временных рядов, метод АРПСС, метод экспоненциального сглаживания, метод Винтерса.

В работе представлены результаты изучения объема погрузки нефти и нефтепродуктов за 2008-2015 годы и составлен прогноз на 2016 год. Федеральной службой государственной статистики проведено исследование показателей конъюнктуры рынка железнодорожных перевозок в Российской Федерации и представлены данные об объеме погрузки нефти и нефтепродуктов с января 2008 года по декабрь 2015 года. Прогнозирование объема погрузки нефти и нефтепродуктов на 2016 год проведено методами АРИМА (АРПСС) и экспоненциального сглаживания в пакете прикладных программ STATISTICA 6.0.

O.A. Mitina

DEVELOPMENT PROSPECTS FOR INFORMATION SUPPORT OF ENTERPRISE INNOVATION ACTIVITY

Keywords: development, information management, innovative entrepreneurship.

At the present time, considerable work has been done on the creation of effective support mechanisms for subjects of innovative entrepreneurship. But these tools often represent the financial assistance. While it is advice on business issues, that innovative companies often need. In these conditions one of the most important ways to assist the companies is to provide information support for their activities.

O.A. Mitina

PROTECTION OF INFORMATION SYSTEM OF REAL- TIME ENTERPRISES

Keywords: data protection, high-tech equipment, software, mathematical methods.

When you create a real protection of information systems against unauthorized access, the study of physical phenomena or processes, building systems of recognition, identification and information storage with the desired characteristics, it is advisable to carry out their analysis and computer simulation by creating a mathematical model developed. Such an approach requires much less time and hardware compared to a physical experiment, particularly in the pre-development stage, when the system or apparatus, there has developed.

O.A. Mitina

THE OPERATION OF INFORMATION SYSTEMS DISTRIBUTED ENTERPRISES

Keywords: distributed enterprises, enterprise management automation, information technology.

At the present level of development of production processes to the management of automation systems of high-tech equipment in a distributed enterprise systems imposed rather high demands. In addition to its primary function – control and process control system must be able to scale and be integrated into the corporate data network. Therefore, to solve this problem requires a comprehensive approach that covers all levels of functional organizational structure.

A.V. Motova, G.A. Gareeva, D.R. Grigoreva FORECASTING METHODS OF MARKET CONDITIONS IN RAIL TRANSPORTATION IN COMPARATIVE CHARACTERISTICS

Keywords: time series prediction, ARIMA; exponential smoothing, «Winters» forecasting method.

The results of the study of the volume of oil and oil products loading for 2008-2015, and the prognosis for 2016. Federal State Statistics Service conducted a study of market indicators in rail transport in the Russian Federation and provides data on the volume of oil and oil products loading from January 2008 to December 2015. Estimates of oil and oil products loading for 2016 conducted by methods ARIMA (ARIMA) and exponential smoothing in the package STATISTICA 6.0 application.

А.Ф. Няшин, К.А. Татосова
ОСОБЕННОСТИ КОНВЕКЦИИ МАРАНГОНИ В ТОНКОЙ
ПЛЕНКЕ РАСТВОРА

Ключевые слова: тонкая пленка, поверхностное натяжение, жидкость.

Рассмотрено термокапиллярное течение в тонкой пленке гомогенного раствора, обусловленное неравномерным нагревом свободной поверхности и изменением состава вследствие ухода летучей компоненты. Отмечены особенности уравнений тонкого слоя. Предложены способы описания движения жидкости.

В.Н. Осколков
МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-ОПЕРАТОРНОГО
ТЕРМИНАЛА С CAN- ШИНОЙ

Ключевые слова: CAN-шина, CAN-bus, автономное питание. Представлен вариант модернизации программно-операторного терминала управления контроллерами исполнительных устройств от персонального компьютера по CAN технологии с улучшенными параметрами: увеличение времени бесперебойного питания при его универсальности, увеличение памяти оперативного запоминающего устройства, увеличение рабочей частоты, модернизация программного обеспечения, повышение ударопрочности, пылезащитности, стойкости к внешней среде.

А.О. Очоа Бикэ, Д.А. Сериков
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИЙ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ К
МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
УРАНА

Ключевые слова: моделирование, кристаллизация, клеточные автоматы, уран, переработка.

Данная статья посвящена динамическому моделированию роста кристаллов гексагидрата нитрата уранила (ГНУ) методом клеточных автоматов в качестве альтернативы или дополнения методу экстракции, традиционно применяемому для переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Ожидается, что полученная на основе клеточных автоматов модель позволит спрогнозировать зависимость свойств конечного продукта от изменения входных параметров: концентраций урана и азотной кислоты, а также температуры раствора. Результатом данной работы является приложение на языке C++, которое позволяет отслеживать динамику изменений температуры раствора, концентрации урана в растворе, а также структуру кристаллов.

Т.В. Сазонова, О.И. Христовуло, А.В. Богданов
ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ
МНОГОМЕРНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С
ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ НА ОСНОВЕ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ И МЕТОДА
КВАЙНА-МАК-КЛАСКИ

Ключевые слова: нечеткая логика, многомерный регулятор, автоматизация, Trace Mode.

В работе представлены результаты изучения автоматизированной системы синтеза первоначальных логических структур antecedентов производственных правил МНРсИН на основе последовательностных уравнений с их последующей минимизацией методом Квайна-Мак-Класки

Е.А. Солдатова
СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АУДИТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
СИСТЕМ

Ключевые слова: Информационная безопасность, аудит, ИТ-инфраструктура.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с аудитом информационной безопасности на предприятии. В ходе работы был определен, исследован и проанализирован

A.F. Nyashin, K.A. Tatosova
FEATURES OF MARANGONI CONVECTION IN THIN
FILMS OF SOLUTION

Keywords: thin film, surface tension, liquid. Thermocapillary considered within the thin film in a homogeneous solution due to uneven heating of the free surface and the change in composition due care volatile components. The features of a thin layer equations. The ways of describing fluid motion.

V.N. Oskolkov
MODERNIZATION PROGRAM-OPERATOR TERMINAL
CAN BUS

Keywords: CAN-bus, battery power supply, RAM Presented the option of upgrading software and operator terminal controllers control actuators from a personal computer on CAN technology with improved parameters: the time increase power UPS in its universality, increase memory random access memory, increase the working frequencies, upgrade software, increase impact resistance, dust proofness, resistance to the external environment.

A.O. Ochoa Bique, D.A. Serikov
CELLULAR AUTOMATA APPLICATION FOR
SIMULATION OF URANIUM CRYSTALLIZATION
PROCESS

Keywords: mathematical model, crystallization, cellular automata, uranium, purification. The paper addresses the dynamic modelling of the UNH crystal growth by means of cellular automata (CA) method for nuclear fuel reprocessing as the alternative to traditionally used extraction method. Model-based CA approach is considered to predict dependence of product's properties on input changes: uranium and nitric acid concentration, solution temperature. Developed C++ application for crystal behavior prediction allows monitoring of dynamics changes of solution temperature, uranium concentration and crystal structure.

T.V. Sazonova, O.I. Khristodulo, A.V. Bogdanov
PROCESSING PRODUCTION RULES
MULTIDIMENSIONAL FUZZY CONTROLLER WITH THE
INTERVAL UNCERTAINTY ON THE BASIS OF
SEQUENTIAL EQUATIONS AND THE METHOD QUINE
MC-KLASKO

Keywords: fuzzy logic, multidimensional control, automated, Trace Mode.

The results of the study of an automated synthesis system of the original logical structures antecedents MNRsIN production rules based on sequential equations and their subsequent minimization method Quine Mc-KLASKO.

E.A. Soldatova
STRATEGIC INFORMATION SYSTEMS AUDIT

Keywords: Audit, information security, IT-infrastructure. The article deals with the issues related to information security audit in the enterprise. The work has been identified, studied and analyzed strategic audit, as well as the problems related to the information security audit in the enterprise.

стратегический аудит, а также рассмотрены проблемы, связанные с проведением аудита информационной безопасности на предприятии.

Т.Г. Сопельниченко, О.В. Егорова, Н.В. Ливенцова
ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО УЗЛА
ПРОИЗВОДСТВА ФТОРА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО
ТРЕНАЖЕРА

Ключевые слова: объектная модель, электролизный узел, компьютерный тренажер, программное обеспечение.

В работе представлена объектная модель электролизного узла производства фтора, разработанная для программного обеспечения (ПО) расчета математической модели узла, используемой в компьютерном тренажере. Объектная модель построена в виде иерархии классов объектов, реализующих необходимую функциональность программного обеспечения расчета модели узла.

А.А. Шакирова, Г.А. Гареева, Д.Р. Григорьева
СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ
ДИНАМИКИ РЫНКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
УСЛУГ

Ключевые слова: прогнозирование, временные ряды, Интернет, нейронные сети, экспоненциальное сглаживание. В статье проанализирована динамика изменения числа пользователей сети Интернет со стационарных компьютеров и ноутбуков в России за несколько лет. На основе анализа исходных данных построен прогноз тенденции развития российской интернет-аудитории с применением таких статистических методов прогнозирования как метод экспоненциального сглаживания и метод нейросетевого моделирования. Исследования проводились с использованием программного пакета STATISTICA 13. Сравнительный анализ результатов применения двух методов показал тенденцию роста числа пользователей сети Интернет с компьютеров и ноутбуков.

В.А. Щапов
АРХИТЕКТУРА СЕРВИСА ОБРАБОТКИ ИНТЕНСИВНЫХ
ПОТОКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА
СУПЕРКОМПЬЮТЕРЕ

Ключевые слова: суперкомпьютер, обработка потоков данных, распределенные системы, высокоскоростные сети, экспериментальная установка, облачные вычисления.

В работе представлена архитектура разрабатываемого в ИМСС УрО РАН сервиса обработки интенсивных потоков экспериментальных данных на суперкомпьютере. Работа направлена на создание вычислительной среды, позволяющей пользователям экспериментальных установок УрО РАН эффективно использовать существующие суперкомпьютерные и телекоммуникационные ресурсы для обработки интенсивных потоков данных. Отличительная особенность – использование модели прямой передачи данных (память-память) и лямбда-каналов оптической WDM сети между источниками данных и суперкомпьютерами, а также применение технологий виртуализации для запуска унифицированных расчетных задач. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-37-60043.

T.G. Sopelnichenko, O.V. Egorova, N.V. Liventsova
OBJECT MODEL OF THE FLUORINE PRODUCTION
ELECTROLYSIS CENTER FOR THE COMPUTER
SIMULATOR

Keywords: object model, electrolysis center, computer simulator, software

This paper presents the object model of the fluorine production electrolysis center for the calculation software of the center mathematical model using the computer simulator. It is constructed in the form of objects classes hierarchy realizing necessary functionality of the model calculation software.

A.A. Shakirova, G.A. Gareeva, D.R. Grigoreva
A STATISTICAL APPROACH TO FORECASTING OF
DYNAMICS OF THE TELECOMMUNICATIONS MARKET

Keywords: forecasting, time series, the Internet, neural networks, exponential smoothing.

The article analyzes the changes in the number of Internet users with desktops and laptops in Russia for several years. On the basis of the initial data the forecast of tendencies of development of the Russian Internet audience using statistical forecasting methods such as a method of exponential smoothing and neural network modeling method. The studies were conducted using the software package STATISTICA 13. Comparative analysis of the results of the application of the two methods showed a trend increase in the number of Internet users with computers and laptops.

V.A. Shchapov
ARCHITECTURE OF A SERVICE FOR PROCESSING
INTENSE EXPERIMENTAL DATA STREAMS ON A
SUPERCOMPUTER

Keywords: supercomputer, data stream processing, distributed systems, high-speed networks, experimental setup, cloud computing.

The paper presents the architecture of a service developed at the ICMM UB RAS for processing intense experimental data streams on a supercomputer. The goal is to create computing environment allowing the users of experimental setups placed at ICMM's facilities to effectively use the available supercomputer and telecommunication recourses for processing intense experimental data streams. The peculiar feature of the approach proposed is the use of a model for direct data transmission (memory to memory) and lambda channels of the optical WDM network between the data sources and supercomputers, as well as the application of virtualization techniques to execute unified computing tasks. This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 16-37-60043).

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№2 2016

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 19.04.2016 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

11 усл.печ.л. 12,5 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1984.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420111, Республика Татарстан, Казань,

ул. Университетская, д.22, оф. 310

Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя

Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»