

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№6 2017

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

2017

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №6 2017г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2017. – 244 с.

ISSN 2079-5920

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6

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, 2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Б.Н. Иванов, В.С. Желтухин, И.А. Гришанова, К.Г. Николаев, В.С. Минкин, Р.Х. Шагимуллин</i> МЕТОДОЛОГИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	10
---	----

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

<i>С.И. Абакумова, Н.Ю. Ботвинева, Н.П. Хариш</i> ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ОСНОВНОЙ ЕДИНИЦЫ ЧИСТО КУБИЧЕСКОГО ПОЛЯ	18
<i>А.Р. Абдуллаев, Е.А. Скачкова</i> О ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА	21
<i>И.Е. Еремин, Е.А. Подолько</i> МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АТОМНОГО КАРКАСА АХИРАЛЬНОЙ НАНОТРУБКИ	24
<i>А.С. Калитвин, В.А. Калитвин</i> О МАТРИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЯХ ВОЛЬТЕРРА С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ В КОМПЛЕКСНОЙ ОБЛАСТИ	28
<i>А.С. Калитвин, Н.И. Трусова</i> О СУЩЕСТВОВАНИИ И ЕДИНСТВЕННОСТИ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРА С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ	31
<i>А.Г. Мясников</i> О СИЛЬНО АМЕНАБЕЛЬНЫХ $L^1(G)$ МОДУЛЯХ	35
<i>М.П. Овчинцев</i> ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ КЛАССА ХАРДИ ПО ИХ ЗНАЧЕНИЯМ В ТОЧКАХ, ОБРАЗУЮЩИХ ПРАВИЛЬНЫЙ МНОГОУГОЛЬНИК	41
<i>К.М. Расулов</i> О КАРТИНЕ РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОРОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТИПА РИМАНА ДЛЯ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В ЕДИНИЧНОМ КРУГЕ	45
<i>Т.Н. Титова</i> КАНОНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ	50

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Г.Е. Бордина, Н.П. Лопина, Е.Г. Некрасова, Д.А. Бордин, В.И. Рогачевский</i> ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ	55
<i>Д.В. Ермолаев, Г.Р. Мингалеева, А.А. Галькеева, О.В. Афанасьева</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ	60
<i>Ж.Ю. Кочетова, Т.А. Кучменко, А.Ф. Сидоркин, А.А. Кравченко</i> ПЬЕЗОСЕНСОРНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЕГО ОТРАБОТКИ	64
<i>А.И. Пичугина</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ МИЛЛЕРИТА МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА	68
<i>Т.А. Роздяловская, А.Н. Чудинов</i> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ CaO В РАСПЛАВЕ $\text{CaCl}_2\text{--Na(K)Cl}$	71

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТВД АВИАЦИОННЫХ ГТД	75
<i>А.В. Агапов, Д.А. Боровиков, Е.Е. Данилина, А.В. Ионов, С.Д. Селиверстов</i> ОЦЕНКА ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	79

М.Е. Басинов, Е.В. Касумов, В.И. Митряйкин, В.А. Шувалов ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТОВ	83
А.П. Буйносов, И.В. Умылин О НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ	86
В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко, Э.А. Петровский, Н.А. Бухтоярова МОДЕЛИ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ	89
В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко, Е.А. Соловьёв, Э.А. Петровский ОБРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ	92
А.А. Вознесенская, А.В. Жданов, Д.А. Кочуев, В.В. Морозов ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОРОШКА НА ЭНЕРГИЮ ОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ СПЕКАНИИ	95
А.В. Джабаров, А.В. Ионов, Р.А. Куколин, И.А. Николаев ИЗНАШИВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ, ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ГТД	99
В.В. Ершов ВЕРИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА	105
А.В. Жданов, О.В. Федотов, В.В. Морозов ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ФАКТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ РЕЗЬБЫ РВМ	109
С.Б. Жилина ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДОКУМЕНТОПОТОКОВ	113
Р.Г. Куликов, Т.Г. Куликова, О.Ю. Сметанников ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ ПОЛИМЕРНОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЙ	116
М.Г. Маликов, И.В. Шинаков, Е.А. Новикова ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ	120
А.А. Морозенко, Д.В. Красовский МАТРИЦА ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	124
Н.В. Петров, Т.Н. Охлопков, И.Н. Ушницкий, К.В. Старостин, М.М. Евсеева, А.Р. Кондакова РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА БИОГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ С КОРРЕКТИРОВАНИЕМ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ	129
О.Ю. Сметанников, Г.В. Ильиных МНОГОУРОВНЕВОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНЕВЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ИНФУЗИИ	133
Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЯГИ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ	138
А.А. Швецова, П.Е. Киселёв, П.А. Шляпников РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОТГРУЗКИ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	142

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

<i>И.И. Воротынцева, В.Л. Кашинцева</i> АВТОФАЗНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СВЧ ЭНЕРГИИ	145
<i>К.А. Кузьмин, И.В. Нелин, В.А. Скуратов, В.В. Кирдяшкин</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ АНАЛИЗЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	149
<i>Г.М. Мучкаева, С.С. Манжиев, П.С. Хотамов, Б.О. Балтыков, К.К. Хамгаев, Н.Н. Левгеев, Д.В. Сангаджиев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ	152
<i>А.Р. Насыбуллин, Р.В. Фархутдинов</i> ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ КОАКСИАЛЬНОЙ БРЭГГОВСКОЙ СВЧ СТРУКТУРЫ	155
<i>И.В. Нелин, Д.А. Охотников</i> РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПОСТОРОННИХ В ДВИЖУЩЕМСЯ ТРАНСПОРТЕ	160
<i>И.В. Нелин, М.К. Седанкин, В.А. Скуратов</i> РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	164

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>И.К. Алайцев, Т.В. Данилова, А.О. Мантуров, Г.О. Мареев, О.В. Мареев</i> УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ПОЛОСТНЫХ ОПЕРАТИВНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ С ТАКТИЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	167
<i>И.А. Андреев, М.М. Калабишка, Е.А. Солдатова</i> МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ	170
<i>А.Д. Бондарева, Е.Н. Созинова, К.А. Фаязов</i> МОДЕЛЬ ЗАЩИЩАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ТИПА "УМНЫЙ ДОМ"	173
<i>Р.Р. Валиахметов, Р.Р. Зиятдинов, А.А. Шабаев</i> СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ИЛИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ	176
<i>Д.В. Веерпалу, А.В. Иващенко</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВОМ ОБЪЕКТОВ СЕТИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ	180
<i>А.П. Даденкова</i> ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ФАЙЛООБМЕННОЙ СЕТИ С ПРОТОКОЛОМ DHT	183
<i>Ю.П. Емельянова</i> МЕТОД ВЕКТОРНОЙ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА СЛАБОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДИСКРЕТНЫХ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ПРОЦЕССОВ	187
<i>С.В. Ерохин, С.В. Семенов, О.О. Рошка</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДНЫХ ДРОБНОГО ПОРЯДКА	190
<i>С.В. Ерохин, Л.Ю. Фриштер, В.Д. Петелина, Н.М. Чиганова</i> РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ	193
<i>В.А. Калитвин</i> О МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ	196
<i>И.Г. Кольцов, Е.Н. Чернопрудова</i> ТРИАНГУЛЯЦИЯ МНОГОУГОЛЬНИКОВ В ЗАДАЧЕ ТРЕХМЕРНОЙ НАВИГАЦИИ В МНОГОЭТАЖНЫХ КОРПУСАХ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ	200

<i>А.С. Коржавина, В.С. Князьков</i> МЕТОД РАСШИРЕНИЯ БАЗИСА СИСТЕМ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ СЧИСЛЕНИЯ СО СМЕШАННЫМИ ОСНОВАНИЯМИ	204
<i>С.И. Мельников</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НЕПРЕРЫВНОГО КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ	208
<i>А.С. Овдина, И.Е. Жигалов, М.И. Озерова</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЯВОК НА БАНКОВСКИЕ ГАРАНТИИ	211
<i>А.В. Павельчук, А.Г. Масловская</i> ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЖЕКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МОДИФИКАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ	214
<i>Е.В. Разова, Е.В. Котельников, А.В. Котельникова</i> ПРОЦЕДУРА ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗЫ О НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОЧНОЙ ЛЕКСИКИ В ВЕКТОРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ	217
<i>Е.Н. Созинова, М. Жакиш, В.В. Федотова</i> СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ СММ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	220
<i>В.М. Таланов, Д.С. Фомин, В.П. Атманзин</i> ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ MYSQL И MICROSOFT SQL SERVER НА ПРИМЕРЕ БАЗЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ	223
<i>А.А. Шабаетов, Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Валиахметов</i> КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ В БАЗЕ ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	227
АННОТАЦИИ	230

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>B.N. Ivanov, V.S. Zheltyhin, I.A. Grishanova, K.G. Nikolaev, V.S. Minkin, R.H. Shagimullin</i> METHODOLOGY OF RATIONAL TECHNOLOGIES OF RECEIVING ELECTRET MATERIALS	10
--	----

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

<i>S.I. Abakumova, N.Y. Botvineva, N.P. Kharish</i> APPROACHES TO BUILDING THE MAIN UNIT OF PURE CUBIC FIELD	18
<i>A.R. Abdullaev, E.A. Skachkova</i> ON THE PERIODIC BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE SECOND ORDER FUNCTIONAL-DIFFERENTIAL EQUATION	21
<i>I.E. Eremin, E.A. Podolko</i> MATHEMATICAL MODELS OF THE ATOMIC FRAME OF AN ACHIRAL NANOTUBE	24
<i>A.S. Kalitvin, V.A. Kalitvin</i> ON MATRIX VOLTERRA INTEGRAL EQUATIONS WITH PARTIAL INTEGRALS IN COMPLEX DOMAIN	28
<i>A.S. Kalitvin, N.I. Trusova</i> ON THE EXISTENCE AND UNIQUENESS OF SOLUTIONS FOR SYSTEMS OF VOLTERRA LINEAR EQUATIONS WITH PARTIAL INTEGRALS	31
<i>A.G. Myasnikov</i> ON STRONGLY AMENABLE $L^1(G)$ -MODULES	35
<i>M.P. Ovchintsev</i> OPTIMAL RECOVERY OF HARDY CLASS FUNCTIONS BY THEIR VALUES AT THE POINTS FORMING A REGULAR POLYGON	41
<i>K.M. Rasulov</i> ON THE PICTURE OF SOLVABILITY OF THE HOMOGENEOUS BOUNDARY VALUE PROBLEM OF RIEMANN TYPE FOR QUASIHARMONIC FUNCTIONS IN A UNIT CIRCLE	45
<i>T.N. Titova</i> ON CANONICAL TRANSFORMATIONS OF LINEAR HAMILTONIAN SYSTEMS	50

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

<i>G.E. Bordina, N.P. Lopina, I.I. Nekrasova, D.A. Bordin, V.I. Rogachevski</i> INFRARED SPECTROSCOPY OF PHARMACEUTICALS OF ACETYL SALICYLIC ACID	55
<i>D.V. Ermolaev, G.R. Mingaleeva, A.A. Galkeeva, O.V. Afanaseva</i> TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THERMOCHEMICAL PROCESSING OF NATURAL BITUMENS	60
<i>Zh.Yu. Kochetova, T.A. Kuchmenko, A.F. Sidorkin, A.A. Kravchenko</i> PIEZOSENSORY DETECTION OF CARBONIC ACIDS IN THE GAS MOTOR OIL PHASE FOR EXPRESS EVALUATION OF THE DEGREE OF ITS PROCESSING	64
<i>A.I. Pichugina</i> MODELLING OF PROCESS OF DISSOLUTION OF MILLERITE USING ROTATING DISC METHOD	68
<i>T.A. Rozdyalovskaya, A.N. Chudinov</i> PHYSICOCHEMICAL FOUNDATIONS FOR THE SYNTHESIS OF CALCIUM OXIDE IN MOLTEN CHLORIDES	71

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

<i>Abbavaram Revanth Reddy, V.G. Nesterenko</i> IMPROVEMENT OF THE COOLING SYSTEM OF MODERN HIGH-TEMPERATURE MATERIALS OF AVIATION GTE	75
<i>A.V. Agapov, D.A. Borovikov, A.V. Ionov, S.D. Seliverstov</i> ESTIMATION OF SMALL-SIZE GAS TURBINE ENGINE APPLICATION AREAS	79
<i>M.E. Basinov, E.V. Kasumov, V.I. Mitryaykin, V.A. Shuvalov</i> NUMERICAL MODELING IN INVESTIGATION OF VIBRATIONAL CHARACTERISTICS OF HELICOPTERS	83
<i>A.P. Buinosov, I.V. Umylin</i> THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC LOW VOLTAGE CIRCUITS OF ELECTRIC TRAINS	86
<i>V.V. Bukhtoyarov, V.S. Tynchenko, E.A. Petrovskiy, N.A. Bukhtoyarova</i> MODELS OF SITUATIONAL ANALYSIS FOR PROBLEMS OF PREDICTING THE DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATIONS	89

V.V. Bukhtoyarov, V.S. Tynchenko, E.A. Soloviev, E.A. Petrovskiy METHODS OF DATA ANALYSIS FOR PREDICTION SETTINGS TURBINE UNIT	92
A.A. Voznesenskaya, A.V. Zhdanov, D.A. Kochuev, V.V. Morozov INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE POWDER PARTICLE SURFACE MORPHOLOGY ON THE ENERGY OF INTERFERENCE IN SELECTIVE LASER SINTERING	95
A.V. Dzhabarov, A.V. Ionov, R.A. Kukolin, I.A. Nikolaev WEAR OF COMPOSITE CERAMIC MICROARC OXIDATION COATINGS FOR GTE EXTREME CONDITIONS	99
V.V. Ershov VERIFICATION OF ALGORITHMS OF SOUND SOURCE LOCALIZATION	105
A.V. Zhdanov, O.V. Fedotov, V.V. Morozov INFLUENCE OF MANUFACTURING ERRORS ON THE ACTUAL PROFILE OF THE ROLLER SCREW THREAD	109
S.B. Zhilina RESEACH AND STRUCTURAL ANALYSIS ON THE CHARACTERISTICS OF PRODUCTION DOCUMENTATION STREAMS	113
R.G. Kulikov, T.G. Kulikova, O.Yu. Smetannikov NUMERICAL ANALYSIS OF THE CRYSTALLIZED POLYMER MEDIA THERMOMECHANICAL BEHAVIOR TAKING INTO ACCOUNT LARGE STRAINS	116
M.G. Malikov, I.V. Shinakov, E.A. Novikova MEASUREMENT OF ACCELERATIONS IN ELEMENTS OF HIGH-SPEED TRIPS	120
A.A. Morozenko, D.V. Krasovskiy MATRIX OF INVESTMENT-CONSTRUCTION PROJECTS WITH ELEMENTS OF BUILDING PROGRAMMING	124
N.V. Petrov, T.N. Okhlopkov, I.N. Ushnitsky, K.V. Starostin, M.M. Evseeva, A.R. Kondakova RESULTS OF THE INVESTIGATION OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATING ON BIOGAS FUEL WITH ADJUSTMENT OF ENGINE ADJUSTING PARAMETERS	129
O.Yu. Smetannikov, G.V. Ilinykh MULTI-LEVEL MATHEMATICAL MODELING OF FILTRATION CHARACTERISTICS OF FABRIC COMPOSITES AT INFUSION	133
N.G. Fetisova, A.P. Buinosov OPTIMIZATION OF THE TRACTION SYSTEM OF LINEAR INDUCTION MOTOR TRAIN ON MAGNETIC LEVITATION	138
A.A. Shvetsova, P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF PLANING AND SHIPMENT OF PRODUCTS OF ENGINEERING ENTERPRISE	142

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

I.I. Vorotyntseva, V.L. Kashintseva AUTO PHASE CONVERTOR OF MOCROWAVE ENERGY	145
K.A. Kuzmin, I.V. Nelin, V.A. Skuratov, V.V. Kirdyashkin USING NEURAL NETWORKS TO RECOGNIZE THE TYPE OF AIRCRAFT IN ANALYSIS OF THE RADAR IMAGE OF THE UNDERLYING SURFACE	149
G.M. Muchkaeva, S.S. Manzhiev, P.S. Hotamov, B.O. Baltykov, K.K. Hamgaev, N.N. Levgeev, D.V. Sangadzhiev INVESTIGATION OF METHODS OF IMPROVEMENT OF ACCURACY OF MEASUREMENTS WITH THE PRESENCE OF SYSTEMATIC ERRORS	152
A.R. Nasybullin, R.V. Farkhutdinov APPROXIMATE METHOD OF CALCULATION CHARACTERISTICS SENSORS BASED ON COAXIAL BRAGG MICROWAVE STRUCTURES	155
I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov RADAR DETECTION OF INTRUDERS IN MOVING TRANSPORT	160
I.V. Nelin, M.K. Sedankin, V.A. Skuratov RADIOMETRIC SENSORS FOR MEDICAL ROBOTIC COMPLEXES	164

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

<i>I.K. Alaytsev, T.V. Danilova, A.O. Manturov, G.O. Mareev, O.V. Mareev</i> HAPTIC DEVICE FOR LAPAROSCOPIC SURGERIES SIMULATION	167
<i>I.A. Andreev, M.M. Kalabishka, E.A. Soldatova</i> METHODS OF SECURITY OF TRANSFER OF PERSONAL DATA	170
<i>A.D. Bondareva, E.N. Sozinova, K.A. Fayazov</i> MODEL OF PROTECTED INFORMATION IN THE SYSTEMS OF THE TYPE "SMART HOME"	173
<i>R.R. Valiaxmetov, R.R. Ziyatdinov, A.A. Shabaev</i> DECISION SUPPORT SYSTEM AT SELECTION OR DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL ACCESSORIES	176
<i>D.V. Veerpalu, A.V. Ivaschenko</i> INTELLIGENT TECHNOLOGIES FOR DECISION MAKING SUPPORT IN DIGITAL TELEVISION DEVELOPMENT PROJECTS	180
<i>A.P. Dadenkova</i> BUILDING A MODEL FOR FILE NETWORK WITH DHT PROTOCOL	183
<i>J.P. Emelianova</i> VECTOR LYAPUNOV FUNCTION METHOD FOR WEAK STABILITY ANALYSIS OF DISCRETE REPETITIVE PROCESSES	187
<i>S.V. Erokhin, S.V. Semenov, O.O. Roshka</i> RELAXATION MODEL OF VISCOELASTIC MATERIALS BASED ON FRACTIONAL ORDER DERIVATIVES	190
<i>S.V. Erokhin, L.Yu. Frishter, V.D. Petelina, N.M. Chiganova</i> DIFFERENCE SCHEMES FOR MATHEMATICAL MODELING OF HIGH-ELASTIC DEFORMATION	193
<i>V.A. Kalitvin</i> ON MATHEMATICAL MODELS WITH PARTIAL INTEGRALS	196
<i>I.G. Koltcov, E.N. Chernoprudova</i> TRIANGULATION OF POLYGONS IN THE PROBLEM OF THREE-DIMENSIONAL NAVIGATION IN MULTI-STEEL CASES OF THE ENTERPRISE ON THE BASIS OF MOBILE APPLICATION	200
<i>A.S. Korzhavina, V.S. Kniazkov</i> BASE EXTENSION IN RESIDUE NUMBER SYSTEMS USING MIXED-RADIX SYSTEMS	204
<i>S.I. Melnikov</i> CONTINUOUS CORPORATE LEARNING PROCESS CONTROL SYSTEM BASED ON DISTRIBUTED DATABASE DATA ARCHITECTURE OF	208
<i>A.S. Ovdin, I.E. Zhigalov, M.I. Ozerova</i> AUTOMATION OF THE PROCESS OF DISTRIBUTION OF APPLICATIONS TO BANK GUARANTEES	211
<i>A.V. Pavelchuk, A.G. Maslovskaya</i> SIMULATION OF INJECTION PROCESS CHARACTERISTICS IN FERROELECTRICS MODIFIED BY ELECTRON IRRADIATION	214
<i>E.V. Razova, E.V. Kotelnikov, A.V. Kotelnikova</i> TESTING PROCEDURE FOR HYPOTHESIS OF SENTIMENT LEXICON NONUNIFORMITY IN VECTOR SPACE	217
<i>E.N. Sozinova, M. Zhakish, V.V. Fedotova</i> THE SYSTEM OF PROTECTION OF PERSONAL DATA IN THE INFOCOMMUNICATION NETWORKS OF THE MASS MEDIA OF THE RUSSIAN FEDERATION	220
<i>V.M. Talanov, D.S. Fomin, V.P. Atmanzin</i> CHOICE OF CRITERIA FOR COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN RELATIONAL DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS SUCH AS MYSQL AND MICROSOFT SQL SERVER ON EXAMPLE OF DATABASE FOR TASK MANAGEMENT SYSTEM	223
<i>A.A. Shabaev, R.R. Ziyatdinov, R.R. Valiaxmetov</i> CLUSTERING OF PRECEDENTS IN THE BASIS OF KNOWLEDGE OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM	227
ABSTRACTS	230

02.00.00

¹Б.Н. Иванов д.т.н., ²В.С. Желтухин д.ф.-м.н., ³И.А. Гришанова к.т.н.,
⁴К.Г. Николаев, ⁵В.С. Минкин д.х.н., ⁶Р.Х. Шагимуллин к.т.н.

Казанский научно-исследовательский технологический университет,
¹нефтяной факультет, кафедра общей химической технологии,
²факультет наноматериалов и нанотехнологий,
кафедра плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов,
³факультет технологии легкой промышленности и моды, кафедра моды и технологии,
⁵факультет наноматериалов и нанотехнологий, кафедра физики,
Казань, ivanovbn@rambler.ru, yerus@yandex.ru, shagimullin@ntvp.ru
⁴Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-
исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых»,
Казань, k8966808@gmail.com
⁶Главный редактор журнала «Научно-технического вестника Поволжья»,
Казань, shagimullin@ntvp.ru

МЕТОДОЛОГИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-10-17

Методология обосновывает, связывает и использует наиболее рациональные решения искомой проблемы. То есть, представляет собой одновременно фундамент, механизм и алгоритм реализации этих решений (включая и традиционные, и нетрадиционные методы).

Настоящая статья является продолжением цикла наших работ и отражает некоторые аспекты её практического приложения применительно к электретам.

Ключевые слова: *электрет, электретность, получение, сопряженное качественно-количественное моделирование, характеристическое волновое уравнение.*

Как известно, электрет – диэлектрик, достаточно длительное время (в основном, в интервале 4 – 10 лет) сохраняющий поляризованное состояние после снятия внешнего воздействия. В результате чего им в окружающем пространстве создается квазипостоянное поле. При этом считается, что электретность обусловлена в основном, наличием в диэлектриках двух типов зарядов: гомо- и гетеро- заряда.

Не касаясь пока детализации механизма электретности, можно согласиться с распространенным мнением, что первый тип образуется при инжекции носителей зарядов в диэлектрик из электродов и в результате «дырочной» проводимости через «энергетические ловушки». При этом у катода сосредотачивается «связанный» отрицательный заряд. Гетерозаряд обусловлен электрической поляризацией пространства диэлектрика вследствие ориентации электронов, ионов и диполей. В этом случае отрицательный заряд сосредотачивается у анода, а положительный – у катода. Возникающее электрическое поле противоположно полю поляризации.

Большинство способов получения электретов основано на помещении материалов в электрическое поле при дополнительном физическом воздействии, которое уменьшает время релаксации диполей (в т.ч. за счет усиления процесса миграции заряженных частиц).

В зависимости от вида использованных физических воздействий различают: термо-, электро-, фото-, магнито-, радиоэлектреты и т.п.. Особо, по нашему мнению, нужно отметить механические воздействия (механоэлектреты, трибоэлектреты, сегнетоэлектреты и т.п.), а также коронный разряд (короноэлектреты) и термохимические воздействия (хемоэлектреты), например вулканизация полимеров. Такая «всеядность» явления электретности обусловлена слишком широкими его границами, а также генетическим родством, как уже отмечалось, теплового, электрического движений и трения, как их источника.

При этом важнейшим условием является наличие резонансности частот колебания искоемых видов движения. Именно резонансные частоты являются «краеугольными камнями» химии, физики и химической технологии в целом¹. [1]

Эффективная плотность зарядов ($\sigma_{эф}$, Кл/м²), время релаксации зарядов (τ_p), время жизни электрета ($\tau_ж$) – определяются экспериментально: $\sigma_{эф}$ – равно разности между гомо и гетерозарядами, τ_p – время уменьшения зарядов в e раз, $\tau_ж$ – промежуток времени, в течение которого материал сохраняет электретные характеристики.

Поскольку микромир – достаточно гомоморфный аналог сверхмакромира, нам представляется целесообразным использовать основы геометрии Н.И. Лобачевского, как фундамент графико-математической аппроксимации электретных явлений. [2, 3]

В частности можно предположить, что движущиеся микрочастицы в пределе могут вернуться почти в ту же точку, из которой вышли.

Косвенно это предположение подтверждается случаями якобы «нарушения» II закона термодинамики при передаче в жидкой фазе дополнительного тепла от первоначально более холодного тела к более нагретому.

По сути, никакого нарушения здесь нет. Во-первых, все взаимодействия, в той или иной степени, связаны (потому и называются взаимодействиями); во-вторых, происходит трансформация электрических, тепловых и механохимических видов движения, вклад которых может значимо меняться.

Значительный вклад будет вносить образование, ориентация и переориентация в полимерной матрице «новых» и «старых» доменов. При этом данный эффект, поскольку перераспределение избытка (недостатка) волновых движений проявляется в первую очередь на поверхностных слоях, будет больше влиять на текстуру матрицы, а не на её внутреннюю микроструктуру. Причем, с целью предсказания улучшения физико-химических и механических свойств конечной продукции, резоннее применять матрицу (ткань, жгуты, пряжу и т.п.) из сплетенных волокон.

На начальном этапе приоритетом является исследование свойств отдельного волокна, хотя ясно, что электретные характеристики тканей будут значимо отличаться от аналогичных составляющих их волокон.

Анализ представленных на рис. 1-7 и табл. 2 зависимостей позволяет сделать определенные практические выводы, не противоречащие используемой единой общей концепции:

– Количество витков, очевидно, определяется в основном техническими возможностями. Переход величины смачиваемости через максимум обусловлен, по-видимому изменением текстуры нити и ориентации доменов в ней. Близкие значения экстремума в образцах И+М и М+К подтверждают исходное положение, что с определенного уровня структурности образца превалирующую роль начинают играть поверхностные явления в матрице нити. То есть не только количество и суммарное сечение капилляров в нити, но и дезориентация доменов. Вследствие чего предполагается расчетно-экспериментальным путем достаточно точно определять и сравнивать соотношения длины и сечения волокон в разных образцах в ходе их кручения (включая отношение конечных длин и сечений).

– Существенная разница в поверхностных плотностях величин заряда в образцах, в зависимости от последовательности их получения (см. рис. 1), а также переход электрической ёмкости через локальные экстремумы ($\max$ и $\min$) (см. рис. 2 и 4) позволяет утвердиться в мысли, что существенный вклад вносят механоэлектрические явления (в основном прямой и обратный пьезоэффект), вплоть до инверсии вида заряда (гомо- и гетеро-).

– Полная синбатность волнообразных кривых зависимостей электрической ёмкости и диэлектрической проницаемости от числа витков, при одинаковых условиях процесса совершенно закономерно, т.к. согласуется с вышепредставленными положениями.

¹ На этом основании представляется целесообразным создание специальных отраслей науки (стохастической химии) и техники (стохастической технологии).

– Почти синбатные зависимости напряженностей электрического поля от числа «круток» (рис. 6) свидетельствуют, что при данных условиях обработки образцов, трибофизико-механическое воздействие оказывает превалирующее влияние.

– Выпадение кривой «Кр+М» из общей картины предположительно можно объяснить дипольного момента, так как длинная кривая, по сути, представляет собой смещенное зеркальное отражение зависимости диэлектрической проницаемости от величины числа витков (см. рис 5).

– Несомненно, необходимо определение зависимостей амплитуд и частот колебания волн в образцах в связи с типом и условиями получения образцов.

Таблица 1.- Капиллярность волокон (где «К» означает количество витков при кручении нити, «М» - модификацию нити плазменным воздействием)

К+М	М+К
80	138
118	153
140	160
150	150
148	142
140	130
127	125
114	115

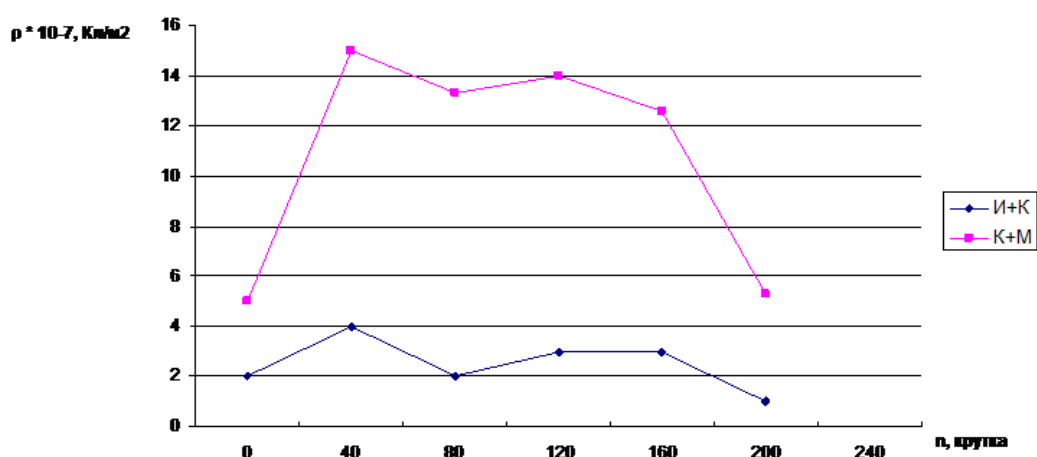


Рис. 1–Зависимость поверхностной плотности величины заряда К+М и И+К

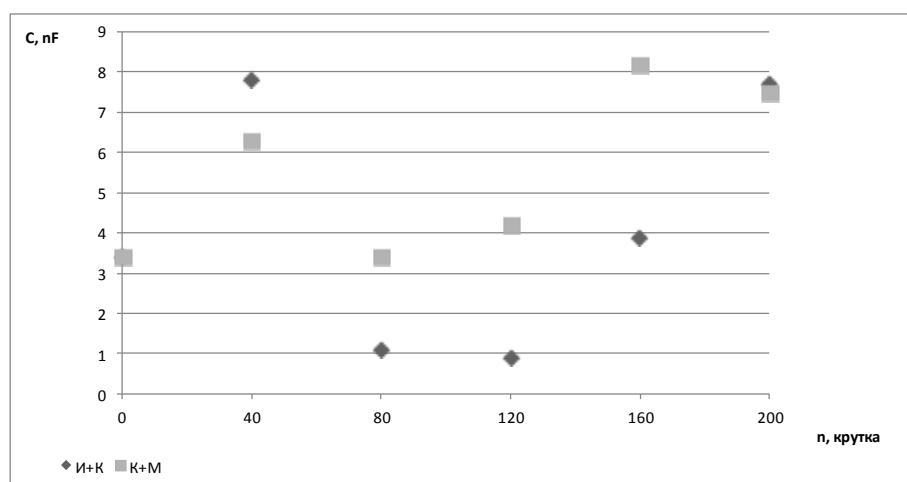


Рис. 2– Зависимость электрической емкости от количества круток К+М ($\tau = 180\text{с}$, $N = 4$ кВт, Ar)

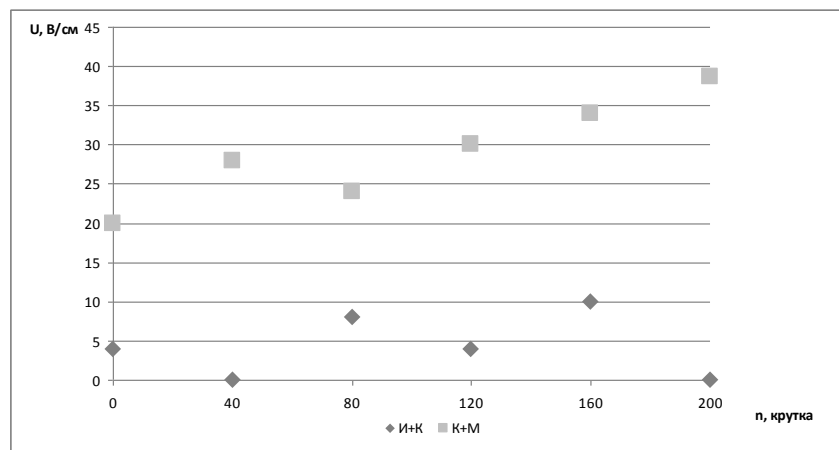


Рис. 3— Зависимость напряженности электростатического поля от величины круток К+М ($\tau = 180$ с, $N = 4$ кВт, Ar)

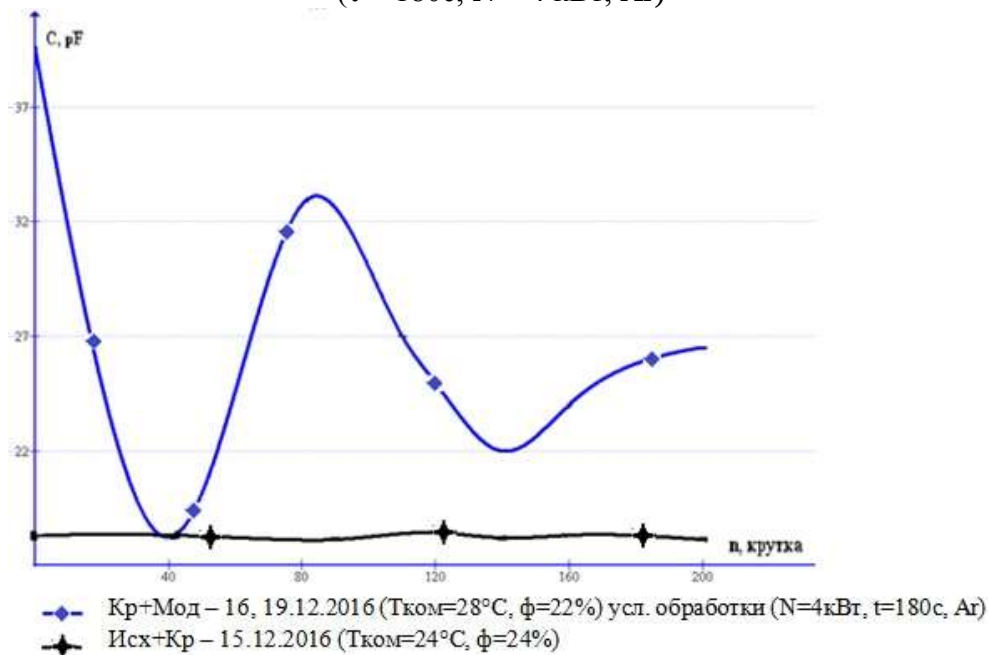


Рис. 4 –Зависимость электрической емкости от величины числа накручивания нитей.

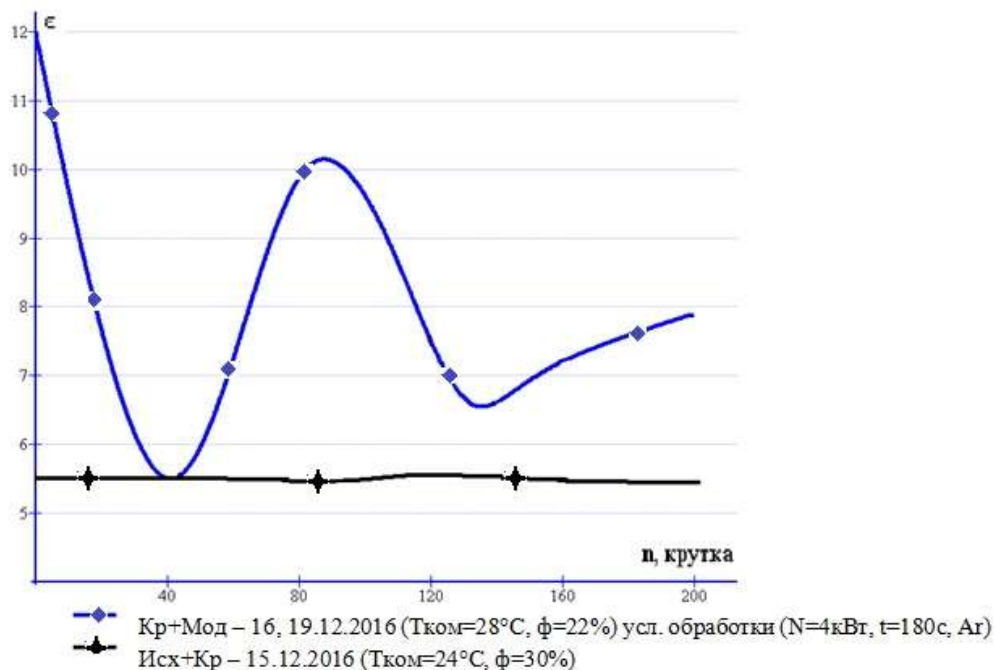


Рис. 5 –Зависимость диэлектрической проницаемости от величины числа витков.

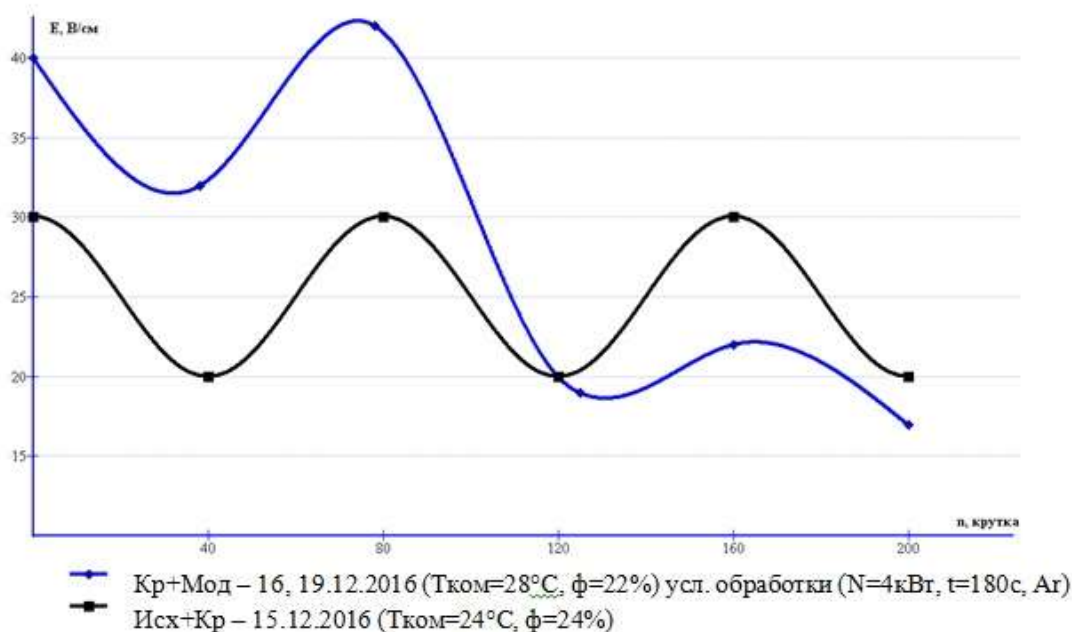


Рис. 6 – Зависимость напряженности электрического поля от числа витков.

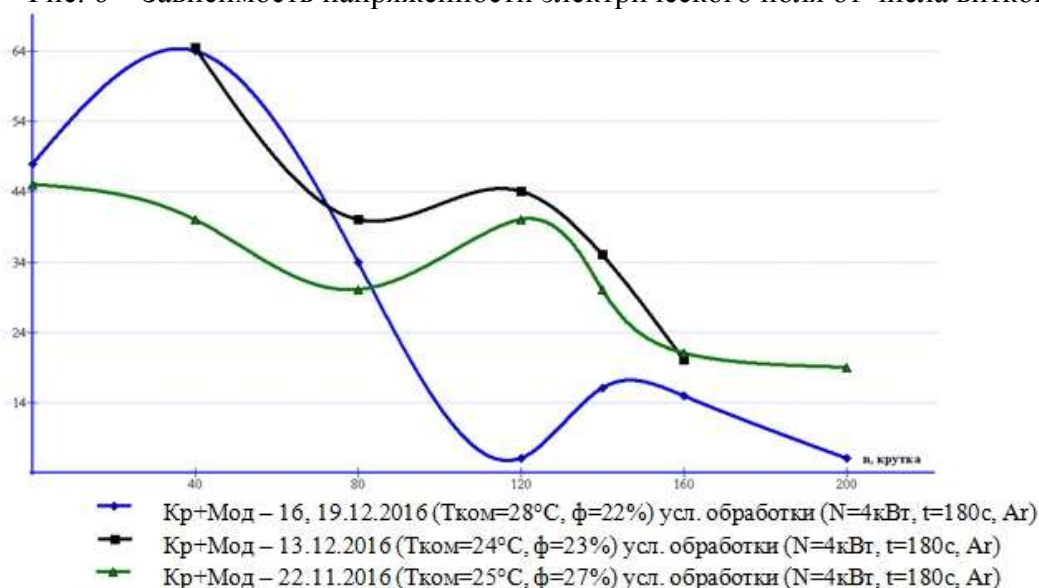


Рис. 7 – Зависимость поверхностной плотности зарядов от числа витков

С целью сокращения объема эксперимента, при сохранении фундаментальности базы последнего, нам представляется целесообразным применение сопряженного качественно-количественного моделирования.

Основная идея сопряженного физико-математического моделирования: непосредственный переход от компьютера к промышленному воплощению. Однако невозможность точной количественной оценки не только внутренней энергии, но и её изменения, сводит почти на «нет» этот волшебный посыл, заставляя применять множество приближенных математических описаний явлений разного масштаба.

В то же время сам посыл в определенной мере можно использовать при сопряженном качественно-количественном физико-математическом моделировании, которое заметно упрощает задачу, поскольку учитывается сопряжение не столько физических и математических образцов, сколько их оценок. При этом применяется подход, подсказанный Природой и названный нами *принципом дифференциации и интеграции явлений*. [4]

Причем вследствие невозможности полного равновесия, используются не уравнения, а неравенства, составленные на основе законов сохранения количества движения и вещества, которые оценивают всего два вида энергии: работу и энергию, не связанную с работой. Одновременно в ходе анализа осуществляется коррекция целей исследований.

Такой прием упрощает выбор границ области исследования и сокращает объем эксперимента и последующих (на втором этапе моделирования) количественных расчетов.

Введение в моделирование этапа предварительной качественной оценки ключевых компонентов, явлений и параметров позволяет полнее отобразить физическую сущность объектов моделирования и предсказать основные противоречия, возникающие при экспериментальном исследовании.

В частности, заставляет задуматься о границах применения уравнения Аррениуса. Применение уравнения Аррениуса нередко не только ведет к определению фактически эмпирических значений энергии активации и «эффективной константы» скорости, но и искажает их физический смысл.

Для характеристики жидкофазных и конденсированных систем, к которым относится большинство электретов, более корректным представляется использование предложенного Б.Н. Ивановым и Р.Н. Костроминым универсального волнового уравнения (ХВУ), успешно применяемого при расчетах критериев смещения жидкостей (тех же авторов), и количественной связи содержащихся в нефтях солей, мехпримесей, воды и сернистых соединений. [5, 6] Уравнение названо характеристическим волновым уравнением жидкофазных систем и их взаимодействий, поскольку, учитывая в целом распространение волн, в т.ч. сферических, в пространстве, отражает и асимметричность формы и свойств ассоциатов:

$$y = a \cdot e^{e^{(bx+c)}} \quad (1)$$

где x – варьируемый кинетический фактор (может быть также функцией 2 – 3 факторов); a – предэкспоненциальный множитель, учитывающий коэффициент, зависящий от химической природы взаимодействующих компонентов подвижных веществ (в случае неэкстремального взаимодействия он близок к единице). Использование в качестве основания показательной функции значения натурального логарифма позволяет усреднено отображать почти всё многообразие материальных взаимодействий.

При расчете коэффициентов скорости жидкофазных и газофазных реакций несколько транспонировали уравнение (1):

$$K = e^{e^{(A_i \cdot T + B_i)}} \quad (2)$$

где T – температура, K ; A , B – коэффициенты; i – индекс жидкофазных и газофазных реакций.

Общий алгоритм расчета: по известным (табличным) значениям $\lg A$, E , K подсчитывается $\lg K_{\text{расч}}$ и само расчетное значение коэффициента скорости; затем определяется двойной натуральный логарифм $\ln[\ln(K_{\text{расч}})]$, по которому строится график, определяются коэффициенты A и B в формуле (2) и оценивается корреляция формулы (R^2); по коэффициентам A и B рассчитываются значения $K_{\text{граф}}$ и определяется невязка $\frac{K_{\text{граф}} - K_{\text{расч}}}{K_{\text{граф}}} \cdot 100\%$.

Алгоритм опробован на примере расчета характеристик газообразных и жидкофазных реакций. Результаты представлены на рисунках 8 - 11.

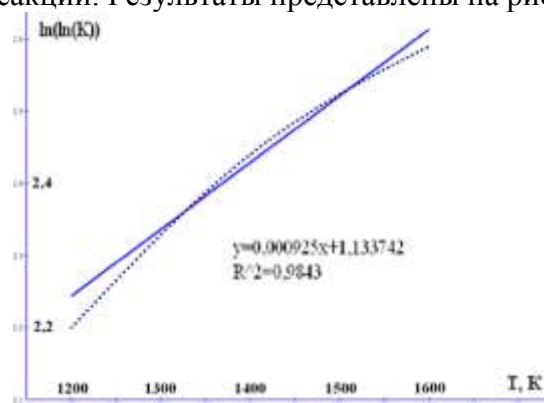


Рис. 8 – График зависимости $\ln[\ln(K_{\text{расч}})]$ от T для реакции в газовой фазе

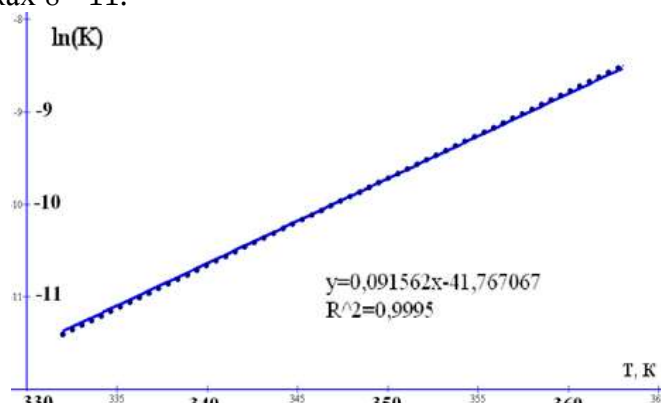


Рис. 9 – График зависимости $\ln(K_{\text{расч}})$ от T для реакции в жидкой фазе

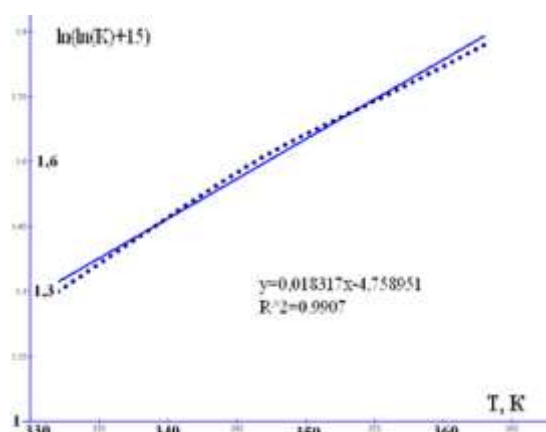


Рис. 10 – График зависимости $\ln[\ln(K_{\text{расч}})+15]$ от T для реакции в газовой фазе

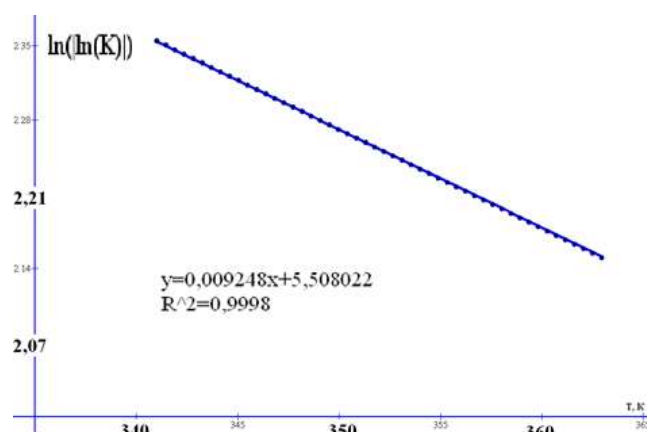


Рис. 11 – График зависимости $\ln[\ln(K_{\text{расч}})]$ от T для реакции в жидкой фазе

Уравнение дает хорошую сходимость для жидкой фазы. При оценке степени адекватности применения уравнения для жидкофазных систем использовался либо первый логарифм (рис. 9), либо второй (рис. 11). Каждый из приемов дает высокую сходимость и достоверность.

Таким образом, ХВУ достаточно адекватно описывает простые и сложные системы и может служить переходным мостиком между качественным и количественным сопряженными физико-математическими моделированиями.

Подытоживая материал статьи, следует отметить целесообразность исследования вопроса о способах соединения и направления относительно друг друга волокон (нитей) при образовании электретенного полотна, т.к. именно это может предопределять и переориентацию и дезориентацию доменов в электретенных материалах.

В качестве общих выводов по данной и предыдущей («Гносеологические корни рациональной технологии получения электретенных материалов» Б.Н. Иванов, В.С. Минкин, К.Г. Николаев, В.С. Желтухин, Р.Х. Шагимуллин) статьям предлагаются следующие:

1. Методология разработки рациональных технологий получения электретенных материалов (как и сами технологии) должна базироваться на двоичности мира, вещественно-волновой природе, дифференциации и интеграции явлений.

2. Значительный вклад в электретенный эффект поляризованной матрицы вносят образование новых и переориентация имеющихся доменов. Следовательно, данный эффект, в первую очередь, будет проявляться на поверхностных слоях матрицы с возможным изменением её текстуры.

3. Существенный вклад в электретенность материалов вносят механо-электрические явления. По сути – электретенность – результат триединого проявления трения, электрического и теплового движений физической, химической и физико-химической природы.

4. В качестве вспомогательного инструмента разработки рациональной методологии получения электретенных материалов целесообразно применение сопряженного качественно-количественного физико-математического моделирования с использованием универсального характеристического волнового уравнения.

Список литературы

1. *Иванов, Б.Н. / Б.Н. Иванов, А.И. Гурьянов, А.М. Гумеров // АН РТ – Казань: ФЭН, 2009. – 400с.*
2. *Иванов, Б.Н. Онтология теоретических основ химической технологии: учебное пособие / Б.Н. Иванов – Казань: КГТУ, 2006. – 72с.*
3. *Иванов, Б.Н. Четвертая материальная форма проявления закона сохранения / Б.Н. Иванов, А.К. Мезиков // Энергетика Татарстана, 2016, №2, с.62-67*
4. *Иванов, Б.Н. «Философский камень» жидкофазных процессов химической технологии. Часть 1, часть 2 / Б.Н. Иванов // Энергосбережение в Республике Татарстан. – Казань, 2005. – №21-22. – с.20-24; Казань, 2006-2007. – №23-24. – с.61-66*
5. *Иванов, Б.Н. Практическое применение характеристического уравнения / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин // Энергетика Татарстана. – 2013. – №3. – с.30-34*
6. *Kostromin, R.N. The Conjugated Qualitative and Quantitative Approximation of Water, Salt, Sulfur, Asphaltene and Mechanical Ingredients of Oil-Containing Systems Interrelation./ R.N. Kostromin, B.N. Ivanov, M.S. Petrovnina, M.I. Safiullin. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2015. – Volume 6, Issue 6, 2015 (November – December).- Pp.1612-1616.*

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.06

С.И. Абакумова, Н.Ю. Ботвинева, Н.П. Хариш

Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал)
 ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
 Пятигорск, svetaabaku@rambler.ru

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ОСНОВНОЙ ЕДИНИЦЫ ЧИСТО КУБИЧЕСКОГО ПОЛЯ**DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-18-20**

Построение основной системы единиц обычно осуществляется либо непосредственно, на основе некоторых теорем, способов и конструкций, либо путем преобразований независимой системы.

Известные приемы и методы решения задач построения независимых и основных систем основаны на самых разнообразных идеях. В настоящей статье анализируются: а) метод построения основной единицы чисто кубического поля, опирающийся на понятие эллиптической единицы; б) полиномиальное обобщение алгоритма непрерывных дробей.

Ключевые слова: *основная единица, кубические поля, эллиптическая единица, дзета-функции Дедекинда, полиномиальное обобщение.*

Появление основополагающей работы К.Якоби [1], приведшей к созданию мощного АЯП (алгоритм Якоби-Перрона) [2], и метода Е.И.Золотарева [3] по разложению целых чисел кубического поля на идеальные множители привлекли и привлекают по настоящее время внимание многих математиков, изучающих различные вопросы алгебраической теории кубических полей.

Интересная идея построения основной единицы чисто кубического поля $K(\sqrt[3]{m})$ осуществлена в [4] и опирается на понятие эллиптической единицы.

Описанный там эффективный метод позволяет вычислить одновременно число классов идеалов h и минимальный многочлен основной единицы ε ($\varepsilon > 1$) кубического поля $K(\alpha)$ при $D_\alpha < 0$.

При этом оказывается, что число классов идеалов h является индексом подгруппы так называемых «эллиптических единиц» η в группе положительных единиц поля K , где $\eta_\varepsilon = \varepsilon^n$, то есть $h = (u_\varepsilon : u_{\eta_\varepsilon})$.

Алгоритм не геометрического характера, он выполняет арифметические вычисления в мнимом квадратичном поле и использует приближенное значение η_ε , которое явно определяется через значения дзета-функции Дедекинда [5].

Исходя из известного неравенства : если $\xi = \varepsilon^h$, то $h < \frac{3 \log |\xi|}{\log \frac{|D| - 24}{4}}$

следует, что $h < \frac{3 \log \eta_\varepsilon}{\log \frac{|D| - 24}{4}}$.

Пусть η' -достаточно хорошее приближение η_ε . Следующие предложения используются для вычисления минимального многочлена

$\lambda^3 - S(\xi)\lambda^2 + t(\xi)\lambda - 1$ единицы ξ из K по ее приближенному значению:

1. Если $\xi (>1)$ - единица поля K , то $S(\xi)$ и $t(\xi)$, будут целыми рациональными числами в том случае, когда

$$|S(\xi) - \xi| < \frac{2}{\sqrt{\xi}} (<2) \text{ и } t(\xi) = \frac{1}{\xi} + \xi(S(\xi) - \xi)$$

2. Пусть $r_1 = S, r_2 = S^2 - 2t, r_3 = S^3 - 3St + 3, r_\mu = Sr_{\mu-1} - tr_{\mu-2} + r_{\mu-3} (\mu \geq 4)$.

Вещественное число $\varepsilon = \sqrt[\mu]{\xi} (>1)$ принадлежит полю K тогда и только тогда, когда существуют целые рациональные числа u, v так

$$|u - \varepsilon| < \frac{2}{\sqrt{\varepsilon}} (<2), r_\mu(u, v) = S(\xi), r_\mu(v, u) = t(\xi),$$

v -ближайшее целое рациональное число к $\frac{1}{\varepsilon} + \varepsilon(u - \varepsilon)$.

Если $\varepsilon \in K$, то $S(\varepsilon) = u, t(\varepsilon) = v$.

ПРИМЕР.

Для уравнения $f(x, y) = x^3 + ax^2y + y^3 = 1$, где a - целый параметр, $D_f = -(4a^3 + 27)$ и свободно от квадратов, непосредственно находим:

$H(x, y) = a^2x^2 - 9xy - 3ay^2$, и после упрощений $V^2 = u^3 + 432(4a^3 + 27)$, откуда

$$U + 6^3\sqrt{2(4a^3 + 27)} = \pm\mu \left\{ x_0 + y_0^3\sqrt{-2D_f} + z_0^3\sqrt{4D_f^2} \right\}; x_0, y_0, z_0 \in \mathbb{Z};$$

μ -определяется:

- 1) основной единицей чисто кубического поля $K(\sqrt[3]{2(4a^3 + 27)})$,
- 2) числом h классов идеалов этого поля,
- 3) элементами с нормой, равной делителям числа $12(4a^3 + 27)$.

Накамула [4], введя и исследовав так называемые эллиптические единицы для совместного вычисления числа h классов идеалов и основной единицы ε чисто кубического поля $K(\sqrt[3]{m})$, предложил таблицу, содержащую 358 комбинаций пар (a, b) , где $m = a^2b$, $(a, b) = 1$, a и b свободны от квадратов, число h классов идеалов и коэффициенты минимального многочлена основной единицы ε .

Своеобразный подход к определению основной единицы чисто кубического поля приведен Гютингом [6], им получено полиномиальное обобщение алгоритма непрерывных дробей (АЯП) и представлена таблица основных единиц для $m \leq 999$.

По данному вещественному числу $\alpha > 0$ и фиксированному натуральному n строится полином $\rho(x)$ степени $\leq n$ так, что $\rho(\alpha)$ очень мало. Далее решаем уравнение $\rho(x) = 0$, обозначим корень через β , тогда α аппроксимируется алгебраическим числом β степени $\leq n$.

Строим цепочку полиномов по правилу:

определим $n+1$ полиномов вида $\rho_i(x) = x^{-i}; i = -n, -n+1, \dots, 0$;

тогда если известны полиномы $\rho_{i-n-1}(x), \rho_{i-n}(x), \dots, \rho_{i-1}(x)$, то

$$\rho_i(x) = \rho_{i-n-1}(x) - a_{i,1}\rho_{i-n}(x) - \dots - a_{i,n}\rho_{i-1}(x) \quad i=1, 2, \dots,$$

где коэффициенты $a_{i,k}$ соответственно определены через функцию $f(x)$.

Выбор функции $f(x)$ произволен, но чаще всего применяется одно из следующих трех представлений:

$$f_1(x) = [x], f_2(x) = \left[x + \frac{1}{2} \right] \text{ и } f_3(x) = \begin{cases} \left[x + \frac{1}{3} \right], & x \geq 0, \\ \left[x + \frac{2}{3} \right], & x < 0; \end{cases}$$

символ $[A]$ означает целую часть числа A ; а в качестве начальных полиномов берутся либо указанные выше $p_i(x)=x^{-1}$, либо полиномы

$$p_0(x)=1, p_i(x)=x^{n+1+i}, i=-n, -n+1, \dots, -1.$$

По разработанной вычислительной процедуре находят коэффициенты полиномов p_i , а именно: $p_{i,k}=p_{i-n-1,k}-a_{i,1}p_{i-n,k}-\dots-a_{i,n}p_{i-1,k}$ ($k=1, 2, \dots, n+1$)

и значения их при $x=\alpha$, причем оказалось, что для произвольных вещественных α и начальных полиномов $p_i(x)$ последовательность $p_i(\alpha) \rightarrow 0$ при $f(x)=[x]$ или $f(x)=[x+\frac{1}{2}]$.

Пусть теперь λ -целое алгебраическое число порядка n , $\beta=b_1\lambda^{n-1}+b_2\lambda^{n-2}+\dots+b_n$.

Очевидно, β -единица поля $K(\lambda)$, если $Norm\beta=\pm 1$.

Если минимальный полином $g(x)$ для числа λ имеет старший коэффициент «а», то, полагая $h(x)=b_1x^{n-1}+b_2x^{n-2}+\dots+b_n$, найдем известное соотношение между нормой β и результатом полиномов g и h : $Res(g,h)=a^{n-1}Norm\beta$.

Пусть $a=1$, тогда $Norm\beta=Res(g,h)$ и нужно найти полином $h(x)$ степени $n-1$ с целыми рациональными коэффициентами, для которого $Res(g,h)=\pm 1$.

Ясно, что расчет результата элементарен, а в качестве $h(x)$ следует взять один из полиномов цепочки и $Res(g,h)=\pm 1$.

Сочетание собственной функции вида $f_1(x)$ или $f_2(x)$ с выписанными начальными полиномами определит четыре способа нахождения единиц, хотя, как оказалось, различие этих способов статистически не значимо.

Интерес к задаче разыскания основных единиц в настоящее время возрастает. Созданы новые различные приемы, процедуры и методы, позволяющие проводить численные расчеты единиц, сравнение известных путей и способов.

Общей чертой всех известных к настоящему времени методов вычисления систем основных единиц является неэффективность, понимаемая в том смысле, что либо исследуемая область настолько велика, что практически недостижима, либо полностью отсутствуют реальные границы расчета. Эти методы касаются, главным образом, кубических полей и определяют последовательность действий, необходимых для их нахождения.

Список литературы

1. Jacobi C. Allgemeine Theorie der kettenbruchähnlichen Algorithmen, in welche jede Zahl aus drei vorhergehenden gebildet wird // J. reine angew. Math. – 1868. – v. 69 – p. 29-64.
2. Абакумова С.И. Обзор модификаций метода квадратичных форм. Фундаментальные исследования №5 (часть 3), Москва 2015, С. 1286-1294
3. Золотарев Е.И. Об одном неопределенном уравнении третьей степени: Дисс.: СПб. 1869. – 67с.
4. Nakamura K. Class number calculation of a cubic from the elliptic unit // L. reine angew. Math. – 1982. – v.331. – p. 113-123.
5. Абакумова С.И., Апостолиди М.С. Рассмотрение некоторых методов отыскания основной единицы. Научно-технический вестник Поволжья № 3, Казань 2016, С.9-12.
6. Guting R. Zur Verallgemeinerung des Kettenbruchalgorithmus // J. reine angew. Math. – 1976. – v.281. – p. 184-198.

01.01.02

¹А.Р. Абдуллаев, ²Е.А. Скачкова¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, факультет Прикладной математики и механики, кафедра высшей математики,²Пермский государственный национальный исследовательский университет, механико-математический факультет, кафедра фундаментальной математики, Пермь, h.m@pstu.ru, skachkova@pstu.ru**О ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА****DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-21-23**

Рассматривается периодическая задача для квазилинейного функционально-дифференциального уравнения второго порядка. Получены достаточные условия существования решения исследуемой задачи. В работе применяется подход, основанный на применении специальной теоремы существования для квазилинейного операторного уравнения в случае резонанса.

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение; периодическая краевая задача; резонанс.

Функционально-дифференциальные уравнения второго порядка находятся в центре внимания многих исследователей благодаря многочисленным приложениям в механике, экономике, задачах управления, биологии, химии, и т.д. Вопросам существования решений краевых задач для нелинейных функционально-дифференциальных уравнений посвящено достаточно большое количество работ.

Рассмотрим задачу

$$x''(t) + a(t)x'(g(t)) = f(t, (Rx)(t)), \quad (1)$$

$$x(0) = x(T), x'(0) = x'(T), \quad (2)$$

где $t \in [0; T]$, $f : [0; T] \times R^1 \rightarrow R^1$ удовлетворяет условиям Каратеодори, функции $a, g : [0; T] \rightarrow [0; T]$ – измеримы и ограничены в существенном, R – линейный оператор.

п1. При исследовании задач вида (1), (2) многие авторы (Mawhin J., Furi, M., Gupta С.Р. и др., см., например, [1]) используют подход, основанный на рассмотрении задачи в виде операторного уравнения вида

$$Lx = Fx, \quad (3)$$

с необратимым оператором L . Аналогичный подход применяется и в настоящей работе. Для удобства приведем необходимые понятия и сформулируем теорему существования.

Пусть X и Y – банаховы пространства. Для линейного оператора $L : X \rightarrow Y$ ядро и образ обозначим соответственно через $\ker L$ и $\text{im} L$. Пусть $P : X \rightarrow X$ проектор на ядро оператора L и $P^C = I - P$ – дополнительный проектор. Пусть $X = \ker L \oplus X_0$ – разложение в прямую сумму замкнутых подпространств. Через $K_p : \text{im} L \rightarrow X$ обозначим обобщенно обратный к оператору $L : X \rightarrow Y$, ассоциированный с проектором P , то есть такой, что: 1) $LK_p = I_0$ ($I_0 : \text{im} L \rightarrow Y$ – оператор естественного вложения); 2) $K_p L = P^C$; 3) $P^C K_p = K_p$. Для оператора $F : X \rightarrow Y$ определим следующую характеристику:

$$b(F) = \limsup_{r \rightarrow \infty} \frac{\|Fx\|}{\|x\|}, \quad x \in X, \|x\| \leq r.$$

Теорема 1 [2]. Пусть выполнены условия: 1) оператор L – нетеров; 2) оператор F – вполне непрерывен; 3) существуют такие числа $\gamma, \delta \geq 0$, что для каждого элемента

$x_0 \in X_0$ существует элемент $u \in \ker L$, что $F(x_0 + u) \in \operatorname{im} L$, $\|u\| \leq \gamma \|x_0\| + \delta$;

4) $b(F)\|K_P\| < (1 + \gamma)^{-1}$. Тогда уравнение (3) имеет хотя бы одно решение.

Отметим, что рассматриваемый в теореме 1 случай в литературе принято называть *резонансным*.

п2. В этом пункте приведем используемые в работе функциональные пространства, а так же сформулируем вспомогательные утверждения, относящиеся к линейной части уравнения.

Пусть $L_p = L_p[0, l]$ – пространство суммируемых в p -ой степени функций $x : [0, l] \rightarrow R$ с

нормой $\|x\|_p = \left(\int_0^l |x(s)|^p ds \right)^{1/p}$, $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$, $1 < p < \infty$; $W_p = W_p[0; T]$ – пространство абсолютно

непрерывных вместе со второй производной функций $x : [0, T] \rightarrow R^1$, таких, что $x'' \in L_p$, с

нормой $\|x\|_{W_p} = |x(0)| + |x'(0)| + \|x''(t)\|_p$.

Под решением задачи (1), (2) будем понимать всякую функцию $x \in W_p[0; T]$, удовлетворяющую почти всюду на $[0; T]$ уравнению (1) и периодическим краевым условиям задачи (2).

В работе рассматривается случай уравнения (1), когда $\int_0^T a(s)ds = 0$, $R(1)(t) \neq 0$.

Задачу (1), (2) представим в виде операторного уравнения (3), где $L, F : W_p^0 \rightarrow L_p$, $(Lx)(t) = x''(t) + a(t)x'(t)$, $(Fx)(t) = f(t, (Rx)(t)) + a(t)(x'(t) - x'(g(t)))$.

Лемма 1. Относительно оператора L справедливы следующие утверждения:

1. $\ker L = \{x \in W_p \mid x \equiv C \in R^1\}$;
2. $\operatorname{im} L = \left\{ y \in L_p \mid \int_0^T y(\tau)A(\tau)d\tau = 0 \right\}$.

Проекторы на ядро и образ оператора L определим равенствами: $Px = x(0)$,

$$Qy = y - \left(\int_0^T A(\tau)d\tau \right)^{-1} \int_0^T y(\tau)A(\tau)d\tau$$

Положим $A(t) = \exp \left\{ \int_0^t a(\xi)d\xi \right\}$, $B(t) = \exp \left\{ - \int_0^t a(\xi)d\xi \right\}$. Для удобства будем пользоваться представлением задачи $x''(t) + a(t)x'(t) = y(t)$, $x(0) = C_1$, $x'(0) = C_2$ в виде

$$x(t) = C_1 + C_2 \varphi(t) + \int_0^t y(s)C(t, s)ds, \quad (4)$$

где $\varphi(t) = \int_0^t B(\tau)d\tau$, $C(t, s) = A(s) \int_s^t B(\tau)d\tau$ – функция Коши, C_1, C_2 – константы.

Лемма 2. Оператор K_P , обобщенно-обратный к оператору L , ассоциированный с проектором P , определяется равенством:

$$K_P y = \int_0^t y(s)C(t, s)ds - \int_0^t B(\tau)d\tau \left(\int_0^T B(\tau)d\tau \right)^{-1} \int_0^T y(s)C(T, s)ds. \quad (5)$$

Норма оператора $K_P : \operatorname{im} L \rightarrow W_p$ удовлетворяет оценке

$$\|K_P\| \leq 1 + \tilde{a} T e^{2\tilde{a}T} + e^{2\tilde{a}T} T^q \sqrt{T} \left(1 + e^{\tilde{a}T} \tilde{a}^p \sqrt{T} \right) \left| \int_0^T B(\xi)d\xi \right|^{-1}, \text{ где } \tilde{a} = \operatorname{vraisup}_{t \in [0, T]} |a(t)|.$$

Для нахождения представления оператора K_P достаточно с помощью краевых условий

(2) определить постоянные C_1 и C_2 в представлении решения (4).

п3. Справедлива

Теорема 2. Пусть выполнены условия: 1) существует $u_0 \geq 0$ такое, что $f(t, u) \operatorname{sign} u \geq 0$, $(f(t, u) \operatorname{sign} u \leq 0)$ при $|u| \geq u_0, t \in [0, T]$; 2) существуют $\alpha, \beta \geq 0$ и $0 \leq \delta \leq 1$ такие, что $|f(t, u)| \leq \alpha + \beta |u|^\delta$;

$$3) \left(\beta \|R\|^\delta + \tilde{a}(k_1 + k_2)^p \sqrt[p]{T} \left(1 + \tilde{a} T e^{2\tilde{a}T} + e^{2\tilde{a}T} T^q \sqrt[p]{T} \left(1 + e^{\tilde{a}T} \tilde{a} \sqrt[p]{T} \right) \int_0^T B(\xi) d\xi \right)^{-1} \right) < \left(1 + \|R\| R(1)(t)^{-1} \right)^{-1},$$

где $k_1 = \max \left\{ 1; \sqrt[q]{T} \right\}$, $k_2 = \max \left\{ 1; \sqrt[q]{\tilde{g}} \right\}$, $\tilde{g} = \operatorname{vraisup}_{t \in [0, T]} |g(t)|$, $\tilde{a} = \operatorname{vraisup}_{t \in [0, T]} |a(t)|$. Тогда задача (1), (2)

имеет хотя бы одно решение в пространстве W_p .

Доказательство. Доказательство теоремы состоит в последовательной проверке выполнения условий теоремы 1. Справедливость первого условия следует из утверждения леммы 1. Условие 2) теоремы обеспечивает вполне непрерывность оператора $F : W_p^0 \rightarrow L_p$ [3].

Положим $\Phi(C) = \int_0^T A(t)(f(t, (Rx)(t) + R(1)(t)) + a(t)(x'(t) - x'(g(t)))) dt$. Тогда уравнение $Q^C F(x + u) = 0$, где $u \in \ker L$, x – некоторый элемент X_0 принимает вид $\Phi(C) = 0$, $\Phi : R^1 \rightarrow R^1$. В силу непрерывности функционала Φ и условия 1) теоремы существует элемент $u \in \ker L$ такой, что $F(x_0 + u) \in \operatorname{im} L$. Можно показать, что $\|u\| \leq \gamma \|x_0\| + \delta$, где $\gamma = \|R\| R(1)(t)^{-1}$, $\delta = u_0 |R(1)(t)|^{-1}$.

Для любого элемента $x(t) \in W_p^0$ справедливы неравенства $|x(t)| \leq k_0 \|x\|_{W_p^0}$, $|x'(t)| \leq k_1 \|x\|_{W_p^0}$, $|x'(g(t))| \leq k_2 \|x\|_{W_p^0}$, где $k_0 = \max \left\{ 1; T; T^q \sqrt[q]{\frac{T}{q+1}} \right\}$, $k_1 = \max \left\{ 1; \sqrt[q]{T} \right\}$, $k_2 = \max \left\{ 1; \sqrt[q]{\operatorname{vraisup}_{t \in [0, T]} |g(t)|} \right\}$.

Пользуясь условием 2) теоремы, сделаем оценку

$$\|Fx\|_p \leq \left\| \alpha(t) + \beta |x(t)|^{\delta_1} \right\|_p + \tilde{a} \|x'(t) + |x'(g(t))|\|_p \leq \alpha(t)_p + \beta \|R\|^\delta \|x\|_{W_p^0}^\delta + \tilde{a}(k_1 + k_2)^p \sqrt[p]{T} \|x\|_{W_p^0}.$$

Таким образом, $b(F) \leq \beta \|R\|^\delta + \tilde{a}(k_1 + k_2)^p \sqrt[p]{T}$. Теперь выполнение условия 4) теоремы 1 следует из условия 3) теоремы 2 и леммы 2. Теорема доказана.

Приведем утверждение для обыкновенного дифференциального уравнения в предположении, что функция f по второму аргументу имеет «подлинейный» рост.

Теорема 3. Пусть выполнены условия: 1) существует $u_0 \geq 0$ такое, что $f(t, u) \operatorname{sign} u \geq 0$, $(f(t, u) \operatorname{sign} u \leq 0)$ при $|u| \geq u_0, t \in [0, T]$; 2) существуют $\alpha, \beta \geq 0$ и $0 \leq \delta < 1$ такие, что $|f(t, u)| \leq \alpha + \beta |u|^\delta$.

Тогда задача $x''(t) + a(t)x'(t) = f(t, x(t))$, $x(0) = x(T)$, $x'(0) = x'(T)$ имеет хотя бы одно решение в пространстве W_p .

Список литературы

1. Gupta C.P. Solvability of a multi-point boundary value problem at resonance // Results Math. 1995. Vol. 28. P. 270–276.
2. Абдуллаев А.Р. О разрешимости квазилинейных краевых задач для функционально-дифференциальных уравнений // Функционально-дифференциальные уравнения: Межвуз. сб. науч. тр./Перм. политехн. ин-т. Пермь, 1992. – С. 80-87 с.
3. Куфнер А., Фучик С. Нелинейные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1988. 304 с.

01.01.00

И.Е. Еремин, Е.А. Подолько

Амурский государственный университет,
факультет математики и информатики,
кафедра информационных и управляющих систем,
Дальневосточный государственный аграрный университет,
технологический факультет,
кафедра высшей математики,
Благовещенск, marinecops@mail.ru, evgpodolko@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АТОМНОГО КАРКАСА АХИРАЛЬНОЙ НАНОТРУБКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-24-27

В работе описаны математические модели атомного каркаса углеродной нанотрубки со структурами типа «зигзаг» и «кресло». При исследовании физико-химических свойств углеродных материалов немаловажную роль играет изучение пространственного расположения атомов и их связей. Полученные модели позволят в дальнейшем провести графическое моделирование атомного каркаса различных наноструктур.

Ключевые слова: Углеродная нанотрубка, атомный каркас, структура «зигзаг» и «кресло».

Физика низкоразмерных структур - актуальнейшая и наиболее динамично развивающаяся область современной физики твердого тела. Проблема создания наноструктур с заданными свойствами и контролируемыми размерами входит в число важнейших проблем XXI века.

Нанотрубки - одно из самых выдающихся открытий современной науки. Исследования нанотрубок представляют высокий фундаментальный и прикладной интерес. Фундаментальный интерес к этому объекту обусловлен прежде всего из-за необычной структуры и широкого диапазона изменения физико-химических свойств в зависимости от хиральности. Так, нанотрубки имеют очень малую массу и в то же время рекордно высокий модуль упругости (до 1 ТПа [1]).

С каждым годом растет число применений углеродных наноматериалов, разрабатываются новые программные средства для создания моделей наноструктур и их изучения. Несмотря на большое количество экспериментальных работ по определению строения нанообъектов в полной мере не хватает. Поэтому активно ведутся разнообразные теоретические работы в области описания и моделирования строения и различных свойств наноструктур.

Одним из наиболее распространенных видов нанотрубок являются углеродные нанотрубки. Углеродные нанотрубки – это гексагональные графитовые сетки, свернутые в цилиндрические поверхности (без швов). Взаимная ориентация гексагональной сетки графита и продольной оси нанотрубки определяет важную структурную характеристику – хиральность.

Хиральность нанотрубок обозначается набором символов (n, m) , указывающих координаты шестиугольника, который в результате сворачивания плоскости должен совпадать с шестиугольником, находящимся в начале координат.

В общем случае нанотрубки обладают винтовой осью симметрии, при этом углеродные шестиугольники закручиваются по спирали вокруг оси трубки.

По значению (n, m) различают прямые (ахиральные) нанотрубки $(n, 0)$ и (n, n) , в которых углеродные шестиугольники ориентированы параллельно и перпендикулярно оси цилиндра, соответственно. По внешнему виду поперечного среза, нанотрубки $(n, 0)$ называют

нанотрубками типа «зигзаг» или зигзагообразные (рис. 1 а), а нанотрубки (n, n) нанотрубками типа «кресло» или «зубчатые» (рис. 1 б).

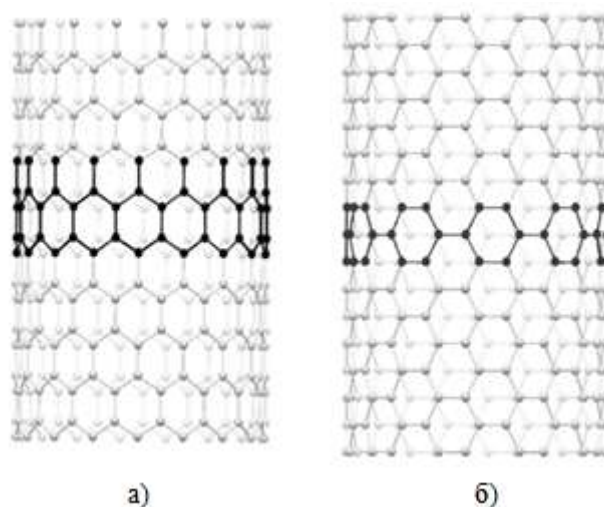


Рис. 1- Типы ахиральных углеродных нанотрубок, а) структура типа «зигзаг», б) структура типа «кресло», Элементарная ячейка нанотрубки выделена черным цветом

Для представления пространственного расположения атомов в нанотрубке зададим углеродную нанотрубку как набор идентичных колец, на которых находятся атомы углерода. При построении графической модели нанотрубки необходимо вводить начальные параметры, к которым относятся: $d_0=0,142$ нм – наименьшее расстояние между соседними атомами углерода в графитовой плоскости; n – количество ячеек в кольце; R – радиус цилиндра нанотрубки $R = \frac{\sqrt{3}d_0}{2 \sin \frac{\pi}{n}}$; s – количество слоев.

Координаты вершин 1 и 2 шестиугольников (рисунок 2), расположенных на верхнем кольце рассчитываются в цикле по формулам:

$$\begin{aligned} x_i &= R \cdot \cos\left(\frac{\pi}{n}\right); \\ y_i &= R \cdot \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \\ z_i &= d; \end{aligned}$$

где $0 \leq d \leq 3d_0 \cdot s$ изменяется с шагом $3d_0$.

Второе кольцо смещено относительно первого кольца по оси Z на расстояние равное $z_{i+1} = d + d_0 / 2$, а по осям X и Y на угол $\beta = \pi/n$. Тогда для перемещенных координат узлов 3 и 4 расположенных на втором кольце определим по формулам:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= R \cdot \cos((\pi/n) \cdot (i-1) + \beta)); \\ y_{i+1} &= R \cdot \sin((\pi/n) \cdot (i-1) + \beta)); \end{aligned}$$

где i – номер атома, $i=1..2n+1$ с шагом 2.

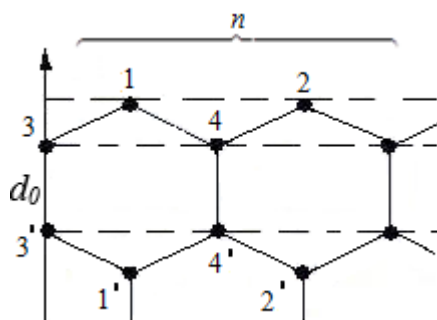


Рис. 2- Схема углеродной нанотрубки с зигзагообразной структурой

Точки 3' и 4' удалены на расстояние равное длине химической связи от точек 3 и 4. Точки 3', 1', 4' являются зеркальным отражением точек 3, 1, 4. На следующем шаге в цикле соединяем точки линиями.

При рассмотрении модифицированной структуры нанотрубки следует учитывать, что радиус цилиндра вычисляется по формуле

$$R = \frac{d_0 \cdot \sqrt{5 + 4 \cos \frac{\pi}{m}}}{2 \sin \frac{\pi}{m}},$$

где m – количество ячеек в кольце.

На первом шаге координаты вершин 1 и 2 шестиугольников (рисунок 3), рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} x_i^{1,2} &= R \cdot \cos \varphi \\ y_i^{1,2} &= R \cdot \sin \varphi \\ z_i^{1,2} &= \sqrt{3}d_0 \cdot (j-1), \quad j=1:n, \end{aligned}$$

где

$$j\text{- номер слоя,}$$

$$\varphi = \frac{\alpha}{2} + (\alpha + \beta) \cdot (i-1)$$

$$\alpha = 2 \arctg \frac{2 \sin \frac{\pi}{m}}{1 + 2 \cos \frac{\pi}{m}},$$

$$\beta = \frac{2\pi}{m} - \alpha.$$

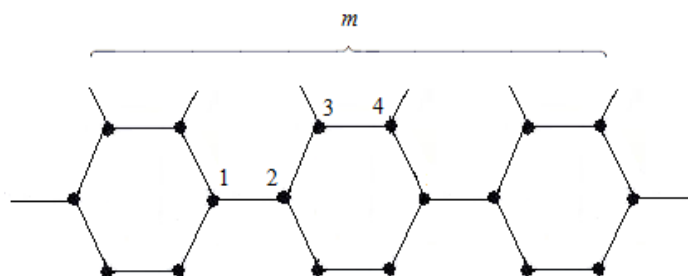


Рис. 3- Схема углеродной нанотрубки с «зубчатой» структурой

На втором шаге, координата вершины 3 вычисляется по формулам:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= (\alpha + \beta) \cdot i - \frac{\beta}{2}, \\ x_i^3 &= R \cdot \cos \varphi_1, \end{aligned}$$

$$y_i^3 = R \cdot \sin \varphi_1,$$
$$z_i^3 = \sqrt{3}d_0 \left(j - \frac{1}{2} \right)$$

и соответственно координата вершины 4

$$\varphi_2 = (\alpha + \beta) \cdot i + \frac{\beta}{2},$$
$$x_i^4 = R \cdot \cos \varphi_2,$$
$$y_i^4 = R \cdot \sin \varphi_2,$$
$$z_i^4 = \sqrt{3}d_0 \left(j - \frac{1}{2} \right).$$

Развитие современных нанотехнологий является неотъемлемой частью успешного развития всех сфер человеческой деятельности. Успех в развитии основан в разработке надежных способов создания наноматериалов с задаваемыми свойствами, и развитие существующих методов нанодиагностики с атомным разрешением.

Полученные результаты, как и в работах [3], могут быть использованы для моделирования структурных характеристик углеродосодержащих материалов, что позволит исследовать нанообъекты и в дальнейшем на их основе проектировать и создавать материалы с требуемыми характеристиками.

Список литературы

1. Kroto H.W., Heath J.R., O' Brein S.C., Curl R.F., Smalley R.I. C60: Buckminsterfullerene // Nature. 1985. Vol. 318. P. 162-163.
2. Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения / П.Н. Дьячков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 293 с.
3. Еремина В.В., Подолько Е.А. Моделирование электронной структуры неполярной валентной химической связи // Информатика и системы управления. – 2015. - №4(46). – С. 23-31.

01.01.01

А.С. Калитвин, В.А. Калитвин

Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
институт естественных, математических и технических наук,
кафедра математики и физики,
Липецк, kalitvinas@mail.ru, kalitvin@gmail.com

О МАТРИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЯХ ВОЛЬТЕРРА С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ В КОМПЛЕКСНОЙ ОБЛАСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-28-30

При достаточно общих предположениях относительно ядер устанавливается однозначная разрешимость системы линейных интегральных уравнений Вольтерра с частными интегралами в комплексной области.

Ключевые слова: линейные операторы и уравнения Вольтерра с частными интегралами, системы уравнений Вольтерра с частными интегралами.

1. Постановка задачи

В работе рассматриваются матричные линейные интегральные уравнения Вольтерра с частными интегралами следующего вида:

$$\begin{aligned} \varphi(z, \xi; t, \tau) = & \int_t^z \varphi(t_1, \xi; t, \tau) k_1(t_1, \xi) dt_1 + \int_\tau^\xi \varphi(z, \tau_1; t, \tau) k_2(z, \tau_1) d\tau_1 + \\ & + \int_t^z dt_1 \int_\tau^\xi \varphi(t_1, \xi_1; t, \tau) k_3(t_1, \xi_1) d\xi_1 + g(z, \xi), \end{aligned} \quad (1)$$

где $k_1(t_1, \xi)$, $k_2(z, \tau_1)$, $k_3(t_1, \xi_1)$ и $g(z, \xi)$ - заданные $m \times m$ матрицы своих аргументов в некоторой ограниченной замкнутой области $\bar{D} \times \bar{D}$, $z, t, t_1 \in D$; $\xi, \tau, \tau_1 \in \bar{D}$, $\bar{D}$ обозначает замыкание области D на комплексной плоскости, а интегралы вычисляются по некоторым гладким кривым без точек самопересечения, соединяющим точки t и z , τ и ξ и лежащим в $\bar{D}$.

Уравнение (1) с заданными аналитическими $m \times m$ матрицами своих аргументов в $D \times \bar{D}$ имеет единственное аналитическое матричное решение $\varphi(z, \xi; t, \tau)$, $z, t \in D$, $\xi, \tau \in \bar{D}$ [1,2] и применяется при изучении систем линейных уравнений с частными производными второго порядка. В частности, уравнению (1) с единичной диагональной матрицей $g(z, \xi) = E$ удовлетворяет матрица Римана для системы линейных уравнений с частными производными второго порядка

$$U_{z\xi} + AU_z + BU_\xi + CU = 0 \quad (2)$$

с матрицами

$$\begin{aligned} A = \frac{1}{4} \left[a \left(\frac{z+\xi}{2}, \frac{z-\xi}{2i} \right) + ib \left(\frac{z+\xi}{2}, \frac{z-\xi}{2i} \right) \right], \quad B = \frac{1}{4} \left[a \left(\frac{z+\xi}{2}, \frac{z-\xi}{2i} \right) - ib \left(\frac{z+\xi}{2}, \frac{z-\xi}{2i} \right) \right], \\ C = \frac{1}{4} c \left(\frac{z+\xi}{2}, \frac{z-\xi}{2i} \right), \quad U = u \left(\frac{z+\xi}{2}, \frac{z-\xi}{2i} \right), \end{aligned}$$

к которому приводится система $\Delta u + au_x + bu_y + cu = 0$, где a, b, c - заданные в некоторой области вещественные аналитические матрицы, а $u = (u_1, \dots, u_m)$ - искомый вектор [1,2]. Отметим, что с помощью матрицы Римана записывается решение системы уравнений (2).

Напомним, что матрица Римана $R(z, \xi; t, \tau)$ для системы уравнений (2) однозначно определяется следующими условиями [1]:

1. Каждая строка $R(z, \xi; t, \tau)$ является решением сопряжённой системы $V_{z\xi} - (VA)_z - (VB)_\xi + VC = 0$ относительно переменных z, ξ ;

2. Для матриц $R(t, \xi; t, \tau)$ и $R(z, \tau; t, \tau)$ имеют место равенства

$$R(t, \xi; t, \tau)_\xi - R(t, \xi; t, \tau)A(t, \tau) = 0, R(z, \tau; t, \tau)_z - R(z, \tau; t, \tau)B(z, \tau) = 0, R(t, \tau; t, \tau) = E.$$

Решение $\varphi(z, \xi; t, \tau)$ уравнения (1) можно рассматривать как матрицу размера $m \times m$, зависящую от параметров $(t, \tau) \in \bar{D} \times \bar{D}$. Фиксируем произвольные значения t и τ в $\bar{D}$ и обозначим их через a и b соответственно. Положим $\psi(z, \xi) = \varphi(z, \xi; a, b)$. Тогда уравнение (1) может быть записано в следующем виде:

$$\psi(z, \xi) = \int_a^z \psi(t_1, \xi) k_1(t_1, \xi) dt_1 + \int_b^\xi \psi(z, \tau_1) k_2(z, \tau_1) d\tau_1 + \int_a^z dt_1 \int_b^\xi \psi(t_1, \xi_1) k_3(t_1, \xi_1) d\xi_1 + g(z, \xi), \quad (3)$$

где интегралы вычисляются по некоторым гладким кривым без самопересечения, соединяющим точки a и z , b и ξ соответственно и лежащим в $\bar{D}$.

2. Случай непрерывных ядер

Уравнение (3) будем рассматривать как матричное интегральное уравнение Вольтерры с частными интегралами и параметрами $a, b \in \bar{D}$. Это уравнение - частный случай матричного интегрального уравнения Вольтерры с частными интегралами

$$\begin{aligned} \psi(z, \xi) = & \int_a^z \psi(t_1, \xi) l(z, \xi, t_1) dt_1 + \int_b^\xi \psi(z, \tau_1) m(z, \xi, \tau_1) d\tau_1 + \\ & + \int_a^z dt_1 \int_b^\xi \psi(t_1, \xi_1) n(z, \xi, t_1, \xi_1) d\xi_1 + g(z, \xi) \equiv (K\psi)(z, \xi) + g(z, \xi), \end{aligned} \quad (4)$$

где параметры $a, b \in \bar{D}$, $l(z, \xi, t_1)$, $m(z, \xi, \tau_1)$, $n(z, \xi, t_1, \xi_1)$ - заданные $m \times m$ матрицы своих аргументов в некоторой ограниченной замкнутой области $\bar{D} \times \bar{D} \times \bar{D}$, $g(z, \xi)$ - заданная на $\bar{D} \times \bar{D}$ матрица, а интегралы вычисляются по некоторым гладким кривым Γ_1 и Γ_2 без точек самопересечения, лежащим в $\bar{D}$. Уравнение (4) изучалось в [3].

При отсутствии аналитичности заданных в (4) матриц интегралы в (4) зависят от Γ_1 и Γ_2 . Поэтому и оператор K зависит от Γ_1 и Γ_2 , однако при приводимых ниже условиях его спектральный радиус $r(K)$ остается равным нулю.

Действительно, пусть $\Gamma_1 = \{z(u) : z(u) = \alpha_1(u) + i\beta_1(u), 0 \leq u \leq u_0\}$ и $\Gamma_2 = \{\xi(v) : \xi(v) = \alpha_2(v) + i\beta_2(v), 0 \leq v \leq v_0\}$ - гладкие кривые без точек самопересечения на комплексной плоскости. Положим

$$\begin{aligned} l_1(u, v, \bar{u}) &= l(z(u), \xi(v), z(\bar{u}))z'(\bar{u}), m_1(u, v, \bar{v}) = m(z(u), \xi(v), \xi(\bar{v}))\xi'(\bar{v}), \\ n_1(u, v, \bar{u}, \bar{v}) &= n(z(u), \xi(v), z(\bar{u}), \xi(\bar{v}))z'(\bar{u})\xi'(\bar{v}), \\ \psi_1(u, v) &= \psi(z(u), \xi(v)), g_1(u, v) = g(z(u), \xi(v)). \end{aligned}$$

Тогда оператор K и уравнение (4), соответственно, примут вид

$$(K_1\psi_1)(u, v) = \int_0^u \psi_1(\bar{u}, v) l_1(u, v, \bar{u}) d\bar{u} + \int_0^v \psi_1(u, \bar{v}) m_1(u, v, \bar{v}) d\bar{v} + \int_0^u d\bar{u} \int_0^v \psi_1(\bar{u}, \bar{v}) n_1(u, v, \bar{u}, \bar{v}) d\bar{v}, \quad (5)$$

$$\psi_1(u, v) = (K_1\psi_1)(u, v) + g_1(u, v). \quad (6)$$

С применением схем, аналогичных схемам из [4-6], доказывается, что спектральный радиус $r(K_1)$ действующего в пространстве непрерывных функций оператора K_1 с непрерывными ядрами равен нулю. Следовательно, спектральный радиус $r(K) = 0$.

В силу равенств $r(K)=0$ и $r(K_1)=0$ уравнения (4) и (6) имеют единственное непрерывное решение. Из абсолютной непрерывности интеграла следует, что единственное непрерывное решение уравнения (4) непрерывно зависит от параметров a и b . Тогда уравнение (1) с заданными непрерывными матрицами имеет единственное непрерывное на $\overline{D} \times \overline{D} \times \overline{D} \times \overline{D}$ решение.

3. Основные результаты

Пусть $u \in [0, u_0], v \in [0, v_0], G = [0, u_0] \times [0, v_0], \Omega \in \{[0, u_0], [0, v_0], G\}, C(G)$ - пространство непрерывных функций на G , $C(L^1(\Omega))$ - пространство измеримых на $G \times \Omega$ функций $a(u, v, \omega)$, удовлетворяющих условиям:

$$\int_{\Omega} |a(u, v, \omega)| d\omega \leq \text{const} < \infty,$$

для любого $\varepsilon > 0$ найдется такое $\delta > 0$, что при $|u - u'| < \delta, |v - v'| < \delta$ выполняется неравенство

$$\int_{\Omega} |a(u, v, \omega) - a(u', v', \omega)| d\omega < \varepsilon.$$

Через $C_{m \times m}(L^1(\Omega))$ обозначим пространство определенных на $G \times \Omega$ $m \times m$ матриц с элементами из $C(L^1(\Omega))$, а через $C_{m \times m}(G)$ - пространство $m \times m$ матриц с элементами из $C(G)$.

С применением схем, аналогичных схемам, рассмотренным в [4-6], доказывается

Теорема 1. Если $l_1 \in C_{m \times m}(L^1([0, u_0]))$, $m_1 \in C_{m \times m}(L^1([0, v_0]))$, $n_1 \in C_{m \times m}(L^1(G))$, то оператор (5) действует в $C_{m \times m}(G)$, непрерывен и $r(K_1) = 0$.

Из теоремы 1 вытекает

Теорема 2. Если выполнено условие теоремы 1 и $g_1 \in C_{m \times m}(G)$, то уравнение (6) имеет в $C_{m \times m}(G)$ единственное решение и оно может быть получено методом последовательных приближений.

Аналогичные утверждения имеют место для оператора K и для матричного уравнения Вольтерра с частными интегралами (4), в частности, для интегрального уравнения (3). Последнее обстоятельство позволяет применять теоремы 1 и 2 для изучения матричного интегрального уравнения Вольтерра с частными интегралами (1).

Список литературы

1. Бицадзе А.В. Краевые задачи для эллиптических уравнений второго порядка. М.: Наука, 1966. 204 с.
2. Векуа И.Н. Новые методы решения эллиптических уравнений. М.- Л.: ОГИЗ, 1948. 296 с.
3. Калитвин А.С. О матричных линейных интегральных уравнениях Вольтерра с частными интегралами// Актуальные проблемы теории уравнений в частных производных: Международная научная конференция, Москва, факультет ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, 16-18 июня 2016 г. Тезисы докладов: М.: МАКС Пресс, 2016, с. 106.
4. Калитвин А.С., Калитвин В.А. Интегральные уравнения Вольтерра и Вольтерра - Фредгольма с частными интегралами. Липецк, ЛГПУ, 2006, 177 с.
5. Калитвин А.С., Фролова Е.В. Линейные уравнения с частными интегралами. С-теория. Липецк, ЛГПУ, 2004, 195 с.
6. Калитвин А.С., Калитвин В.А., Трусова Н.И. О существовании и единственности непрерывных решений систем линейных уравнений Вольтерра с частными интегралами// Научные ведомости Белгородского государственного университета. Математика. Физика, 2015, вып. 41, № 23(220), с. 24-28.

01.01.01

А.С. Калитвин, Н.И. Трусова

Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
институт естественных, математических и технических наук,
кафедра математики и физики,
Липецк, kalitvinas@mail.ru, trusova.nat@gmail.com

О СУЩЕСТВОВАНИИ И ЕДИНСТВЕННОСТИ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРА С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-31-34

В двух пространствах вектор-функций рассматривается система линейных уравнений Вольтерра с частными интегралами. Доказано существование и единственность решения этой системы. Показано, что спектральный радиус линейного матричного оператора Вольтерра с частными интегралами равен нулю.

Ключевые слова: системы интегральных уравнений, уравнения Вольтерра, частные интегралы, существование и единственность решений.

1. Постановка задачи

В пространстве непрерывных вектор-функций двух переменных, непрерывно дифференцируемых по одной переменной, и в пространстве непрерывных вектор-функций двух переменных, с непрерывной частной производной по одной переменной и удовлетворяющих условию Липшица по другой переменной, доказывается существование и единственность решения системы линейных уравнений Вольтерра с частными интегралами следующего вида:

$$x_i(t, s) = \sum_{j=1}^n \left[\int_a^t l_{ij}(t, s, \tau) x_j(\tau, s) d\tau + \int_c^s m_{ij}(t, s, \sigma) x_j(t, \sigma) d\sigma + \int_a^t \int_c^s n_{ij}(t, s, \tau, \sigma) x_j(\tau, \sigma) d\tau d\sigma \right] + f_i(t, s) \quad (i = 1, \dots, n). \quad (1)$$

Предполагается, что $t \in [a, b], s \in [c, d]$, $l_{ij}(t, s, \tau)$, $m_{ij}(t, s, \sigma)$, $n_{ij}(t, s, \tau, \sigma)$ и $f_i(t, s)$ - заданные на $D \times [a, t]$, $D \times [c, s]$, $D \times [a, t] \times [c, d]$ и D соответственно функции, где $D = [a, b] \times [c, d]$, а интегралы здесь и далее понимаются в смысле Лебега.

Отметим, что к системам вида (1) с $m_{ij}(t, s, \sigma) \equiv 0$ ($i, j = 1, \dots, n$) приводятся системы линейных интегро-дифференциальных уравнений Барбашина, частным случаем которых является система линейных интегро-дифференциальных уравнений теории систем с существенно распределенными параметрами [1, 2].

2. Существование и единственность решения системы (1)

Рассмотрим систему (1) линейных уравнений Вольтерра с частными интегралами. Пусть $C(D)$ - пространство непрерывных на $D = [a, b] \times [c, d]$ функций, $C_t^1 = C_t^1([a, b])$ - пространство непрерывно дифференцируемых на $[a, b]$ функций, $H_s = H([c, d])$ - пространство функций, удовлетворяющих условию Липшица на $[c, d]$, $X = H_s(C_t^1)$ - пространство непрерывных на D функций $x(t, s)$, которые непрерывно дифференцируемы по t при каждом фиксированном $s \in [c, d]$ и удовлетворяют условию Липшица по s при каждом фиксированном $t \in [a, b]$: $|x(t, s) - x(t, \bar{s})| \leq N(x) |s - \bar{s}|$, где $N(x)$ - константа, зависящая от функции x .

Хорошо известно [3], что $C(D)$, $C_t^1([a, b], H_s, H_s(C_t^1))$ - банаховы пространства с нормами $\|x\|_{C(D)} = \max_{(t,s) \in D} |x(t, s)|$, $\|y\|_{C_t^1} = \max_{t \in [a, b]} (|x(t)| + |x'(t)|)$,

$$\|z\|_{H_s} = \max_{s \in [c, d]} (|x(s)| + \sup_{u \neq v} |z(u) - z(v)| / |u - v|), \|x\|_X = \left\| \|x(t, s)\|_{C_t^1} \right\|_{H_s}, \text{ соответственно.}$$

Через $C_n(D)$ и $X_n(D)$ обозначим пространства вектор - функций $x(t, s) = (x_1(t, s), \dots, x_n(t, s))$, где $x_i \in C(D)$, $x_i \in X$, соответственно. $C_n(D)$ и X_n - банаховы пространства с нормами $\|x\|_{C_n(D)} = \sum_{i=1}^n \|x_i\|_{C(D)}$ и $\|x\|_{X_n(D)} = \sum_{i=1}^n \|x_i\|_X$.

Из приведенных определений следует непрерывность вложения $X_n(D) \subset C_n(D)$.

Систему уравнений (1) запишем в виде системы

$$x(t, s) = (L + M + N)x(t, s) + f(t, s), \quad (2)$$

где $x(t, s) = (x_1(t, s), \dots, x_n(t, s))$, $f(t, s) = (f_1(t, s), \dots, f_n(t, s))$, $L = (L_{ij})_{i,j=1}^n$, $M = (M_{ij})_{i,j=1}^n$, $N = (N_{ij})_{i,j=1}^n$, а операторы L_{ij}, M_{ij}, N_{ij} ($i, j = 1, \dots, n$) определяются равенствами

$$(L_{ij}x_j)(t, s) = \int_a^t l_{ij}(t, s, \tau)x_j(\tau, s)d\tau, \quad (M_{ij}x_j)(t, s) = \int_c^s m_{ij}(t, s, \sigma)x_j(t, \sigma)d\sigma, \\ (N_{ij}x_j)(t, s) = \int_a^t \int_c^s n_{ij}(t, s, \tau, \sigma)x_j(\tau, \sigma)d\tau d\sigma.$$

Далее будем предполагать, что $l_{ij}(t, s, \tau)$, $m_{ij}(t, s, \sigma)$, $n_{ij}(t, s, \tau, \sigma)$ - непрерывные по совокупности переменных вместе с частными производными по переменной t функции, удовлетворяющие условию Липшица с константой N по переменной s при любых значениях других переменных $|l_{ij}(t, s, \tau) - l_{ij}(t, \bar{s}, \tau)| \leq N|s - \bar{s}|$, $|m_{ij}(t, s, \tau) - m_{ij}(t, \bar{s}, \tau)| \leq N|s - \bar{s}|$, $|n_{ij}(t, s, \tau, \sigma) - n_{ij}(t, \bar{s}, \tau, \sigma)| \leq N|s - \bar{s}|$.

Непосредственно проверяется, что при сделанных предположениях операторы L_{ij}, M_{ij}, N_{ij} ($i, j = 1, \dots, n$) действуют в пространствах X и $C(D)$. С применением теоремы о замкнутом графике доказывается их непрерывность на X и на $C(D)$. Следовательно, операторы L , M , N и $L + M + N$ действуют в $X_n(D)$ и в $C_n(D)$ и непрерывны. Поэтому систему уравнений (2) удобно рассматривать в $X_n(D)$ и в $C_n(D)$.

Система уравнений (2), очевидно, эквивалентна в X_n и $C_n(D)$ системе уравнений

$$(I - L)(I - M)x(t, s) = (LM + N)x(t, s) + f(t, s). \quad (3)$$

Покажем, что спектральный радиус оператора L , действующего в $C_n(D)$, равен нулю. Так как $l_{ij}(t, s, \tau)$ ($i, j = 1, \dots, n$) - непрерывные функции, то спектральный радиус непрерывного в $C(D)$ оператора L_{ij} равен нулю: $r(L_{ij}) = 0$ ($i, j = 1, \dots, n$) [4, 5]. Композиция операторов L_{ij} и L_{pq} является частично интегральным оператором Вольтерра с непрерывным ядром [4,5]. Следовательно, спектральный радиус этой композиции также равен нулю.

Рассмотрим систему уравнений

$$\lambda x(t, s) = (Lx)(t, s) + f(t, s), \quad (4)$$

где комплексное число $\lambda \neq 0$. Для простоты считаем в (4) $\lambda = 1$.

В силу равенства $r(L_{11}) = 0$ из уравнения

$$x_1(t, s) = \sum_{j=1}^n \int_a^t l_{1j}(t, s, \tau)x_j(\tau, s)d\tau + f_1(t, s)$$

находим $x_1(t, s)$. Подставляя $x_1(t, s)$ в остальные уравнения системы (4), получим систему с неизвестными функциями $x_2(t, s), \dots, x_n(t, s)$. Учитывая равенство нулю спектрального радиуса оператора, действующего на $x_2(t, s)$ во втором уравнении, находим $x_2(t, s)$. Продолжая этот процесс, получим частично интегральное уравнение $x_n(t, s) = (Vx_n)(t, s) + h(t, s)$, где V - непрерывный в $C(D)$ частично интегральный оператор Вольтерра с $r(V) = 0$, а h - некоторая функция из $C(D)$. Из этого уравнения находим $x_n(t, s)$. Подставляя $x_n(t, s)$ в предыдущее уравнение, получим $x_{n-1}(t, s)$. Продолжая эту процедуру, найдем $x_1(t, s), \dots, x_n(t, s)$. Таким образом, при любых $\lambda \neq 0$ и $f \in C_n(D)$ система уравнений (4) имеет единственное решение в $C_n(D)$. Следовательно, спектральный радиус оператора L , действующего в $C_n(D)$, равен нулю: $r(L) = 0$.

Аналогично доказывается, что спектральный радиус оператора M , действующего в $C_n(D)$, равен нулю: $r(M) = 0$.

Тогда на $C_n(D)$ существуют ограниченные операторы $(I - L)^{-1}$ и $(I - M)^{-1}$. Аналогично [3,4] доказывается, что эти операторы могут быть записаны в виде

$$(I - L)^{-1} = I + (P_{ij})_{ij=1}^n, (I - M)^{-1} = I + (Q_{ij})_{ij=1}^n, \quad (5)$$

где P_{ij} и Q_{ij} ($i, j = 1, \dots, n$) - частично интегральные операторы с непрерывными ядрами, определяемые равенствами

$$(P_{ij}x_j)(t, s) = \int_a^t p_{ij}(t, s, \tau)x_j(\tau, s)d\tau, (Q_{ij}x_j)(t, s) = \int_c^s q_{ij}(t, s, \sigma)x_j(t, \sigma)d\sigma.$$

Применяя оператор $(I - M)^{-1}(I - L)^{-1}$ к обеим частям системы уравнений (3) и учитывая равенства (5), получим эквивалентную систему уравнений

$$x(t, s) = \int_a^t \int_c^d r(t, s, \tau, \sigma)x(\tau, \sigma)d\tau d\sigma + e(t, s) \equiv (Rx)(t, s) + e(t, s), \quad (6)$$

где $e = (I - M)^{-1}(I - L)^{-1}f \in C_n(D)$, а $r(t, s, \tau, \sigma) = (r_{ij}(t, s, \tau, \sigma))_{i,j=1}^n$ с некоторыми непрерывными функциями $r_{ij}(t, s, \tau, \sigma)$.

Аналогично доказательству равенства $r(L) = 0$, доказывается равенство $r(R) = 0$, где $r(R)$ - спектральный радиус оператора R . Следовательно, система уравнений (6) имеет единственное решение в $C_n(D)$.

Таким образом, при любой вектор-функции $f \in C_n(D)$ система (1) линейных уравнений Вольтерра с частными интегралами имеет единственное решение в $C_n(D)$. Следовательно, спектральный радиус рассматриваемого в $C_n(D)$ оператора $L + M + N$ равен нулю.

Анализ приведенных рассуждений показывает, что операторы P_{ij} и Q_{ij} из (5) действуют в пространстве X и непрерывны. Тогда система (6) имеет единственное решение в $X_n(D)$, если $f \in X_n(D)$. Таким образом, справедлива

Теорема 1. Если непрерывные по совокупности переменных вместе с частными производными по переменной t функции $l_{ij}(t, s, \tau)$, $m_{ij}(t, s, \sigma)$, $n_{ij}(t, s, \tau, \sigma)$ ($i, j = 1, \dots, n$) удовлетворяют условию Липшица по переменной s при любых значениях других переменных, то для любой вектор-функции $f \in X_n(D)$ система (1) линейных уравнений Вольтерра с частными интегралами имеет единственное решение в $C_n(D)$ и в $X_n(D)$.

Список литературы

1. Appell J.M., Kalitvin A.S., Zabrejko P.P. Partial Integral Operators and Integro-Differential Equations. New York-Basel: Marcel Dekker, 2000. 560 p.
2. Brack G. Systems with substantially distributed parameters// Math. Res. 27, 421-424 (1985).
3. Крейн С.Г. (ред.). Функциональный анализ. - М.: Наука, 1972. 544 с.
4. Калитвин А.С., Калитвин В.А. Интегральные уравнения Вольтерра и Вольтерра - Фредгольма с частными интегралами. Липецк: ЛГПУ, 2006. 177 с.
5. Калитвин А.С., Фролова Е.В. Линейные уравнения с частными интегралами. С-теория. Липецк: ЛГПУ, 2004. 195 с.

01.01.00

А.Г. Мясников

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Институт фундаментального образования, кафедра прикладной математики,
Москва, grubus@yandex.ru

О СИЛЬНО АМЕНАБЕЛЬНЫХ $L^1(G)$ -МОДУЛЯХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-35-40

Вводятся понятия сильно аменабельного $L^1(G)$ -модуля и компоненты сильной аменабельности. Изучаются инвариантные свойства сильно аменабельных $L^1(G)$ -модулей. Рассматривается возможность их применения для изучения сильно аменабельных C^ -алгебр.*

Ключевые слова: локально компактная группа, инвариантное среднее, аменабельный $L^1(G)$ -модуль, сильно аменабельный $L^1(G)$ -модуль, компонента сильной аменабельности.

1. Компонента сильной аменабельности

Понятие аменабельности играет важную роль во многих разделах современной математики – в эргодической теории, гармоническом анализе, теории динамических систем, теории вероятностей, математической статистике и т.д. [1,2]. Следует заметить, например, что аменабельные группы характеризуются существованием левоинвариантной конечно аддитивной вероятностной меры. Соответствующие инвариантные свойства также имеют другие объекты теории – аменабельные C^* -алгебры [3,4] и аменабельные модули [5]. В настоящей статье вводится понятие сильно аменабельного модуля и показана возможность их применения в теории аменабельных локально компактных групп и сильно аменабельных C^* -алгебр.

Пусть G – локально компактная группа с левой мерой Хаара λ_G , $L^1(G)$ – инволютивная банахова алгебра со свёрткой в качестве произведения и с инволюцией $\varphi^* = \Delta_G^{-1} \tilde{\varphi}$, где Δ_G – модулярная функция, $\tilde{\varphi}(t) = \varphi(t^{-1})$, $t \in G$. Банахово пространство $L^\infty(G)$ рассматривается как сопряжённое к $L^1(G)$ – [4].

Положим $P(G) = \{\varphi : 0 \leq \varphi \in L^1(G), \|\varphi\|_1 = 1\}$. Функционал $m \in L^\infty(G)^*$ называется средним, если $m(1_G) = \|m\| = 1$. Пусть m – среднее, тогда среднее m^* определяется равенством $m^*(f) = m(\tilde{f})$. Среднее m называется топологически левоинвариантным на подмножестве $X \subset L^\infty(G)$, если $m(\varphi * f) = m(f)$ для всех $\varphi \in P(G)$, $f \in X$. Через δ обозначим среднее такое, что $f \circ \delta = f$ для всех $f \in L^\infty(G)$ [6].

В дальнейшем, через M будет обозначаться произвольный левый банахов $L^1(G)$ -модуль. Модульным произведением в $L^1(G)$ является свёртка $\varphi_1 * \varphi_2(s) = \int_G \varphi_1(t) \varphi_2(t^{-1}s) ds$. Равенство

$(\varphi \omega)(x) = \omega(\varphi^* x)$, где $x \in M$, $\omega \in M^*$, $\varphi \in L^1(G)$, $m \in L^\infty(G)^*$, позволяет рассматривать сопряжённое пространство M^* как левый $L^1(G)$ -модуль. Определим билинейные операции

$$\begin{aligned} M \times M^* &\rightarrow L^\infty(G), & (x, \omega) &\mapsto x \circ \omega; & M^* \times L^\infty(G)^* &\rightarrow M^*, & (\omega, m) &\mapsto \omega \circ m; \\ & & 1 & & & & 2 \\ L^\infty(G)^* \times M^{**} &\rightarrow M^{**}, & (m, F) &\mapsto m \circ F, \\ & & 3 \end{aligned}$$

равенствами

$$\begin{aligned} x \circ \omega(\varphi) &= \omega(\varphi^* x), & \omega \circ m(x) &= m(x \circ \omega), & m \circ F(\omega) &= F(\omega \circ m), \\ 1 & & 2 & & 1 & & 3 & & 2 \end{aligned}$$

где $x \in M, \omega \in M^*, F \in M^{**}, \varphi \in L^\infty(G), m \in L^\infty(G)^*$. Через $M_1 \circ M^*$ обозначим замкнутое подпространство в $L^\infty(G)$, порождённое функциями вида $x \circ \omega$, где $x \in M, \omega \in M^*$, и пусть $(M_1 \circ M^*)^\sim = \{\tilde{f} : f \in M_1 \circ M^*\}$. Из определений следует, что $M_1 \circ M^*$ и $(M_1 \circ M^*)^\sim$ являются левыми банаховыми $L^1(G)$ -модулями.

Для произвольного $X \subset L^\infty(G)$ определим подмножество $X_0 \subset L^\infty(G)$, как состоящее из всех функций $f \in X$ таких, что $\inf_{\varphi \in P(G)} \|\varphi * f\|_1 = 0$.

Лемма 1.1. Следующие свойства модуля M эквивалентны:

- (i) множество $(M_1 \circ M^*)_0$ (соотв. $((M_1 \circ M^*)^\sim)_0$) замкнуто относительно сложения;
- (ii) множество $(M_1 \circ M^*)_0$ (соотв. $((M_1 \circ M^*)^\sim)_0$) замкнуто относительно свёртки с функциями из $P(G)$;
- (iii) существует сеть $\{\varphi_\alpha\} \subset P(G)$ такая, что $\lim_\alpha \|\varphi_\alpha * (\varphi * f - f)\|_\infty = 0$ для всех $f \in (M_1 \circ M^*)_0$ (соотв. $f \in ((M_1 \circ M^*)^\sim)_0$) и всех $\varphi \in P(G)$;
- (iv) существует сеть $\{\varphi_\beta\} \subset P(G)$ такая, что $w\text{-}\lim \varphi_\beta * (\varphi * f - f) = 0$ для всех $f \in (M_1 \circ M^*)_0$ (соотв. $f \in ((M_1 \circ M^*)^\sim)_0$) и всех $\varphi \in P(G)$.

Доказательство. Эквивалентность утверждений (i)-(iv) следует из [5]

Определение 1.2. Левый банахов $L^1(G)$ -модуль M называется аменабельным (соотв. инверсно аменабельным), если $M_1 \circ M^*$ (соотв. $(M_1 \circ M^*)^\sim$) удовлетворяет условиям (i)-(iv) леммы 1.1. Левый банахов $L^1(G)$ -модуль называется сильно аменабельным, если он аменабелен и инверсно аменабелен.

Приведённое здесь определение аменабельного $L^1(G)$ -модуля эквивалентно определению из [5]. Модули, сопряжённые к инверсно аменабельным $L^1(G)$ -модулям, рассматривались в [6].

Согласно [5], любой $L^1(G)$ -модуль M имеет наибольший аменабельный подмодуль, называемый компонентой аменабельности и обозначаемый AM . Рассмотрим случай инверсной и сильной аменабельности. Введём обозначения:

$$\begin{aligned} A_I M &= \{x \in M : x \circ M^* \subset AL^\infty(G)^\sim\}, \\ 1 \\ A_S M &= \{x \in M : x \circ M^* \subset AL^\infty(G)^\sim \cap AL^\infty(G)\}. \\ 1 \end{aligned}$$

Теорема 1.3. Пусть M - левый банахов $L^1(G)$ -модуль. Тогда:

(i) $A_I M$ - наибольший инверсно аменабельный подмодуль в M ;

(ii) $A_S M$ - наибольший сильно аменабельный подмодуль в M .

Доказательство. (i): Из определения инверсной аменабельности и свойств $AL^\infty(G)$ следует, что подмодуль $X \subset M$ инверсно аменабелен в том и только том случае, когда $(X \circ M^*)^\sim \subset AL^\infty(G)$. Но это означает, что $X \subset A_I M$.

1
(ii): Следует из предыдущего

Определение 1.4. Подмодули $A_I M \subset M$ и $A_S M \subset M$ назовём компонентой инверсной аменабельности и компонентой сильной аменабельности в M .

Рассмотрим некоторые свойства этих компонент. Прежде всего, отметим очевидные равенства

$$A_S M = A_I (AM) = A(A_I M) = A_I M \cap AM.$$

Согласно [1] подмодуль $X \subset L^\infty(G)$ называется топологически левоинтровертным, если $X \circ L^\infty(G) \subset X$, что эквивалентно равенству $X \circ L^\infty(G) = X$. В частности, компонента 1 аменабельности $AL^\infty(G)$ топологически левоинтровертна [5].

Лемма 1.5. Пусть M - левый банахов $L^1(G)$ -модуль. Тогда $A_I L^\infty(G)$ (соотв. $A_S L^\infty(G)$) является наибольшим топологически левоинтровертным подмодулем в $AL^\infty(G)^\sim$ (соотв. $AL^\infty(G)^\sim \cap AL^\infty(G)$).

Доказательство. Рассмотрим сначала случай инверсной аменабельности. Пусть $f \in A_I L^\infty(G)$. Согласно теореме 1.3, $f \circ L^\infty(G)^* \subset AL^\infty(G)^\sim$, следовательно $f = f \circ \delta \in AL^\infty(G)^\sim$ и $A_I L^\infty(G) \subset AL^\infty(G)^\sim$. Так как $A_I L^\infty(G) \circ L^\infty(G)^* \subset AL^\infty(G)^\sim$, то $A_I L^\infty(G) \circ L^\infty(G)^* = A_I L^\infty(G)$, т.е. подмодуль $A_I L^\infty(G)$ топологически левоинтровертен. Наконец, если подмодуль $X \subset AL^\infty(G)^\sim$ инверсно аменабелен, то $X \circ L^\infty(G)^* \subset AL^\infty(G)^\sim$ и $X \subset A_I L^\infty(G)$.

Рассмотрим компоненту сильной аменабельности. Так как $A_S L^\infty(G) = A_I L^\infty(G) \cap AL^\infty(G)$, то, согласно доказанному, компонента является топологически левоинтровертным подмодулем в $AL^\infty(G)^\sim \cap AL^\infty(G)$. Если подмодуль $X \subset AL^\infty(G)^\sim \cap AL^\infty(G)$ также топологически левоинтровертен, то $X \subset A_I L^\infty(G) \cap AL^\infty(G)$

Как известно, модуль M аменабелен тогда и только тогда, когда $M \circ M^* \subset AL^\infty(G)$ [5].

Рассмотрим случай сильной аменабельности.

Теорема 1.6. Пусть M - левый банахов $L^1(G)$ -модуль. Следующие условия эквивалентны:

(i) модуль M инверсно аменабелен (соотв. сильно аменабелен);

(ii) $M \circ M^* \subset A_I L^\infty(G)$ (соотв. $M \circ M^* \subset A_S L^\infty(G)$).

Доказательство. Предположим сначала, что модуль M инверсно аменабелен, и пусть

$x \in M$, $\omega \in M^*$, $m \in M(G)$. Так как

$$(x \circ \omega) \circ m = x \circ (\omega \circ m) \in AL^\infty(G)^\sim,$$

то $x \circ \omega \in A_I L^\infty(G)$. Обратно, так как $x \circ \omega = (x \circ \omega) \circ \delta \in AL^\infty(G)^\sim$ для всех $x \in M$,

$\omega \in M^*$, то модуль M инверсно аменабелен.

Осталось заметить, что аменабельность модуля M эквивалентна аменабельности модуля $M \circ M^*$.

1

Аменабельный вариант следующего примера приведён в [5].

Пример 1.7. Пусть G - локально компактная группа. Следующие условия эквивалентны:

(i) группа G - аменабельная;

(ii) модуль $L^\infty(G)$ - сильно аменабельный;

(iii) модуль $L^1(G)$ - сильно аменабельный;

(iv) все левые банаховы $L^1(G)$ -модули сильно аменабельны.

Пример 1.8. Пусть G - свободная дискретная группа с алфавитом a, b , и пусть χ_X - характеристическая функция подмножества $X \subset G$, состоящего из всех слов с неприводимой формой записи, заканчивающихся на $a^{\pm n}$, где n - произвольное натуральное число. В соответствии с [6], $\chi_X \in AL^\infty(G)$ и $\tilde{\chi}_X \notin AL^\infty(G)$. Предположим, что $\chi_X \in A_S L^\infty(G)$. Тогда

$$\chi_X \in A_I L^\infty(G) \subset AL^\infty(G)^\sim,$$

откуда $\tilde{\chi}_X \in AL^\infty(G)$. В соответствии с полученным противоречием, $AL^\infty(G) \neq A_S L^\infty(G)$.

2. Инвариантные свойства сильно аменабельных модулей

Введём замкнутые линейные подпространства $M^* \circ_2 L^\infty(G)^* \subset M^*$, $L^\infty(G)^* \circ_3 M^{**} \subset M^{**}$,

порождённые элементами $\omega \circ m$ и $\omega \circ m$. В этом разделе будет предполагаться, что подмодуль

$(M \circ M^*)^\sim \subset L^\infty(G)$ топологически левоинтroversен. Аменабельные варианты приведённых

ниже утверждений можно найти в [5,7].

Теорема 2.1. Следующие условия эквивалентны:

(i) модуль M - сильно аменабельный;

(ii) если среднее m топологически левоинвариантно на $A_S L^\infty(G)$, то $m(\varphi x \circ \omega) = m(x \circ \omega)$,

$m^*(x \circ \varphi \omega) = m^*(x \circ \omega)$ для всех $x \in M$, $\omega \in M^*$, $\varphi \in P(G)$.

(iii) существует среднее $m_0 \in L^\infty(G)^*$ такое, что $m_0(\varphi x \circ \omega) = m_0(x \circ \omega)$,

$m_0^*(x \circ \varphi \omega) = m_0^*(x \circ \omega)$ для всех $x \in M$, $\omega \in M^*$, $\varphi \in P(G)$.

Доказательство. (i) $\Rightarrow$ (ii): Пусть модуль M сильно аменабелен. Так как $M \circ M^* \subset AL^\infty(G)$,

то справедливо равенство $m(\varphi x \circ \omega) = m(x \circ \omega)$. Далее, так как $M \circ M^* \subset AL^\infty(G)^\sim$, то

$$m^*(x \circ \varphi \omega) = m^*((x \circ \omega) * \tilde{\varphi}) = m(\varphi * (x \circ \omega)^\sim) = m((x \circ \omega)^\sim) = m^*(x \circ \omega)$$

для всех $x \in M$, $\omega \in M^*$, $\varphi \in P(G)$ [7].

(ii) $\Rightarrow$ (iii): Очевидно;

(iii) $\Rightarrow$ (i): Предположим, что модуль M удовлетворяет условию (iii). Тогда $M \circ M^* \subset AL^\infty(G)$ [5]. Также,

$$m_0(\varphi * (x \circ \omega)^\sim) = m_0^*(x \circ \varphi \omega) = m_0^*(x \circ \omega) = m_0((x \circ \omega)^\sim),$$

следовательно среднее m_0 топологически левоинвариантно на $(M \circ M^*)^\sim$. В соответствии

с [5], $(M \circ M^*)^\sim \subset AL^\infty(G)$. Осталось применить лемму 1.5

Следствие 2.2. Следующие условия эквивалентны:

(i) модуль M - сильно аменабельный;

(ii) если среднее m топологически левоинвариантно на $A_S L^\infty(G)$, то

$$\varphi(\omega \circ m) = \omega \circ m, (\varphi \omega) \circ m^* = \omega \circ m^* \text{ для всех } \omega \in M^*, \varphi \in P(G);$$

(iii) существует среднее $m_0 \in L^\infty(G)^*$ такое, что $\varphi(\omega \circ m_0) = \omega \circ m_0$, $(\varphi \omega) \circ m_0^* = \omega \circ m_0^*$ для

всех $\omega \in M^*$, $\varphi \in P(G)$.

Доказательство. (i) $\Rightarrow$ (ii): Пусть M - сильно аменабельный модуль. Согласно теореме 2.1,

$$\varphi(\omega \circ m)(x) = m(\varphi^* x \circ \omega) = m(x \circ \omega) = (\omega \circ m)(x),$$

$$(\varphi \omega) \circ m^*(x) = m^*(x \circ \varphi \omega) = m^*(x \circ \omega) = \omega \circ m^*(x)$$

для всех $x \in M$, $\omega \in M^*$, $\varphi \in P(G)$ и любого топологически левоинвариантного на $A_S L^\infty(G)$ среднего m .

(ii) $\Rightarrow$ (iii): Очевидно.

(iii) $\Rightarrow$ (i): Так как

$$m_0(\varphi x \circ \omega) = \omega \circ m_0(\varphi x) = \varphi^*(\omega \circ m_0)(x) = m_0 \circ \omega(x) = m_0(x \circ \omega),$$

$$m_0^*(x \circ \varphi \omega) = (\varphi \omega) \circ m_0^*(x) = \omega \circ m_0^*(x) = m_0^*(x \circ \omega)$$

для всех $x \in M$, $\omega \in M^*$, $\varphi \in P(G)$, то, согласно теореме 2.1, модуль M сильно аменабелен

Аналогично доказывается

Следствие 2.3. Следующие условия эквивалентны:

(i) модуль M - сильно аменабельный;

(ii) если среднее m топологически левоинвариантно на $A_S L^\infty(G)$, то

$$m_3 \circ (\varphi F) = m_3 \circ F, \quad \varphi(m_3^* \circ F) = m_3^* \circ F \text{ для всех } F \in M^{**}, \omega \in M^*, \varphi \in P(G);$$

(iii) существует среднее $m_0 \in L^\infty(G)^*$ такое, что

$$m_0 \circ (\varphi F) = m_0 \circ F, \quad \varphi(m_0^* \circ F) = m_0^* \circ F \text{ для всех } F \in M^{**}, \omega \in M^*, \varphi \in P(G).$$

Заметим, что эквивалентность условий (i), (ii), как в теореме 2.1, так и в её следствиях, может быть доказана без предположения о левоинтроектности подмодуля $(M \circ M^*)^\sim$.

1

В заключение приведём пример, показывающий существование связи между сильной аменабельностью модулей и сильной аменабельностью C^* -алгебр.

Пример 2.4. C^* -алгебра A называется сильно аменабельной, если каждое дифференцирование $D: A \rightarrow X^*$, где X - банахов A -бимодуль, является внутренним [8].

Обозначим через U унитарную группу алгебры A . В соответствии с равенством $\chi_{\{u\}}(a \otimes b) = ua \otimes bu^*$, где $a, b \in A, u \in U$, проективное тензорное произведение $A \hat{\otimes} A$ может

рассматриваться как левый $l^1(U)$ -модуль. Следуя [3], для каждого билинейного отображения $V \in \text{Bil}A$ введём функцию $\Delta(V)$ на $l^\infty(U)$ с помощью равенства $\Delta(V)(u) = V(u^*, u)$. Как известно [3], сильная аменабельность C^* -алгебры A эквивалентна существованию левоинвариантного среднего на $\Delta(\text{Bil}A)$. Так как $(A \hat{\otimes} A) \circ \text{Bil}A = \Delta(\text{Bil}A)$, то в соответствии

1

с теоремой 2.1 C^* -алгебра A сильно аменабельна в том и только том случае, когда сильно аменабелен $l^1(U)$ -модуль $A \hat{\otimes} A$.

Список литературы

1. Paterson A.L.T. Amenability. - AMS, Providence. 1988. 452 p.
2. Bodaghi A. Module amenability of Banach algebras. - LAP Lambert Academic Publishing. - 2012. - 168 p.
3. Paterson A.L.T. Invariant mean characterizations of amenable C^* -algebras// Houston J. Math. - 1991. Vol. 17. - P. 551-565.
4. Bunce J. Characterizations of amenable and strongly amenable C^* -algebras// Pacific J. Math. - 1972. Vol. 43. - P.653-572.
5. Мясников А.Г. Аменабельные банаховы $L^1(G)$ -модули, инвариантные средние и регулярность в смысле Аренса// Изв. вузов. Сер. «Математика». - 1993. №2. - С. 72-80.
6. Мясников А.Г. Слабые компоненты аменабельности $L^1(G)$ -модулей, аменабельные группы и эргодическая теорема// Математические заметки. - 1999. Т.66. Вып. 6. - С. 879-886.
7. Мясников А.Г. Аменабельные $L^1(G)$ -модули и аменабельные C^* - алгебры// Вопросы математики, механики сплошных сред и применение математических методов в строительстве. Сборн. научн. тр. - М.: МГСУ. -2008. - Вып. 11. - С.101-119.
8. Johnson B.E. Cohomology in Banach algebras. - Providence, RI: Memoirs of the AMS. - 1972. - 96 p.

01.01.01

М.П. Овчинцев к.ф.-м.н.

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет»,
Институт фундаментального образования, кафедра прикладной математики,
6714543@rambler.ru

ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ КЛАССА ХАРДИ ПО ИХ ЗНАЧЕНИЯМ В ТОЧКАХ, ОБРАЗУЮЩИХ ПРАВИЛЬНЫЙ МНОГОУГОЛЬНИК

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-41-44

В работе находится линейный наилучший метод приближения значений функций класса Харди в единичном круге в нуле по информации об их значениях в конечном числе точек, образующих правильный многоугольник. Статья разбита на три раздела. В первом приводятся необходимые понятия и результаты из работы К.Ю. Осипенко. Здесь же напоминаются некоторые результаты из работы С.Я. Хавинсона и других авторов. Во втором разделе вычисляется погрешность наилучшего метода и выписывается соответствующая экстремальная функция. В третьем – вычисляются коэффициенты линейного наилучшего метода. В конце работы они существенно упрощаются.

Ключевые слова: оптимальное восстановление, линейный наилучший метод, погрешность наилучшего метода, пространство Харди.

1. Введение.

Пусть W – некоторое множество, лежащее в линейном пространстве X и $L, l_1, \dots, l_n$ – линейные функционалы, заданные на X . Если $S(t_1, \dots, t_n)$ – комплексная функция, то погрешностью приближения методом S называется

$$r_n(S) = \sup_{x \in W} |L(x) - S(l_1(x), \dots, l_n(x))|.$$

Метод $S_0(t_1, \dots, t_n)$ называется наилучшим методом приближения, если $r_n(S_0) = \inf_S r_n(S)$.

В работе [1] доказано (при некоторых условиях на W) существование линейного наилучшего метода приближения $S_0 = \sum_{k=1}^n c_k l_k(x)$ (здесь c_k – комплексные числа). Причем погрешность наилучшего метода приближения

$$r_n(S_0) = \sup_{\substack{x \in W \\ l_1(x) = \dots = l_n(x) = 0}} |L(x)|. \quad (1)$$

Пусть $K = \{z: |z| < 1\}$ – единичный круг, а $\Gamma = \{|z| = 1\}$ – единичная окружность. Обозначим $H_p^1 = \{f(z), f(z) \in H^p: \int_{\Gamma} |f(\zeta)|^p d\varphi \leq 1\}$ – единичный шар в пространстве H^p (определение класса H^p аналитических в K функций см. [2]). Положим

$$L(f) = f(z_0), l_1(f) = f(z_1), \dots, l_n(f) = f(z_n), f(z) \in H^p (1 \leq p < \infty),$$

где $z_0, z_1, \dots, z_n$ – любые различные точки, лежащие в круге K .

Обозначим $r_p(z_0, z_1, \dots, z_n) = r_n(S_0)$ как погрешность наилучшего метода приближения. Тогда (см. (1))

$$r_p(z_0, z_1, \dots, z_n) = \sup_{\substack{f(z) \in H_p^1 \\ f(z_1) = \dots = f(z_n) = 0}} |f(z_0)|. \quad (2)$$

Из работы [3] вытекает, что

$$r_p(z_0, z_1, \dots, z_n) = \frac{|B(z_0)|}{(2\pi)^{\frac{1}{p}} (1 - |z_0|^2)^{\frac{1}{p}}}, \quad (3)$$

а коэффициенты линейного наилучшего метода находятся по формулам

$$c_k = \frac{B(z_0)(1 - |z_0|^2)^{1 - \frac{2}{p}} (1 - |z_k|^2)^{\frac{1}{p}}}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \frac{z_k - z_j}{1 - \bar{z}_j z_k} (z_0 - z_k)(1 - \bar{z}_0 z_k)^{1 - \frac{2}{p}}}, \quad (k=1, \dots, n) \quad (4)$$

$$\text{где } B(z) = \prod_{j=1}^n \frac{z-z_j}{1-\bar{z}_j z} - \quad (5)$$

конечное произведение Бляшке.

Если $\omega(\zeta)$ — ограниченная на окружности Γ функция, то (см. [4])

$$\sup_{f \in H_1^1} \left| \int_{\Gamma} f(\zeta) \omega(\zeta) d\zeta \right| = \min_{\varphi \in B(K)} \text{vraimax} |\omega(\zeta) - \varphi(\zeta)|, \quad (6)$$

где $B(K)$ — пространство ограниченных, аналитических в K функций. Для того, чтобы функции $f^*(z) \in H_1^1$ и $\varphi^*(z) \in B(K)$ были экстремальными в равенстве (6), необходимо и достаточно, чтобы почти везде на Γ выполнялось соотношение

$$f^*(\zeta)[\omega(\zeta) - \varphi^*(\zeta)]d\zeta = e^{i\alpha} \lambda |f^*(\zeta)| d\varphi \quad (7)$$

(α вещественно, λ — общая величина обоих экстремумов в (6)).

Пусть теперь $p > 1$. Тогда, если $\omega(\zeta) \in L_q(\Gamma)$ ($\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$), то

$$\sup_{f \in H_p^1} \left| \int_{\Gamma} f(\zeta) \omega(\zeta) d\zeta \right| = \min_{\varphi \in H_q} \left\{ \int_{\Gamma} |\omega(\zeta) - \varphi(\zeta)|^q d\varphi \right\}^{\frac{1}{q}} \quad (8)$$

Экстремальная функция $\varphi^*(\zeta)$ единственна в правых частях равенств (6) и (8).

Для того, чтобы функции $f^*(z) \in H_p^1$ и $\varphi^*(z) \in H_q$ были экстремальными в равенстве (8) необходимо и достаточно, чтобы почти везде на Γ выполнялось соотношение

$$f^*(\zeta)[\omega(\zeta) - \varphi^*(\zeta)]d\zeta = e^{i\alpha} \lambda |f^*(\zeta)|^p d\varphi, \quad (9)$$

где λ — общая величина в равенстве (8), $\alpha \in R$.

И, наконец, если $\omega(\zeta)$ является граничным значением на Γ мероморфной в K функции $\omega(z)$ с полюсами $\beta_1, \dots, \beta_m$ (каждый полюс повторен столько раз, какова его кратность), то произведение

$$R(z) = f^*(z)[\omega(z) - \varphi^*(z)] \quad (10)$$

аналитично на Γ и имеет в K

$$t = m - 1 \quad \text{нулей.} \quad (11)$$

В настоящей работе целью будет нахождение коэффициентов линейного наилучшего метода, а также его погрешности в случае, когда

$$z_0 = 0, z_1 = R, z_2 = Re^{\frac{2\pi i}{n}}, \dots, z_n = Re^{(n-1)\frac{2\pi i}{n}}, \quad (12)$$

где R — заданное число; $0 < R < 1$. Заметим, что настоящая статья является продолжением работы [5], в которой найдены коэффициенты линейного наилучшего метода приближения в пространстве ограниченных аналитических функций, а точки $z_0, z_1, \dots, z_n$ имеют вид (12).

И, наконец, в дальнейшем мы воспользуемся формулами (см. [5])

$$\prod_{j=2}^n (R - z_j) = R^{n-1} n, \quad (13)$$

$$\prod_{j=2}^n (1 - \bar{z}_j R) = \frac{1 - R^{2n}}{1 - R^2}, \quad (14)$$

где точки $z_1, \dots, z_n$ образуют правильный многоугольник (см. (12)).

2. Нахождение погрешности наилучшего метода

Пусть $z_0, z_1, \dots, z_n$ — различные точки, лежащие в K . Тогда, не трудно убедиться в том, что функция

$$e^{i\delta} \frac{(1-|z_0|^2)^{\frac{1}{p}} B(z)}{(2\pi)^{\frac{1}{p}} (1-\bar{z}_0 z)^{\frac{2}{p}}} \quad (15)$$

($\delta \in R$) является экстремальной функцией в задаче (2) (см. [3], а также (3)).

Теорема 1. Экстремальная функция $f^*(z)$ в задаче (2) единственна с точностью до множителя $e^{i\delta}$ ($\delta \in R$; δ — постоянное число) при всех p ($1 \leq p < \infty$) и имеет вид (15).

Доказательство. Если $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ — линейный наилучший метод приближения, то

$$\sup_{f \in H_p^1} |f(z_0) - \sum_{k=1}^n c_k f(z_k)| = r_p(z_0, z_1, \dots, z_n). \quad (16)$$

Так как $|f^*(z_0)| = r_p(z_0, z_1, \dots, z_n)$, то отсюда вытекает, что $f^*(z)$ является экстремальной функцией в задаче (16). Перепишем равенство (16) в виде

$$\sup_{f \in H_p^1} \left| \int_{\Gamma} \omega(\zeta) f(\zeta) d\zeta \right| = r_p(z_0, z_1, \dots, z_n), \quad (17)$$

$$\text{где } \omega(\zeta) = \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{\zeta - z_0} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{\zeta - z_k} \right). \quad (18)$$

I. Пусть $p > 1$. Так как экстремальная функция в задаче (17) единственна с точностью до постоянного множителя по модулю равного единице (см. [4]), то экстремальная функция $f^*(z)$ в задаче (2) также единственна (точностью до множителя $e^{i\delta}$, $\delta \in R$) и имеет вид (15).

II. Пусть теперь $p = 1$ и функция $f_1^*(z)$ также является экстремальной функцией в задаче (2). Тогда

$$R_1(z) = f_1^*(z)[\omega(z) - \varphi^*(z)] \quad (19)$$

аналитична на границе Γ , имеет простой полюс в точке z_0 (см. (2), (18)); здесь $\varphi^*(\zeta)$ – экстремальная функция в правой части равенства (6)) и не имеет нулей в $\bar{K}$ (см. (19), (11)). Кроме того, на границе Γ выполняется равенство (см. (7))

$$f_1^*(\zeta)[\omega(\zeta) - \varphi^*(\zeta)]d\zeta = e^{i\alpha_1} \lambda |f_1^*(\zeta)| d\varphi, \quad (20)$$

где $\alpha_1 \in R$.

Рассмотрим функцию

$$\psi(z) = \frac{e^{-i\alpha_1 R_1(z)}}{e^{-i\alpha R(z)}} = e^{i(\alpha - \alpha_1)} \frac{f_1^*(z)}{f^*(z)}. \quad (21)$$

Понятно, что (см. (20), (7); в равенстве (7) $\omega(\zeta)$ имеет вид (18))

$$\psi(z_0) = \lim_{z \rightarrow z_0} \psi(z) = e^{i(\alpha - \alpha_1)} \frac{f_1^*(z_0)}{f^*(z_0)}.$$

Функция $\psi(z)$ аналитична в $\bar{K}$, на границе принимает положительные значения (см. (7), (20), (2)) и $|\psi(z_0)| = 1$. Отсюда следует, что $\psi(z) = k$, $|k| = 1$ (k – некоторая константа).

Так как $\psi(\zeta) > 0$ ($\zeta \in \Gamma$), то $k = 1$. Отсюда вытекает, что $f_1^*(z) = e^{i\delta} f^*(z)$ (здесь $\delta = \alpha_1 - \alpha$). Значит, и при $p = 1$ экстремальная функция в задаче (2) единственна (с точностью до множителя, по модулю равного единице) и имеет вид (15). Теорема доказана.

Следствие. Пусть $z_0 = 0$ и точки $z_1, \dots, z_n$ образуют правильный многоугольник (см. (12)). Тогда погрешность наилучшего метода приближения находится по формуле ($1 \leq p < \infty$)

$$r_p(0, z_1, \dots, z_n) = \frac{R^n}{(2\pi)^{\frac{1}{p}}},$$

так как $|B(0)| = R^n$ (см. (3), (5)).

Экстремальная функция $f^*(z)$ в задаче (2) в этом случае имеет вид (см. (15))

$$f^*(z) = \frac{e^{i\delta}}{(2\pi)^{\frac{1}{p}}} B(z),$$

где δ – любая действительная константа.

3. Вычисление коэффициентов линейного наилучшего метода восстановления

Теорема 2. Если $z_0, z_1, \dots, z_n$ – любые различные точки, лежащие в единичном круге K , то при любых p , $1 \leq p < \infty$, линейный наилучший метод приближения $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ – единственен.

Доказательство. В самом деле. Так как $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ является линейным наилучшим методом приближения, то выполняется равенство (9) (при $p=1$ см. (7)), в котором $\omega(\zeta)$ имеет вид (18). Предположим, что $\sum_{k=1}^n \hat{c}_k f(z_k)$ также является линейным наилучшим методом. Тогда

$$f^*(\zeta)[\omega_1(\zeta) - \varphi_1^*(\zeta)]d\zeta = e^{i\alpha_1} \lambda |f^*(\zeta)|^p d\varphi, \quad (22)$$

где

$$\omega_1(\zeta) = \frac{1}{2\pi i} \left[\frac{1}{\zeta - z_0} - \sum_{k=1}^n \frac{\hat{c}_k}{\zeta - z_k} \right], \quad (23)$$

$\varphi_1^*(\zeta)$ – экстремальная функция в правой части (8) или (6) (соответствующая функции $\omega_1(\zeta)$); α_1 – действительная константа. Обозначим

$$R_2(z) = f^*(z)[\omega_1(z) - \varphi_1^*(z)].$$

Рассмотрим функцию

$$Q(z) = \frac{R_2(z)}{R(z)} = \frac{\omega_1(z) - \varphi_1^*(z)}{\omega(z) - \varphi^*(z)} \quad (24)$$

(здесь $R(z)$ имеет вид (10), а $\omega(\zeta)$ определяется при помощи равенства (18)).

Так как (см. (22), (9), (7))

$Q(\zeta) = e^{i(\alpha_1 - \alpha)}$ ($\zeta \in \Gamma$), то $Q(z) = C$ (при всех $z \in K$; C – константа).

Нетрудно убедиться в том, что (см. (24), (23), (18)) $\lim_{z \rightarrow z_0} Q(z) = 1$.

Следовательно, $Q(z) = 1$. Поэтому

$$\frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{z-z_0} - \sum_{k=1}^n \frac{\bar{c}_k}{z-z_k} \right) - \varphi_1^*(z) = \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{z-z_0} - \sum_{k=1}^n \frac{c_k}{z-z_k} \right) - \varphi^*(z).$$

Отсюда и вытекает, что $\hat{c}_k = c_k$ ($k = 1, \dots, n$).

Теорема 3. Пусть $z_0, z_1, \dots, z_n$ – любые различные точки, лежащие в круге K , а $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ – линейный наилучший метод. Если θ – заданное действительное число и $\tilde{z}_0 = e^{i\theta} z_0, \tilde{z}_1 = e^{i\theta} z_1, \dots, \tilde{z}_n = e^{i\theta} z_n$,

а $\sum_{k=1}^n \tilde{c}_k f(\tilde{z}_k)$ – соответствующий линейный наилучший метод, то при $1 \leq p < \infty$

$$r_p(\tilde{z}_0, \tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n) = r_p(z_0, z_1, \dots, z_n), \quad (25)$$

$$\tilde{c}_k = c_k \quad (k = 1, \dots, n). \quad (26)$$

Доказательство. В самом деле. Рассмотрим функцию $g(z) = f^*(e^{-i\theta} z)$ (напомним, $f^*(z)$ – экстремальная функция задачи (2)). Так как $g(\tilde{z}_0) = f^*(e^{-i\theta} \tilde{z}_0) = f^*(z_0)$, $g(\tilde{z}_1) = f^*(e^{-i\theta} \tilde{z}_1) = 0, \dots, g(\tilde{z}_n) = f^*(e^{-i\theta} \tilde{z}_n) = 0$, то отсюда вытекает, что $r_p(\tilde{z}_0, \tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n) \geq r_p(z_0, z_1, \dots, z_n)$. Аналогично доказывается неравенство $r_p(z_0, z_1, \dots, z_n) \geq r_p(\tilde{z}_0, \tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n)$. Следовательно, выполняется равенство (25). Далее, если $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ – линейный наилучший метод, то для любой функции $f(z) \in H_p^1$ выполняется неравенство

$$|f(z_0) - \sum_{k=1}^n c_k f(z_k)| \leq r_p(z_0, z_1, \dots, z_n). \quad (27)$$

Пусть теперь $g(z) \in H_p^1$. Рассмотрим функцию $f(z) = g(e^{i\theta} z)$. Подставим эту функцию в неравенство (27). Получим (см. (25))

$$|g(\tilde{z}_0) - \sum_{k=1}^n c_k g(\tilde{z}_k)| \leq r_p(\tilde{z}_0, \tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n).$$

Отсюда и вытекают равенства (26). Теорема доказана.

Наконец, докажем основную теорему.

Теорема 4. Пусть $z_0 = 0$, а точки $z_1, \dots, z_n$ образуют правильный n - угольник (см. (12)). Тогда коэффициенты $c_1, c_2, \dots, c_n$ – одинаковы и находятся по формуле

$$c_k = \frac{1}{n} (1 - R^{2n}), \quad k = 1, \dots, n \quad (28)$$

Доказательство.

Так как $\sum_{k=1}^n c_k f(z_k)$ – линейный наилучший метод, то

$$|f(0) - c_1 f(z_1) - c_2 f(z_2) - \dots - c_n f(z_n)| \leq r_p(0, z_1, \dots, z_n) \quad (29)$$

для любой функции $f(z) \in H_p^1$. Поскольку функция $f\left(e^{i\frac{2\pi}{n}} z\right) \in H_p^1$, то подставив ее в неравенство (29), получим $|f(0) - c_1 f(z_2) - c_2 f(z_3) - \dots - c_n f(z_1)| \leq r_p(0, z_1, \dots, z_n)$.

Так как линейный наилучший метод восстановления в точке $z_0 = 0$ по информации о значениях в точках $z_1, \dots, z_n$ – единственен, то отсюда вытекает $c_1 = c_2 = \dots = c_n$.

Подсчитаем коэффициент c_1 . Имеем (см. (4), (13), (14))

$$c_1 = \frac{B(0)(1-R^2)}{\prod_{j=2}^n \frac{R-z_j}{1-\bar{z}_j R} (-R)} = \frac{(-R^n)(1-R^2) \prod_{j=2}^n (1-\bar{z}_j R)}{(-R) \prod_{j=2}^n (R-z_j)} = \frac{1}{n} (1 - R^{2n}).$$

($B(0) = -R^n$; см. [5]). Формулы (28) доказаны.

Список литературы

1. Осипенко К.Ю. Наилучшее приближение аналитических функций по информации об их значениях в конечном числе точек. // Математические заметки. 1976. Т. 19. № 1. С. 29-40.
2. Кусис П. Введение в теорию пространств H^p . – Москва «Мир». 1984.
3. Micchelli C., Rivlin T., 1982, “Lectures on optimal recovery – C. Micchelli, T. Rivlin Lect. Notes”. v. 9, pp. 21-93.
4. Хавинсон С.Я. Основы теории экстремальных задач для ограниченных аналитических функций и их различные обобщения. –М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1981 г., -92 с.
5. Овчинцев М.П., Гусакова Е.М. Вычисление коэффициентов линейного наилучшего метода восстановления ограниченных аналитических функций в круге. // Вестник МГСУ. 2014. № 4, С. 44-50

01.01.01

К.М. Расулов

Смоленский государственный университет,
физико-математический факультет,
кафедра математического анализа,
Смоленск, kahrmanr@yandex.ru

О КАРТИНЕ РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОРОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТИПА РИМАНА ДЛЯ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В ЕДИНИЧНОМ КРУГЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-45-49

В работе рассматривается однородная краевая задача типа задачи Римана в классах квазигармонических функций. Установлено, что если носителем краевого условия является единичная окружность, то рассматриваемая краевая задача допускает полное описание картины ее разрешимости.

Ключевые слова: кусочно квазигармоническая функция, краевая задача типа Римана, картина разрешимости.

Пусть T^+ – конечная односвязная область на плоскости переменного $z = x + iy$, ограниченная гладким замкнутым контуром L , а $T^- = \overline{C} \setminus (T^+ \cup L)$.

Как известно [1]-[2], одной из основных краевых задач в классах кусочно квазигармонических функций рода n ($n \geq 1$) является следующая задача ρ_n : требуется найти все ограниченные на бесконечности кусочно квазигармонические функции $W(z) = \{W^+(z), W^-(z)\}$ рода n ($n \geq 1$) с линией скачков L , принадлежащие классу $Q_n(T^\pm) \cap H^{(n)}(L)$ и удовлетворяющие на L условию

$$W^+(t) = G(t)W^-(t) + g(t), \quad (1)$$

где $G(t)$, $g(t)$ – заданные на L комплексные функции, причем $G(t) \neq 0$ на L .

Следуя [2], сформулированную выше задачу ρ_n будем называть задачей типа задачи Римана для квазигармонических функций рода n . Соответствующую ρ_n однородную задачу ($g(t) \equiv 0$) назовем задачей ρ_n^0 .

Как показано в работе автора [2], задача ρ_n равносильна определенной дифференциальной краевой задаче Римана относительно кусочно аналитических функций, которая в общем случае не решается в замкнутой форме (см., например, [3, с. 365; 4, с. 265]). Поэтому для краевой задачи ρ_n актуальной является проблема, состоящая в установлении частных случаев (достаточно общей природы!), когда она решается явно и допускает полное описание картины её разрешимости.

Конструктивный метод решения задачи ρ_n в случае, когда носителем краевых условий является единичная окружность, был разработан в работе [2]. Основной целью настоящей заметки является построение полной картины разрешимости однородной задачи ρ_n^0 в случае, когда $L = \{t : |t| = 1\}$.

В дальнейшем полагаем, что $T^+ = \{z : |z| < 1\}$, $L = \{t : |t| = 1\}$ и $T^- = \overline{C} \setminus (T^+ \cup L)$.

Напомним [2], что всякую кусочно квазигармоническую рода n с линией скачков L функцию $W(z)$ можно представить в виде

$$W(z) = \begin{cases} W^+(z) = \sum_{k=0}^n A_k^n \left(\frac{\bar{z}}{1+z\bar{z}} \right)^{n-k} \frac{d^k \varphi^+(z)}{dz^k}, & z \in T^+, \\ W^-(z) = \sum_{k=0}^n A_k^n \left(\frac{\bar{z}}{1+z\bar{z}} \right)^{n-k} \frac{d^k \varphi^-(z)}{dz^k}, & z \in T^-, \end{cases} \quad (2)$$

где $A_k^n = (-1)^{n-k} \frac{(2n-k)!}{k!(n-k)!}$, а $\varphi^\pm(z) \in A(T^\pm)$, т.е. $\varphi^+(z)$ и $\varphi^-(z)$ – аналитические

соответственно в областях T^+ и T^- функции, называемые *аналитическими компонентами* квазигармонической функции $W(z)$. При этом говорят, что кусочно квазигармоническая функция $W(z)$ *ограничена (исчезает) на бесконечности*, если аналитическая функция $\varphi^-(z)$ в представлении (2) *ограничена (исчезает) на бесконечности*.

Поскольку в точках окружности L выполняется тождество $\bar{t} = \frac{1}{t}$, то краевое условие (1), где $g(t) \equiv 0$, с учетом (2) можно переписать так:

$$\sum_{k=0}^n \frac{A_k^n}{2^{n-k}} t^k \frac{d^k \varphi^+(t)}{dt^k} = G(t) \sum_{k=0}^n \frac{A_k^n}{2^{n-k}} t^k \frac{d^k \varphi^-(t)}{dt^k}, \quad t \in L. \quad (3)$$

Далее введем в рассмотрение вспомогательную кусочно аналитическую функцию $\Phi(z) = \{\Phi^+(z), \Phi^-(z)\}$ с линией скачков L , где

$$\Phi^\pm(z) = \sum_{k=0}^n \frac{A_k^n}{2^{n-k}} z^k \frac{d^k \varphi^\pm(z)}{dz^k}, \quad z \in T^\pm, \quad (4)$$

а $\varphi^\pm(z)$ – *аналитические компоненты* искомой кусочно квазигармонической функции $W(z)$.

С учетом (4) краевое условие (3) можно записать в виде

$$\Phi^+(t) = G(t) \Phi^-(t), \quad t \in L. \quad (5)$$

Так как решения задачи ρ_n^0 ищутся в классе $Q_n(T^\pm) \cap H^{(n)}(L)$, то равенство (5) есть краевое условие *обычной* однородной краевой задачи Римана относительно ограниченной на бесконечности кусочно аналитической функции $\Phi(z) = \{\Phi^+(z), \Phi^-(z)\}$ (см., например, [3, с. 109]).

Как известно (см., например, [1, с. 46; 3, с. 110]), если индекс $\chi = \text{Ind} G(t) \geq 0$, то общее решение задачи Римана (7) задается формулой:

$$\Phi^\pm(z) = X^\pm(z) P_\chi(z), \quad (6)$$

где $X(z) = \{X^+(z), X^-(z)\}$ – *каноническая функция задачи*, а $P_\chi(z) = \mu_0 + \mu_1 z + \dots + \mu_\chi z^\chi$ – многочлен степени не выше χ с произвольными комплексными коэффициентами.

Если же $\chi < 0$, то однородная задача Римана (5) в рассматриваемом классе функций имеет лишь нулевое решение, т.е. $\Phi^\pm(z) \equiv 0$.

Предположим, что $\chi \geq 0$ и уже найдено решение $\Phi(z) = \{\Phi^+(z), \Phi^-(z)\}$ однородной задачи Римана (5) по формуле (6). Тогда в силу (4) получаем:

$$\sum_{k=0}^n \frac{A_k^n}{2^{n-k}} z^k \frac{d^k \varphi^+(z)}{dz^k} = X^+(z) P_\chi(z), \quad z \in T^+. \quad (7)$$

$$\sum_{k=0}^n \frac{A_k^n}{2^{n-k}} z^k \frac{d^k \varphi^-(z)}{dz^k} = X^-(z) P_\chi(z), \quad z \in T^-. \quad (8)$$

Таким образом, если $\chi \geq 0$, то аналитические компоненты $\varphi^+(z)$ и $\varphi^-(z)$ искомой кусочно квазигармонической функции $W(z) = \{W^+(z), W^-(z)\}$ должны удовлетворять

линейным дифференциальным уравнениям Эйлера n -го порядка вида (7) и (8) соответственно (см., например, [5], с. 136).

Нетрудно проверить, что общее соответствующего (7) однородного уравнения Эйлера можно задавать так:

$$\varphi_0^+(z) = \sum_{k=1}^n C_k z^{2k-1}, \quad (9)$$

где C_k ($k=1,2,\dots,n$) – произвольные комплексные постоянные.

Далее, будем искать частное решение линейного неоднородного дифференциального уравнения (7) в круге T^+ методом вариации произвольных постоянных, т.е. в виде

$$\varphi_1^+(z) = \sum_{k=1}^n C_k(z) z^{2k-1}, \quad (10)$$

где $C_k(z)$ ($k=1,2,\dots,n$) – пока неизвестные мероморфные в круге T^+ функции комплексного переменного z . Для нахождения функций $C_k(z)$ ($k=1,2,\dots,n$), решая соответствующую систему Лагранжа относительно $C_k'(z)$ ($k=1,2,\dots,n$), получаем

$$C_k'(z) = \frac{\alpha_k}{2^{n-1}(k-1)!} \cdot \frac{X^+(z)P_\chi(z)}{z^{2k}} \quad (k=1,2,\dots,n), \quad (11)$$

где α_k ($k=1,2,\dots,n$) – отличные от нуля постоянные числа.

Пусть разложение функции $\Phi^+(z) = X^+(z)P_\chi(z)$ в круге T^+ имеет вид:

$$X^+(z)P_\chi(z) = \sum_{m=0}^{\infty} \gamma_m z^m, \quad (12)$$

где

$$\gamma_m = \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{X^+(\tau)P_\chi(\tau)}{\tau^{m+1}} d\tau, \quad m=0,1,2,\dots \quad (13)$$

Как видно из формул (11), для того чтобы функции $C_k(z)$ ($k=1,2,\dots,n$) были мероморфными в круге T^+ , необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

$$\gamma_{2k-1} = 0 \quad (k=1,2,\dots,n). \quad (14)$$

Поскольку $P_\chi(z) = \mu_0 + \mu_1 z + \dots + \mu_\chi z^\chi$, то условия (14) можно записать в виде следующей однородной системы из n алгебраических уравнений относительно $\chi+1$ комплексных параметров μ_m ($m=0,1,2,\dots,\chi$):

$$\sum_{m=0}^{\chi} D_{km} \mu_m = 0, \quad k=1,2,\dots,n. \quad (15)$$

где $D_{km} = \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{X^+(\tau)}{\tau^{2k-m}} d\tau = 0, \quad k=1,2,\dots,n; m=0,1,\dots,\chi.$

Замечание 1. Пусть $r = \text{rank} \|D_{km}\|$ – ранг матрицы $\|D_{km}\|$, при этом ясно, что $0 \leq r \leq \min(n, \chi)$. Тогда, при выполнении условий (15), из $\chi+1$ параметров μ_m ($m=0,1,2,\dots,\chi$) произвольными будут лишь $\chi-r+1$.

Предположим, что условия (17) выполняются. Тогда с помощью интегрирования из (11) получаем

$$C_k(z) = \frac{\alpha_k}{2^{n-1}(k-1)!} \int z^{-2k} X^+(z) P_\chi(z) dz \quad (k=1,2,\dots,n), \quad (16)$$

где $\int z^{-2k} X^+(z) P_\chi(z) dz$ ($k=1,2,\dots,n$) – фиксированные первообразные функций $z^{-2k} X^+(z) P_\chi(z)$ ($k=1,2,\dots,n$) в единичном круге T^+ .

Итак, в силу (10) и (16), в случае $\chi \geq 0$ частное решение неоднородного дифференциального уравнения (7) в круге T^+ можно задавать в виде

$$\varphi_1^+(z) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{k=1}^n z^{2k-1} \frac{\alpha_k}{(k-1)!} \int z^{-2k} X^+(z) P_\chi(z) dz. \quad (17)$$

Поскольку решения задачи ρ_n^0 ищутся в классе $\mathbf{Q}_n(T^\pm) \cap H^{(n)}(L)$, то функция (17) должна быть непрерывно (в смысле Гельдера) продолжающейся на контур L вместе со своими производными до n -го порядка включительно. В силу известной теореме Харди и Литтльвуда (см., например, [6, с. 397]), для этого необходимо и достаточно, чтобы в круге T^+ выполнялись неравенства:

$$\left| \frac{d^k \varphi_1^+(z)}{dz^k} \right| \leq \frac{M_k}{(1-|z|)^{1-\rho_k}}, \quad k=1, 2, \dots, n+1, \quad (18)$$

где M_k, ρ_k ($k=1, 2, \dots, n+1$ - некоторые положительные постоянные, причем $0 < \rho_k \leq 1$).

Замечание 2. В случае $\chi \geq 0$ некоторые из условий (18) можно удовлетворять за счет определенного выбора значений произвольных постоянных, входящих в выражение функции (17).

Таким образом, если $\chi \geq 0$ и выполняются условия (15) и (18), то все аналитические в круге T^+ решения линейного дифференциального уравнения (7), принадлежащие классу $\mathbf{A}(T^+) \cap H^{(n)}(L)$, можно задавать так:

$$\varphi^+(z) = \sum_{k=1}^n C_k z^{2k-1} + \varphi_1^+(z), \quad (19)$$

где C_k ($k=1, 2, \dots, n$) – произвольные комплексные постоянные, а $\varphi_1^+(z)$ – функция, определяемая по формуле (17).

Замечание 3. В силу замечаний 1 и 2 нетрудно заметить, что при $\chi \geq 0$ выражение функции, задаваемой формулой (19), линейно зависит не более чем от $n + \chi - r + 1$ произвольных комплексных постоянных.

Наконец, методом степенных рядов легко проверить, что нетривиальных аналитических в области $T^- = \bar{C} \setminus (T^+ \cup L)$ решений однородное линейное дифференциальное уравнение, соответствующее (8), не имеет. Значит, неоднородное уравнение (8) (в случае его разрешимости) будет иметь единственное решение. Найдем это решение.

Предположим, что разложение аналитической функции $\Phi^-(z) = X^-(z) P_\chi(z)$ в области $T^- = \bar{C} \setminus (T^+ \cup L)$ имеет вид:

$$\Phi^-(z) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{b_m}{z^m}. \quad (20)$$

Тогда нетрудно проверить, что решение неоднородного уравнения (8) в области $T^- = \bar{C} \setminus (T^+ \cup L)$ можно найти по формуле

$$\varphi^-(z) = (-1)^n \sum_{m=0}^{\infty} \frac{b_m}{(m+1)(m+3) \dots (m+2n-1) \cdot z^m}. \quad (21)$$

Таким образом, при $\chi \geq 0$ аналитические компоненты $\varphi^+(z)$ и $\varphi^-(z)$ искомых кусочно квазигармонических функций $W(z) = \{W^+(z), W^-(z)\}$ определяются по формулам (19) и (21) соответственно. Тогда подставляя в правую часть формулы (2) вместо $\varphi^+(z)$ и $\varphi^-(z)$ их значения, определяемые по формулам (19) и (21), получаем решение задачи ρ_n^0 в случае $\chi \geq 0$.

Остановимся далее на решении однородной задачи ρ_n^0 в случае $\chi < 0$. Поскольку при $\chi < 0$ однородная задача Римана (6) имеет лишь нулевое решение $\Phi^\pm(z) \equiv 0$, то в силу (4) в данном случае аналитические компоненты $\varphi^+(z)$ и $\varphi^-(z)$ искомой кусочно квазигармонической функции $W(z) = \{W^+(z), W^-(z)\}$ должны удовлетворять линейным однородным дифференциальным уравнениям Эйлера n -го порядка вида (7) и (8), где положено $X^\pm(z)P_\chi(z) \equiv 0$. Но из приведенных выше рассуждений видно, что общее решение однородного уравнения, соответствующего (7), задается формулой (9), а однородное дифференциальное уравнение, соответствующее (8), не имеет нетривиальных аналитических в области $T^- = \overline{C} \setminus (T^+ \cup L)$ решений. Следовательно, при $\chi < 0$ общее решение однородной задачи ρ_n^0 можно задавать формулой (2), где $\varphi^+(z)$ определяется по формуле (9), а $\varphi^-(z) \equiv 0$.

Итак, справедливо следующее утверждение.

Теорема 1. Пусть $L = \{t: |t|=1\}$. Тогда, если индекс $\chi = \text{Ind} G(t) \geq 0$, то для разрешимости однородной задачи ρ_n^0 в классе квазигармонических функций рода n , необходимо и достаточно, чтобы функция $G(t)$ удовлетворяла условиям (15) и (18). При выполнении указанных условий общее решение задачи ρ_n^0 можно задавать формулой (2), где $\varphi^+(z)$ и $\varphi^-(z)$ определяются по формулам (19) и (21) соответственно, и оно линейно зависит не более чем от $n + \chi - r + 1$ произвольных комплексных постоянных, где r - ранг основной матрицы системы (15). Если же индекс $\chi < 0$, то задача ρ_n^0 безусловно разрешима и её общее решение линейно зависит ровно от n произвольных комплексных постоянных.

Список литературы

1. Расулов К.М. Метод сопряжения аналитических функций и некоторые его приложения. – Смоленск: Изд-во СмолГУ, 2013. – 188 с.
2. Расулов К.М. Об одном методе решения краевой задачи типа Римана в классах квазигармонических функций произвольного рода в круге // Известия СмолГУ. – 2015. – №2/1. – С. 159-167.
3. Гахов Ф.Д. Краевые задачи. – М: Наука, 1977. – 640 с.
4. Мухелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. – М.: Наука, 1968. – 511 с.
5. Коддингтон Э.А., Левинсон Н. Теория обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. – 474 с.
6. Голузин Г.М. Геометрическая теория функций комплексного переменного. М.: Наука, 1966. – 628 с.

01.01.02

Т.Н. Титова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной математики,
Москва, tat_titova@mail.ru

КАНОНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-50-54

В работе рассмотрены некоторые свойства канонических преобразований линейных гамильтоновых систем. Канонические преобразования задаются производящей функцией. Получена система матричных уравнений для нахождения неизвестных матриц производящей функции. С помощью полученной системы можно упрощать исходную гамильтонову матрицу линейной системы, приводить ее к некоторому нормальному виду, переходить от одного нормального вида к другому.

Ключевые слова: каноническая система, гамильтонова матрица, симплектическая матрица, нормальный вид, производящая функция

Рассмотрим каноническую систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial H}{\partial y}; \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x}$$

с гамильтонианом вида:

$$H(x, y) = 1/2 x^T A x + x^T B y + 1/2 y^T C y,$$

где x, y – n -мерные векторы-столбцы сопряженных канонических переменных, A, B, C – квадратные действительные матрицы порядка n , A и C – симметрические матрицы. Соответствующая этой системе гамильтонова матрица имеет вид:

$$V = \begin{pmatrix} B^T & C \\ -A & -B \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Пусть q, p – n -мерные векторы-столбцы новых канонических переменных. Каноническое преобразование совершим с помощью производящей функции:

$$S(x, p) = 1/2 p^T K p + p^T L x + 1/2 x^T M x, \quad (2)$$

где K, L, M – квадратные матрицы порядка n , K и M – симметрические, L – невырожденная матрица. Тогда из уравнений:

$$\frac{\partial S}{\partial p} = q, \quad \frac{\partial S}{\partial x} = y$$

получаем выражение старых переменных через новые:

$$\begin{aligned} x &= L^{-1} q - L^{-1} K p; \\ y &= M L^{-1} q + (L^T - M L^{-1} K) p \end{aligned} \quad (3)$$

Сделаем необходимые вычисления и получим новый гамильтониан:

$$\begin{aligned} H(q, p) &= \frac{1}{2} q^T (L^T)^{-1} (M C M + 2 B M + A) L^{-1} q + \\ &+ q^T \left[(L^T)^{-1} (B + M C) L^T - (L^T)^{-1} (M C M + M B^T + B M + A) L^{-1} K \right] p + \\ &+ \frac{1}{2} p^T [K (L^T)^{-1} (M C M + 2 B M + A) L^{-1} K - K (L^T)^{-1} (M C + B) L^T - \\ &- L (C M + B^T) L^{-1} K + L C L^T] p = \frac{1}{2} q^T A_0 q + q^T B_0 p + \frac{1}{2} p^T C_0 p, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_0 &= (L^T)^{-1}(MCM + MB^T + BM + A)L^{-1}; \\ B_0 &= (L^T)^{-1}(B + MC)L^T - A_0K; \\ C_0 &= -KA_0K - KB_0 - B_0^TK + LCL^T; \quad A_0 = A_0^T; \quad C_0 = C_0^T \end{aligned}$$

При этом использовано следующее очевидное тождество:

$$2q^T BMq = q^T (BM + MB^T)q$$

Таким образом, если мы хотим привести каноническую систему дифференциальных уравнений с матрицей (1) каноническим преобразованием (3) к системе с гамильтоновой матрицей

$$V_0 = \begin{pmatrix} B_0^T & C_0 \\ -A_0 & -B_0 \end{pmatrix}, \quad C_0 = C_0^T, \quad A_0 = A_0^T, \quad (4)$$

неизвестные матрицы K, L, M нужно искать из следующей системы матричных уравнений:

$$\begin{aligned} MCM + MB^T + BM + A &= L^T A_0 L, \\ L(B^T + CM)L^{-1} &= KA_0 + B_0^T, \\ KA_0K + KB_0 + B_0^TK + C_0 &= LCL^T \end{aligned} \quad (5)$$

В этой системе неизвестные матрицы M и K ищем симметрическими, матрицу L ищем невырожденной. В результате доказано следующее утверждение.

Теорема 1. Каноническое преобразование, задаваемое производящей функцией (2) с невырожденной матрицей L , приводит гамильтонову матрицу (1) к виду (4) тогда и только тогда, когда матрицы K, L, M производящей функции являются решениями системы (5).

С помощью системы (5) можно упрощать исходную гамильтонову матрицу, приводить ее к некоторому нормальному виду, переходить от одного нормального вида к другому. Рассмотрим различные случаи.

Случай 1. Рассмотрим производящую функцию (2) с матрицами $M=O, K=O$. Тогда система (5) примет вид:

$$\begin{aligned} A &= L^T A_0 L, \\ LB^T L^{-1} &= B_0^T, \\ C_0 &= LCL^T \end{aligned}$$

Из этой системы видно, что с помощью преобразования, задаваемого данной производящей функцией, можно привести подматрицу A или C гамильтоновой матрицы (1) к диагональному виду, либо можно привести подматрицу B к жорданову нормальному виду. Если подматрица C является положительно определенной, то можно одновременно привести подматрицу C к единичной матрице, а подматрицу A – к диагональной матрице.

Случай 2. Рассмотрим гамильтонову матрицу (1) с собственными значениями $\pm\lambda_1, \pm\lambda_2, \dots, \pm\lambda_n$. Мы хотим привести матрицу к следующему нормальному виду:

$$\begin{aligned} \Phi &= \begin{pmatrix} U & I \\ O & -U^T \end{pmatrix}, \\ U &= \begin{pmatrix} \lambda_1 & \varepsilon_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \varepsilon_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \varepsilon_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{pmatrix}, \quad I = \begin{pmatrix} \varepsilon_n & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \varepsilon_{n+1} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \varepsilon_{2n-1} \end{pmatrix}, \\ \varepsilon_i &= \begin{cases} 0, 1; & i = \overline{1, n-1} \\ 0, \pm 1; & i = \overline{n, 2n-1} \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда система матричных уравнений (5) примет вид:

$$\begin{aligned}MCM + MB^T + BM + A &= O, \\L(B^T + CM)L^{-1} &= U, \\KU^T + UK + I &= LCL^T\end{aligned}\quad (7)$$

Первое уравнение полученной системы называется матричным уравнением Риккати [1, 2]. Из этой системы неизвестные матрицы находятся последовательно. Из первого уравнения найдем симметрическую матрицу M . Из второго уравнения найдем матрицу L , преобразующую найденную матрицу $B^T + CM$ к нормальному виду Жордана. Из третьего уравнения найдем симметрическую матрицу K . В работе [3] рассмотрены способы решения системы в случае, когда матрица C является положительно определенной, а матрица $I=O$.

Теорема 2. Система матричных уравнений (7) имеет решение тогда и только тогда, когда существует симплектическая матрица

$$T = \begin{pmatrix} F & H \\ G & W \end{pmatrix}, \quad T^{-1}VT = \Phi, \quad \det F \neq 0, \quad (8)$$

с квадратными подматрицами F, G, H, W .

Доказательство. Пусть система (7) имеет решение. Тогда матрица преобразования (3) является симплектической, а ее подматрица, стоящая в левом верхнем углу, является невырожденной.

Рассмотрим теперь симплектическую матрицу (8). Матрица (8) совпадает с матрицей преобразования (3), если

$$\begin{aligned}L^{-1} &= F, \quad -L^{-1}K = H, \\ML^{-1} &= G, \quad L^T - ML^{-1}K = W\end{aligned}$$

Из первых трех уравнений этой системы находим:

$$L = F^{-1}, \quad K = -F^{-1}H, \quad M = GF^{-1} \quad (9)$$

Последнее уравнение удовлетворится тождественно, если в него подставить найденные матрицы L, K, M и воспользоваться свойствами симплектической матрицы [4-6]:

$$F^TG = G^TF, \quad H^TW = W^TH, \quad F^TW - G^TH = E$$

Действительно:

$$\begin{aligned}L^T - ML^{-1}K &= (F^T)^{-1} + GF^{-1}H = \\&= (F^T)^{-1} + (F^T)^{-1}G^TH = W\end{aligned}$$

Из первого свойства вытекает также, что матрица M является симметрической. Таким образом, матрицы (9) являются решением системы (7).

Теорема 3. Пусть существует решение первого уравнения системы (7). Тогда существует симметрическая матрица I и матрица U , имеющая жорданов нормальный вид, при которых система (7) имеет решение.

Доказательство. Пусть $M = M^T$ – решение первого уравнения системы (7). Тогда матрица L приводит матрицу $CM + B^T$ к нормальному виду Жордана U . Матрица I обеспечивает разрешимость третьего уравнения системы. Например, при $I = LCL^T$ третье уравнение системы (7) имеет решение $K=O$.

Различные способы решения матричного уравнения Риккати рассмотрены в работах [1-3].

Случай 3. Пусть ненулевые собственные значения гамильтоновой матрицы (1) чисто мнимые ($\lambda_j = i\omega_j, \quad j = \overline{1, k}$) и не образуют жордановых клеток выше первого порядка. Тогда ее можно привести к нормальному виду (6), где

$$U = U_k \oplus O_{n-k}; \quad I = O_k \oplus I_{n-k};$$

$$U_k = \begin{pmatrix} i\omega_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & i\omega_2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & i\omega_k \end{pmatrix}, \quad I_{n-k} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \varepsilon_{n-k} \end{pmatrix},$$

$$\varepsilon_i = 0; 1; -1, \quad i = \overline{1, n-k}.$$

Нормальный вид является комплексной матрицей. Перейдем к следующему действительному виду:

$$\begin{pmatrix} O & C \\ -A & O \end{pmatrix}, \quad C = -iU_k \oplus I_{n-k}, \quad A = -iU_k \oplus O_{n-k}$$

Система матричных уравнений (5) примет следующий вид:

$$MIM + MU + UM = L^T AL,$$

$$L(U + IM)L^{-1} = KA,$$

$$KAK + C = LIL^T$$

Легко проверить, что следующие матрицы удовлетворяют полученной системе:

$$M = -\frac{1}{2}iE_k \oplus O_{n-k}, \quad L = E, \quad K = iE_k \oplus O_{n-k}$$

В результате получим следующее каноническое преобразование:

$$x_1 = q_1 - ip_1, \quad x_2 = q_2 - ip_2, \quad \dots, \quad x_k = q_k - ip_k, \quad x_{k+1} = q_{k+1}, \quad \dots, \quad x_n = q_n,$$

$$y_1 = -\frac{1}{2}iq_1 + \frac{1}{2}p_1, \quad y_2 = -\frac{1}{2}iq_2 + \frac{1}{2}p_2, \quad \dots, \quad y_k = -\frac{1}{2}iq_k + \frac{1}{2}p_k,$$

$$y_{k+1} = p_{k+1}, \quad \dots, \quad y_n = p_n$$

Новый гамильтониан имеет вид:

$$H(q, p) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \omega_j (p_j^2 + q_j^2) + \frac{1}{2} \sum_{j=k+1}^n \varepsilon_{j-k} p_j^2$$

Пример. Рассмотрим гамильтонову матрицу (1) с подматрицами:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 8 \\ 8 & 13 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}, \quad C = E$$

Найдем собственные значения матрицы V . Получим

$$\lambda_1 = 2, \quad \lambda_2 = -2, \quad \lambda_3 = \lambda_4 = 0$$

Ранг матрицы V равен 3. Поэтому нулевые собственные значения образуют жорданову клетку 2 порядка. Приведем матрицу V к нормальному виду (6) с подматрицами

$$U = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad I = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Легко проверить, что следующие матрицы являются решением системы (7):

$$M = \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -2 & -3 \end{pmatrix}, \quad L = E, \quad K = \begin{pmatrix} 1/4 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Каноническое преобразование получим в виде (3). Новый гамильтониан имеет следующий вид:

$$H(q, p) = q^T U p + \frac{1}{2} p^T I p = 2p_1 q_1 + \frac{1}{2} p_2^2$$

Список литературы

1. *Potter J.E.* Matrix quadratic solutions // *SIAM Journal of Applied Mathematics*. - 1966. - V. 14, № 3. - P. 496-499.
2. *Martensson K.* On the matrix Riccati equation // *Information Science*. - 1971. - V. 3, № 1. - P. 17-23.
3. *Тимова Т.Н.* О нормализации линейных гамильтоновых систем // *Научно-технический вестник Поволжья*. - 2016. - № 6. - С. 19-23.
4. *Roels J., Louterman G.* Normalisation des systemes lineaires canoniques et application au probleme restreint des trois corps // *Celestial Mechanics*. - 1970. - V. 3, № 1. - P. 129–135.
5. *Laub A.J., Meyer K.* Canonical Forms for Symplectic and Hamiltonian Matrices // *Celestial Mechanics*. - 1974. - V. 9, № 2. - P. 213-223.
6. *Брюно А.Д., Петров А.Г.* О вычислении гамильтоновой нормальной формы // *Доклады Академии Наук*. - 2006. - Т. 410, № 4. - С. 474 – 478.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.04

¹Г.Е. Бордина к.биол.н., ¹Н.П. Лопина к.х.н., ²Е.Г. Некрасова,
³Д.А. Бордин, ⁴В.И. Рогачевский

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России,
¹кафедра химии, ²кафедра дерматовенерологии,
³кафедра терапевтической стоматологии,
⁴кафедра хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии,
gbordina@yandex.ru

**ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ
АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ**

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-55-59

В статье было проведено исследование качества, подлинности и идентичности фармацевтических препаратов ацетилсалициловой кислоты методом ИК-спектроскопии (инфракрасная спектроскопия). Задачами исследования стало изучение особенностей показателей ИК-спектров ацетилсалициловой кислоты российских и зарубежных производителей.

Ключевые слова: *фармация, аспирин, ацетилсалициловая кислота, ИК-спектроскопия.*

В условиях санкций, в которых находится в настоящее время Российская Федерация, особенно актуально использовать фармацевтические препараты отечественного производства. Согласно мнениям многочисленных экспертов, свыше 75% медикаментов, используемых на российском рынке, было произведено за границей. При этом 77% от этого количества являются дженериками, то есть имеют отечественные аналоги [1]. Правительством Российской Федерации был взят курс на развитие российского фармацевтического рынка, что сделало актуальным вопрос качества отечественных препаратов. Для этой цели используется инфракрасная спектроскопия, которая является достоверным и эффективным методом анализа лекарственных препаратов.

Кафедрой химии Тверского Государственного Медицинского Университета ведется многолетняя работа по изучению ИК-спектров различных российских фармацевтических препаратов и их зарубежных аналогов.

Цель исследования: методом ИК-спектроскопии установить качество, подлинность и идентичность фармацевтических препаратов ацетилсалициловой кислоты различных производителей.

Материалы и методы.

Объектами для исследования становились:

Ацетилсалициловая кислота пяти производителей:

- 1) ЗАО «Медисорб» (Россия, г. Пермь).
- 2) ЗАО «Производственная фармацевтическая компания Обновление» (Россия, г. Новосибирск).
- 3) Бристол Майерс Сквибб (Франция).
- 4) Кимика Фармасьютика Байер С. А. (Испания).
- 5) Байер (Германия).

В данной работе использовали метод ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. Для расшифровки спектров использовали литературные данные [2,3,4].

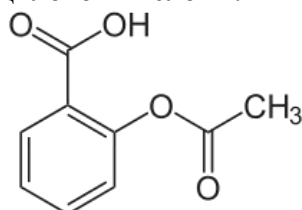
Исследуемые пробы медикаментов готовили методом квартования: в ступке измельчали одинаковое количество образцов до порошкообразного состояния, после чего проба делилась накрест на четыре равные части. Две противоположные части удалялись, образец перемешивали.

вался и процедура квартования повторялась вновь, пока количество пробы не уменьшалось до необходимого для анализа.

Запись ИК-спектров осуществляли на Фурье-ИК спектрометрах «Equinox-55» фирмы Брукер с автоматической записью спектра в области $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ и Nicolet iS10 фирмы Thermo SCIENTIFIC с записью спектра в области $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$.

Результаты и их обсуждение.

Структурная формула ацетилсалициловой кислоты:



Фармакопейным образцом ИК-спектра ацетилсалициловой кислоты (в координатах волновое-число-пропускание) является:

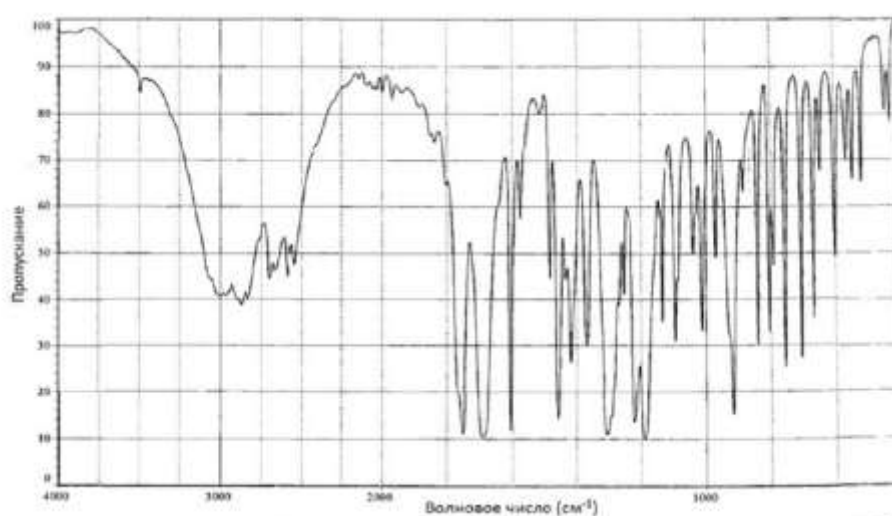


Рис. 1- ИК-спектр субстанции (из приложения к Государственной Фармакопее XIII (13-е издание))

При характеристике спектров, данные сравнивались со следующими известными частотами функциональных групп их литературных источников[2]:

Частоты функциональных групп

Класс веществ	Частоты
Алканы и алкильные фрагменты	3000-2850 (C-H валентные) 1470-1430 (CH ₃ деформационные)
Алкены	1690-1635 (C=C валентные)
Алициклические соединения	3090-2860 (C-H валентные)
Ароматические углеводороды	3080-3030 (C-H деформационные)
Спирты и фенолы	3650-3200 (O-H валентные) 1260-970 (C-O валентные)
Альдегиды	1765-1645 (C=O валентные)
Карбоновые кислоты	1800-1650 (C=O валентные)
Сложные эфиры	1790-1650 (C=O валентные) 1330-1050 (C-O валентные)

На начальном этапе анализа отталкивались от следующих основополагающих принципов:

- Валентные колебания чаще всего находятся в диапазоне больших частот $4000\text{--}1400\text{ см}^{-1}$, деформационные- в области низких (менее 1400 см^{-1}).
- В зависимости от природы колебания подразделяются на колебания углеводородного скелета ($800\text{--}1500\text{ см}^{-1}$) и колебания функциональных групп (более 1500 см^{-1}).

В ИК-спектрах анализируемых препаратов ацетилсалициловой кислоты зарегистрирована широкая полоса со сложным контуром в области $3300\text{--}2500\text{см}^{-1}$. По литературным данным эта полоса соответствует валентным колебаниям ОН-групп карбоновых кислот, при $3550\text{--}3400\text{см}^{-1}$; $3400\text{--}3200\text{см}^{-1}$ определяются внутри- и межмолекулярные водородные связи. Зарегистрированная полоса поглощения при 1760см^{-1} соответствует валентным колебаниям С=О групп сложных эфиров, а при 1700см^{-1} валентным колебаниям С=О групп карбоновых кислот. Полосы поглощения при 1600 , 1575см^{-1} обусловлены колебаниями двойных связей ароматических углеводородов (аренов). Сравнение ИК-спектров препаратов ацетилсалициловой кислоты российских производителей показало почти полное совпадение спектральных характеристик как по частоте, так и по интенсивности (Рис. 2, 3). Анализ ИК-спектров отечественной ацетилсалициловой кислоты и ее зарубежных аналогов показал, что в ИК-спектрах препаратов российского производства интенсивность полосы $3550\text{--}3400\text{см}^{-1}$, соответствующей водородным связям, менее выражена по сравнению с зарубежными образцами (Рис. 4, 5). Следует также отметить усиление широкой полосы $3300\text{--}2500\text{см}^{-1}$ в ИК-спектре кислоты Байер (Испания) по сравнению с ИК-спектрами других анализируемых препаратов (Рис. 6). В области «отпечатков пальцев» $1500\text{--}500\text{см}^{-1}$ – области валентных колебаний простых связей С-О, С-С и деформационных колебаний простых связей С-Н, О-Н отмечено практически полное совпадение частот и интенсивности линий в ИК-спектре, что свидетельствует об идентичности сравниваемых препаратов.

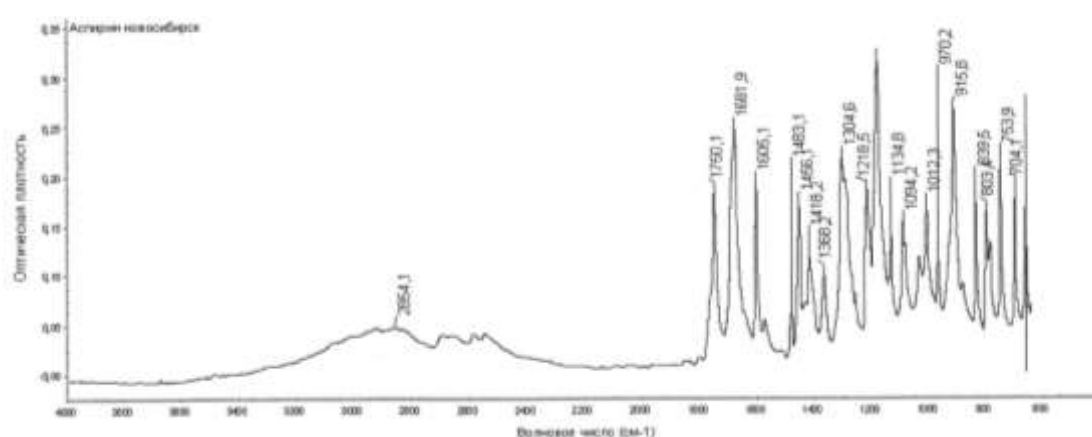


Рис. 2- Спектр ацетилсалициловой кислоты Новосибирского производства

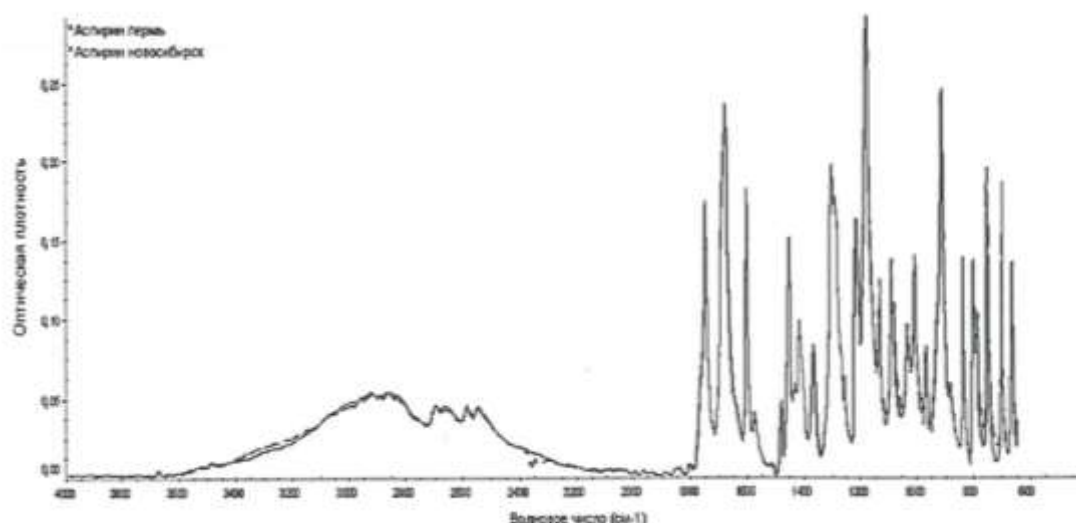


Рис. 3- Спектр ацетилсалициловой кислоты Пермского производства

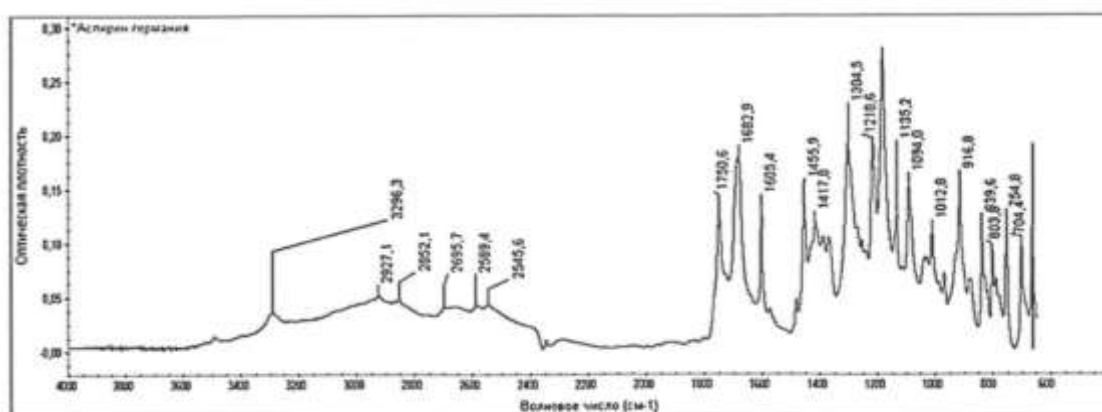


Рис. 4- Спектр ацетилсалициловой кислоты немецкого производства

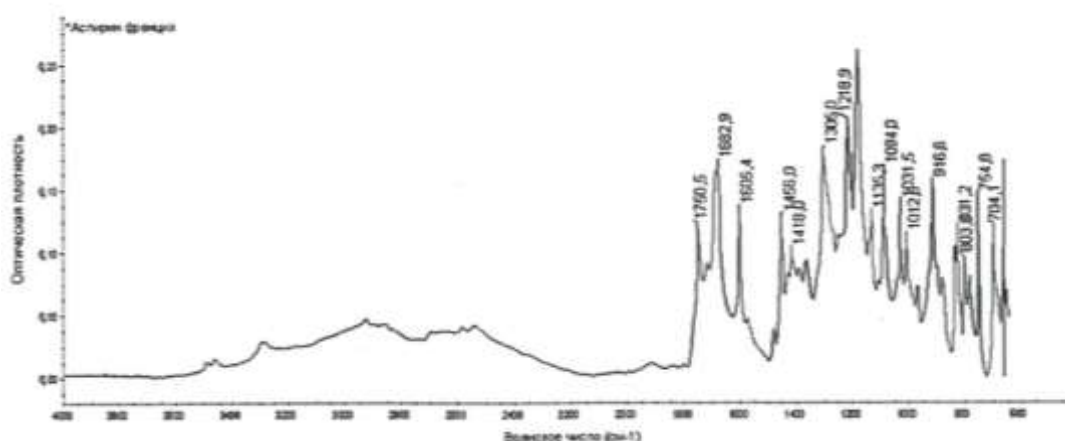


Рис.5- Спектр ацетилсалициловой кислоты французского производства

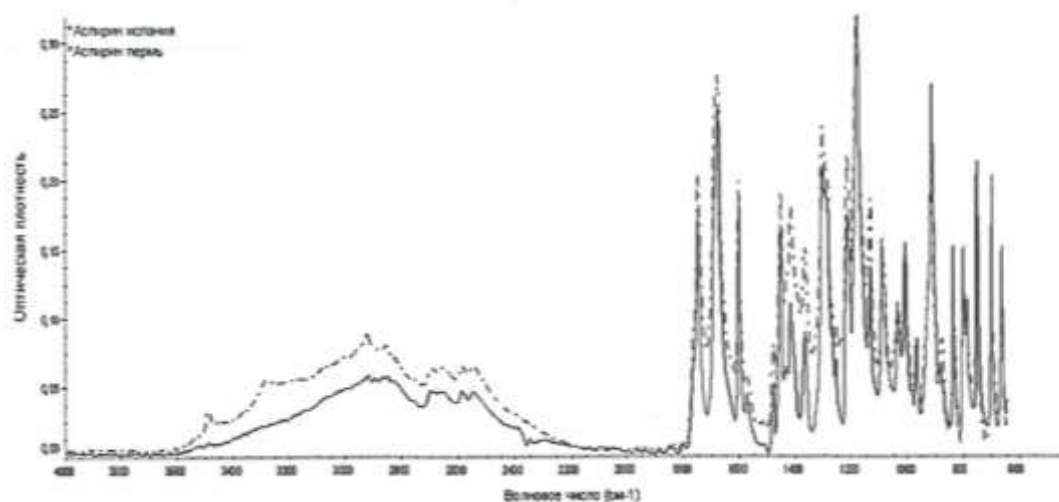


Рис. 6- Наложение спектра ацетилсалициловой кислоты испанского производства на спектр ацетилсалициловой кислоты Пермского производства

Вывод.

Анализ ИК-спектров показал, что состав исследуемых препаратов соответствует заявленной формуле. ИК-спектры соответствуют фармакопейному образцу, основные частоты идентичны. Одинаковая интенсивность полос может считаться обоснованием идентичности действия исследованных дженериков на организм человека. На ИК-спектрах исследованных препаратов ацетилсалициловой кислоты отечественного производства зарегистрированы колебания в области $1100-700\text{ см}^{-1}$, которые, на наш взгляд, свидетельствуют о недостаточной степени очистки препаратов российского производства по сравнению с зарубежными аналогами.

Список литературы

1. *Каграманян И.* Минздрав: доля иностранных лекарств в России составляет более 70% Электронный ресурс // Сайт РИА Новости. 2015. 3 февраля. URL: <http://ria.ru/society/20150203/1045722367.html>
2. *Тарасевич Б.Н.* ИК спектры основных классов органических соединений: справочные материалы// МГУ имени М.В. Ломоносова — Москва 2012.
3. *Беллами Л.* Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул.// М., 1971.
4. *Брэдли К., Брэдли М., Ицциа Ф.* Инфракрасная спектроскопия полимеров// Thermo Scientific 2008.

02.00.06

¹Д.В. Ермолаев, ²Г.Р. Мингалеева, ²А.А. Галькеева, ²О.В. Афанасьева¹ФГБУН «Казанский научный центр Российской академии наук»,²ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-60-63

На основании теоретических исследований предложен механизм процесса термического разложения природных битумов. Представлены обобщенные химические реакции газификации с учетом термодеструкции битума на примере асфальтенов, возможность протекания которых обоснована расчетными значениями термодинамических функций. Показаны пути образования компонентов генераторного газа, на основе которых могут быть определены кинетические и теплофизические параметры процесса газификации. Предложена технологическая схема газификации битума.

Ключевые слова: *природные битумы, термохимическая переработка, газификация, генераторный газ.*

В настоящее время в связи с нестабильными ценами на традиционные виды органических топлив, и истощением их запасов, все большее внимание уделяется увеличению глубокой переработки углеводородов. Данная тенденция также обусловлена уменьшением доли легкоизвлекаемых и высококачественных нефтей.

Альтернативными видами органических топлив могут служить природные битумы, суммарные мировые запасы которых составляют 260 млрд. тонн, из которых до 75 млрд находятся в России [1]. В Республике Татарстан запасы битума составляют от 2,6 до 7,2 млрд. тонн [2].

Согласно данным работы [1] битумы представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов нефти и их гетеропроизводных, содержащих кислород, серу, азот и металлы. Наличие значительного количества углерода и водорода в составе битумов делает возможным его использование в качестве энергетического топлива.

Традиционное сжигание твердых органических топлив характеризуется высокими выбросами в атмосферу, эксплуатационными проблемами и низким КПД энергоустановки. Поэтому целесообразно применять газификацию топлива с целью получения генераторного газа, который может быть использован в энергетике и в химической промышленности. Разработка технологической схемы газификации природных битумов должна быть основана на надежных методиках расчета состава и свойств генераторного газа при различных режимных параметрах.

Разработка технологической схемы газификации природных битумов должна быть основана на надежных методиках расчета состава и свойств генераторного газа, а также влиянии на них режимных параметров процесса. Это позволит выявить оптимальные условия для получения генераторного газа заданного состава, а также определить дальнейшие пути его использования.

Природные битумы принято рассматривать как совокупность трех основных компонентов – масел, смол и асфальтенов. Битумы Ашальчинского месторождения Республики Татарстан имеют следующий элементный состав: С – 83,6%, Н – 12,1%, О – 0,5%, S – 3,4%, N – 0,4%. [1].

Процесс разложения природных битумов может рассматриваться как совокупность нескольких этапов. Первоначально под воздействием температуры происходит нагрев

поверхности битума и образование микротрещин за счет испарения воды, а затем водяной пар реагирует на поверхности фракционных групп битума с образованием сложных углеводородов. Дальнейшее разложение углеводородов протекает по свободно-радикальному механизму, где донором водорода служат ароматические молекулы, разрушающиеся в ходе термолиза [3].

Возможность протекания реакций разложения многоядерных ароматических соединений определялась по энергии Гиббса, которая рассчитывалась по аддитивной методике [4].

Изменения энтальпии ΔH_M и энтропии ΔS_M молекулы в зависимости от температуры вычислялись по формулам:

$$\Delta H(T) = \Delta H_{298} + \alpha(T - 298) + \frac{\beta}{2}[T^2 - 298^2] + \frac{\chi}{3}[T^3 - 298^3]$$

$$\Delta S(T) = \Delta S_{298} + \alpha \ln \frac{T}{298} + \beta(T - 298) + \frac{\chi}{2}[T^2 - 298^2]$$

где ΔH_{298} – энтальпия вещества при стандартных условиях ($T=298$ К, $p=1$ атм); $\Delta C_{p,M}$ – теплоемкость; ΔS_{298} – энтропия вещества при стандартных условиях; $\alpha = \sum_{\mu} a_{\mu}$; $\beta = \sum_{\mu} b_{\mu}$ и $\chi = \sum_{\mu} c_{\mu}$ – коэффициенты, которые определяются по данным, представленным в работе [4]

для каждого структурного фрагмента, выделенного в соединениях, моделирующих органическую массу битума. На основе полученных коэффициентов вычислялась свободная энергия Гиббса ΔG вычислялась по формуле:

$$\Delta G(T) = \Delta H(T) - T\Delta S(T)$$

Полученные значения термодинамических характеристик реакций разложения асфальтенов битумов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Термодинамические характеристики реакций разложения асфальтенов при газификации битума ($T=1700$ К)

Реакция	ΔH , кДж/моль	ΔS , Дж/моль·К	ΔG , кДж/моль
$C_{106}H_{74}S_2 + 2H_2 \rightarrow C_{106}H_{76}S + H_2S$	-108,1	-58,2	-10,7
$C_{106}H_{76}S + H_2 \rightarrow C_{106}H_{78}S$	-52,3	20,2	-86,1
$C_{106}H_{78}S + H_2 \rightarrow C_{106}H_{80} + H_2S$	-43,3	-8,4	-29,2
$C_{106}H_{78} + 4H_2 \rightarrow C_{36}H_{34} + C_{37}H_{26} + C_{31}H_{18} + 2CH_4$	-152,4	63,9	-259,4
$C_{36}H_{34} + H_2 \rightarrow C_{30}H_{24} + C_6H_{12}$	-21,9	21,2	-57,3
$C_{30}H_{24} + H_2 \rightarrow C_{30}H_{26}$	-28,2	-6,68	-17,05
$C_{30}H_{26} + H_2 \rightarrow C_{26}H_{18} + C_4H_{10}$	-28,2	-6,7	-17,05
$C_{26}H_{18} + H_2 \rightarrow C_{25}H_{16} + CH_4$	-38,9	-5,0	-30,54
$C_{37}H_{26} + 2H_2 \rightarrow C_{37}H_{30}$	-56,5	-13,4	-34,11
$C_{37}H_{30} + H_2 \rightarrow C_{33}H_{22} + C_4H_{10}$	-28,2	-6,7	-17,05
$C_{33}H_{22} + H_2 \rightarrow C_{31}H_{18} + C_2H_6$	-28,2	-6,7	-17,05
$C_{31}H_{18} + H_2 \rightarrow C_{25}H_{14} + C_6H_6$	-12,8	-22,5	-6,03*
$C_{31}H_{18} + H_2 \rightarrow C_{31}H_{20}$	-28,2	-6,7	-17,05
$C_{31}H_{20} + H_2 \rightarrow C_3H_8 + C_{28}H_{14}$	-28,2	-6,7	-17,05
$C_{25}H_{16} + 29O_2 \rightarrow 25CO_2 + 8H_2O$	-12175,5	269,3	-12625,9
$C_{25}H_{14} + 28,5O_2 \rightarrow 25CO_2 + 7H_2O$	-11946,4	291,1	-12433,4
$C_{28}H_{14} + 31,5O_2 \rightarrow 28CO_2 + 7H_2O$	-13126,9	316,8	-13657,0

Образовавшиеся сложные ароматические углеводороды вступают в реакции горения с образованием компонентов генераторного газа. Сероводород может быть удален из генераторного газа в процессе очистки и использован для производства товарной серы. Бензол, подвергается термодеструкции с образованием компонентов генераторного газа. Возможность протекания предложенных реакций обоснована отрицательными значениями энергии Гиббса в диапазоне температур 1000-2000 К.

На основе реакций разложения был рассчитан состав генераторных газов, полученных при газификации битума Ашальчинского месторождения при соотношении массы битума к массе пара равным 0,4 при различных температурах. Результаты расчетов при температуре 1000 К и 1700 К представлены на рисунках 1-2.

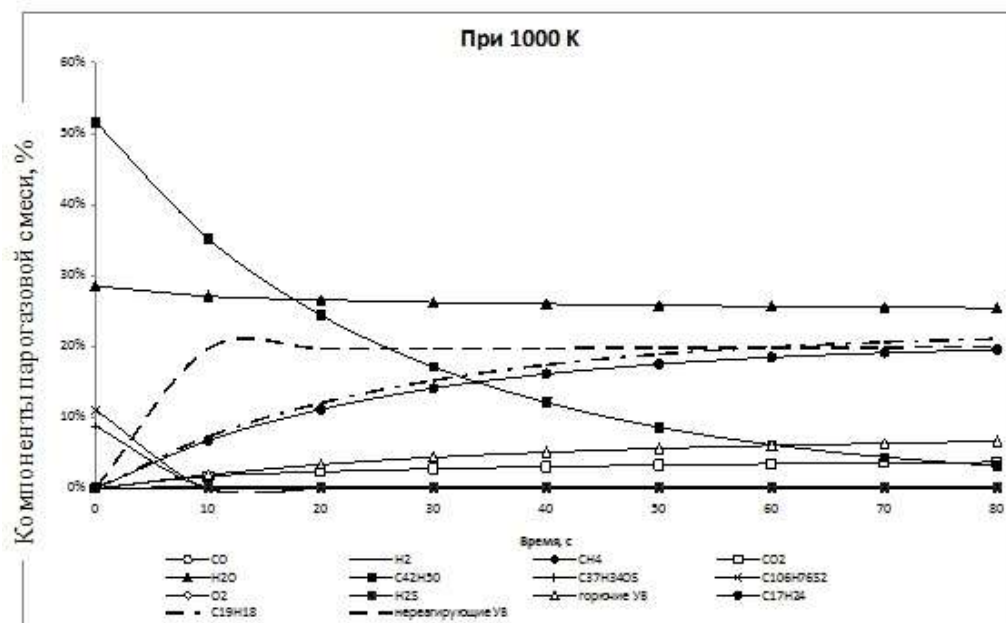


Рис. 1. Состав генераторного газа, полученного при T=1000 К

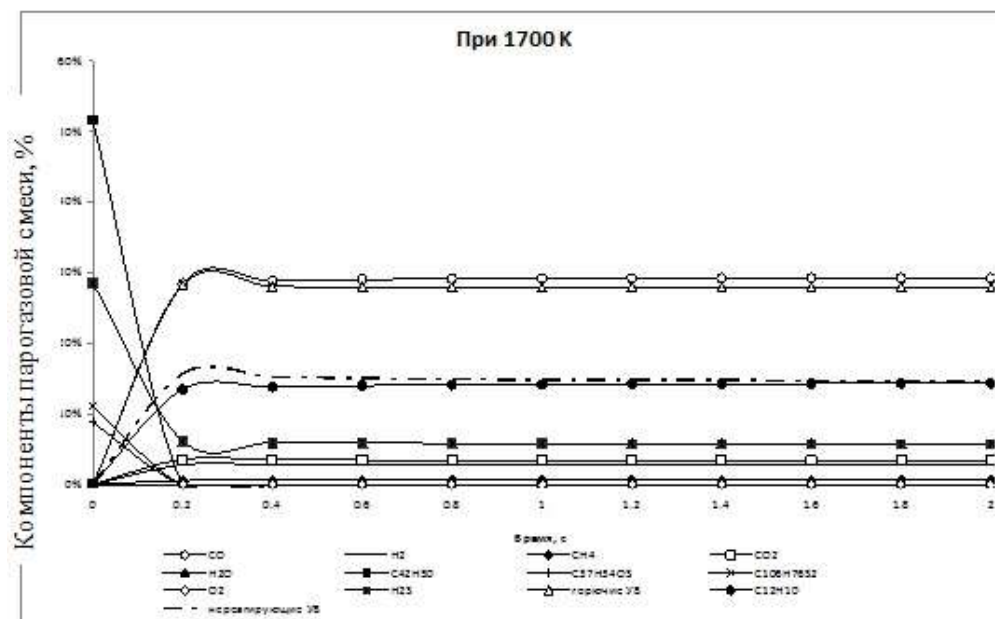


Рис. 2. Состав генераторного газа, полученного при T=1700 К

На основании полученных расчетных данных и оптимальных характеристик парогазовых установок была предложена технологическая схема газификации природных битумов (рис. 3).

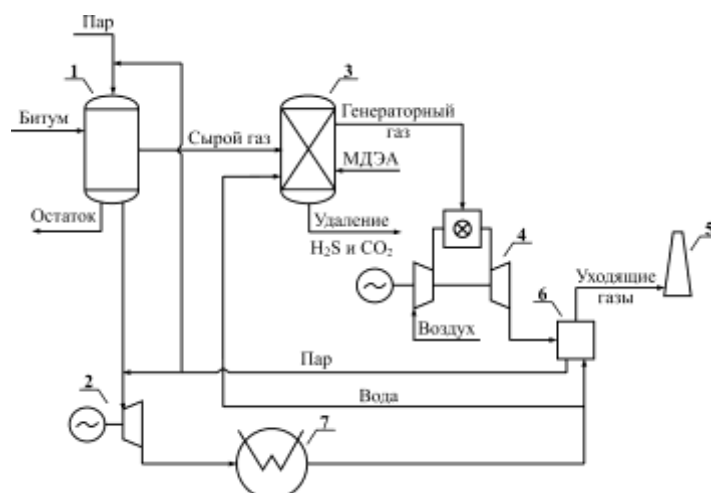


Рис.3. Схема газификации битума с 1 ГТУ

1 - газогенератор; 2 – паровая турбина, 3 - скруббер; 4- ГТУ; 5- дымовая труба; 6 – котел-утилизатор (КУ); 7 – конденсатор.

Процесс осуществляется следующим образом. Битум подается в газогенератор 1, где образуется генераторный газ, который после очистки в скруббере 2 поступает в ГТУ 4. После газовой турбины отработанный газ поступает в КУ 6, где образуется пар из воды, поступающей из конденсатора 7 и выбрасывается в атмосферу. Пар из КУ частично идет в газогенератор и на паровую турбину 2.

Полученные результаты по газификации природного битума Ашальчинского месторождения Республики Татарстан свидетельствуют о том, что при температуре до 1000 К процесс происходит недостаточно интенсивно: время достижения равновесия составляет более 80 секунд и присутствуют значительное количество неразложившихся углеводородов. Проведение процесса при температуре 1700 К приводит к тому, что преобладающим становится содержание СО – 29,3%, до 2,9 % увеличивается содержание Н₂. Дальнейшее повышение температуры процесса приводит к увеличению энергозатрат на проведение процесса. Таким образом, газификацию природных битумов целесообразно проводить при температуре 1700 К.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта №15-48-02313.

Список литературы

1. Гун, Р.Б. Нефтяные битумы /Р.Б. Гун. – М.: «Химия», 1973. – 432 с.
2. Ермолаев, Д.В. Механизм термического разложения асфальтенов природных битумов / Д.В. Ермолаев, Г.Р. Мингалева // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – №12. – С. 27-31.
3. Mingaleeva, G.R. Physico-chemical foundations of produced syngas during gasification process of various hydrocarbon fuels / G.R. Mingaleeva, D.V. Ermolaev, A.A. Galkeeva // Clean Technologies and Environmental Policy. 2016. Vol. 18. pp. 297-304. DOI: 10.1007/s10098-015-0988-8.
4. Гюльмалиев, А.М. Теоретические основы химии угля / А.М. Гюльмалиев, Г.С. Головин, Т.Г. Гладун. – М: Изд-во МГГУ, 2003. – 556 с.

02.00.00

Ж.Ю. Кочетова, Т.А. Кучменко, А.Ф. Сидоркин, А.А. Кравченко

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина»,
кафедра физики и химии,
Воронеж, zk_vva@mail.ru

**ПЬЕЗОСЕНСОРНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ
В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ МОТОРНОГО МАСЛА
ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЕГО ОТРАБОТКИ**

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-64-67

Изучена сорбция карбоновых кислот C_1 – C_3 на модификаторах электродов пьезокварцевого резонатора; оптимизированы условия микровзвешивания паров кислот в газовой фазе моторных масел. Предложен способ определения степени отработки моторных масел при эксплуатации автомобиля с применением детектора на основе пьезосенсора, модифицированного многослойными углеродными нанотрубками.

Ключевые слова: карбоновые кислоты, пьезокварцевый резонатор, пьезосенсор, углеродные нанотрубки, степень отработки моторного масла.

Точная диагностика состояния моторного масла осуществляется в специализированных лабораториях с использованием дорогостоящего оборудования и токсичных химических реактивов. Большинство автовладельцев вынуждено ориентироваться на рекомендованную периодичность замены, указанную на упаковке масел (7–15 тыс. км пробега), при этом они не могут учесть условия эксплуатации автомобиля: количество запусков двигателя при холодной температуре, степень износа двигателя, качество топлива, условия езды, навыки вождения.

За последнее десятилетие большинство публикаций о разработке новых подходов к тест-анализу качества моторных масел посвящено методу ближайшей ИК-спектроскопии, характеризующемуся селективностью и точностью. Однако БИК-спектрометры дорогостоящи и имеют эксплуатационные ограничения (по интервалу рабочих температур, влажности окружающего воздуха и др.) [1, 2]. Поэтому актуальна разработка экономичных и надежных способов, позволяющих по значению одного параметра моторного масла в полевых условиях определять точные сроки его замены. Особое внимание уделяется созданию сенсорных устройств, как наиболее перспективному направлению аналитического приборостроения [3, 4].

Проведен анализ более 100 российских и зарубежных источников, в которых представлены результаты исследований по изменению 30 физико-химических показателей моторного масла в процессе его работы. При ранжировании показателей выбраны наиболее значимые: загрязненность, вязкость, диэлектрическая проницаемость и щелочное число.

Определяющим степень отработки масла критерием нами выбрано щелочное число (индекс TBN) – эксплуатационный показатель моющих свойств масел [5]. При работе масла в двигателе TBN снижается вследствие накопления летучих карбоновых кислот и альдегидов, при этом нейтрализующие присадки срабатываются. При уменьшении TBN на 50% масло утрачивает работоспособность и его заменяют. Таким образом, карбоновые кислоты в газовой фазе моторных масел являются веществами-маркерами степени его отработки.

Чувствительным элементом детектора выбран пьезокварцевый резонатор (ПКР) АТ-среза с базовой частотой колебаний 10–15 МГц. Достоинства резонаторов [6]: высокая чувствительность (10^{-9} – 10^{-12} г/см²); низкие ресурсо- и энергопотребление, температурный

коэффициент; устойчивость к вибрации, радиации, агрессивным средам; миниатюрность. Основным недостатком является низкая селективность микровзвешивания. Для преобразования ПКР в чувствительный и селективный пьезосенсор его электроды модифицируют тонкими пленками сорбентов различной природы, проявляющими сорбционное сродство к отдельным группам летучих соединений. Принцип действия пьезосенсора основан на превращении аналитического сигнала, возникающего в результате взаимодействия летучих компонентов пробы с модификатором электродов ПКР, в физический сигнал (изменение частоты колебаний сенсора $\Delta F = -k \cdot m$, где k – константа пьезосенсора; m – масса адсорбированного на покрытии летучего соединения).

Макет детектора для определения концентрации кислот в газовой фазе моторных масел выполнен на базе Воронежского государственного технологического университета в ООО «Сенсорика-новые технологии» (рис. 1).



Рис. 1 – Детектор для определения степени отработки моторных масел

В закрытый корпус детектора включены: генератор возбуждения колебаний ПКР, частотомер, блоки обработки, хранения, отображения информации, сигнализация («норма», «внимание», «замена»), аккумулятор. Пьезосенсор закрепляется в ячейке детектирования так, чтобы летучие компоненты пробы свободно диффундировали в околосенсорное пространство. При их адсорбции на покрытии электродов уменьшается частота колебаний ПКР пропорционально содержанию газов-маркеров в околосенсорном пространстве и, соответственно, в жидкой анализируемой пробе $\Delta F = f(C)$. Основные эксплуатационные характеристики детектора (пределы обнаружения, селективность, скорость восстановления сигнала после измерения, воспроизводимость результатов, стабильность базовой линии, длительность работы без замены чувствительного элемента) обеспечивает природа модификатора электродов ПКР. Для выбора покрытия протестировано более 20 стандартных газохроматографических фаз, чувствительных к кислотам (полиэтиленгликоли, себагинаты и сукцинаты, краун-эфиры и др.), специфические реагенты на кислоты (индикатор Родамин 6Ж) [7], а также многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) [8].

Характеристики пьезосенсоров на основе различных модификаторов оценивали в жестких условиях сорбции: экспонировали в насыщенных парах кислот C_1 – C_3 в широком интервале температур (10–90 °С). Стандартные сорбционные фазы, широко применяемые для покрытия электродов ПКР, необратимо разрушаются в таких условиях и не могут быть использованы для детектирования кислот при повышенных температурах. Наибольшей устойчивостью при сравнительно высокой чувствительности к парам кислот характеризуется модификатор электродов ПКР на основе МУНТ: чувствительность составляет 0.97 ± 0.07 Гц·дм³/моль; «время жизни» сенсора 2500–2800 циклов «сорбция-десорбция»; погрешность измерений ($sr \leq 0.02$). Изотермы и изостеры сорбции карбоновых кислот на покрытии электродов из МУНТ представлены на рисунке 2.

Изотерма сорбции кислот на МУНТ линейна в интервале их концентраций в газовой фазе $C=0,5-55 \text{ мг/м}^3$; отклик пьезосенсора и время установления равновесия в системе «жидкость-газ» незначительно возрастают с увеличением числа атомов углерода в гомологическом ряду кислот. Значимые ($>7 \text{ Гц}$) аналитические сигналы сорбции паров кислот на покрытия электродов ПКР из МУНТ наблюдаются при температурах выше 30°C .

На время анализа, помимо температуры пробы, значительно влияет объем ячейки детектирования. Установлено, что уменьшение объема ячейки детектирования от 25 до 5 см^3 , сокращает время анализа в ~ 6.5 раз и составляет $15-30 \text{ с}$ при температуре пробы $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Оптимизирована масса покрытия электродов из МУНТ ($2.5-4.0 \text{ мкг}$): при уменьшении массы снижается чувствительность микровзвешивания и устойчивость покрытия при повторяющихся циклах «сорбция-десорбция»; при увеличении – возрастает ошибка детектирования, определение кислот с высокими концентрациями в околосенсорном пространстве (более 30 мг/м^3) приводит к перегрузке пьезосенсора (срыв автоколебаний).

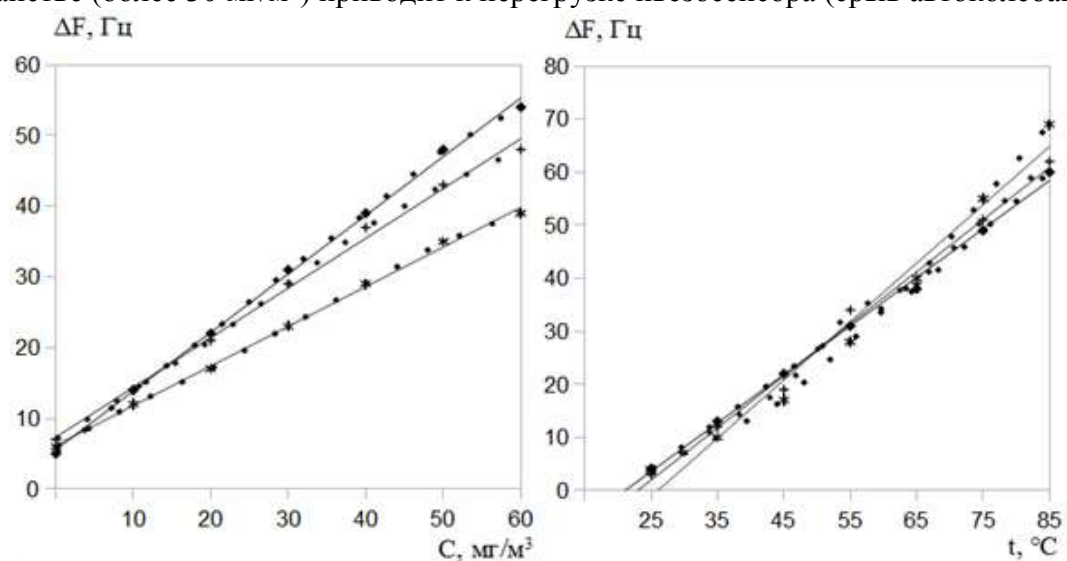


Рис. 2 – Изотерма (а) и изостера (б) сорбции карбоновых кислот C_1-C_3 (1–3 соответственно) на покрытия электродов пьезосенсора из МУНТ

Детектор апробирован в сертифицированной лаборатории ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 97 ФМБА России», г. Воронеж. Арбитражным методом оценки щелочного числа моторного масла служил метод потенциометрического титрования соляной кислоты раствором масла в органических растворителях (ГОСТ ISO 3771-2013). Параллельные определения степени отработки моторных масел различных марок с применением детектора и по стандартной методике показали высокую сходимость результатов ($96 \pm 2\%$).

В качестве примера представлено изменение концентрации кислот в газовой фазе моторного масла марки «Д4» при эксплуатации автомобиля КАМАЗ (рис. 3).



Рис. 3 – Динамика отработки моторного масла марки «Д4» при эксплуатации автомобиля КАМАЗ

Два раза в месяц анализировали по 1–2 капли моторного масла с температурой $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$, отобранного шупом из прогретого двигателя. Летние испытания проводились с апреля по сентябрь включительно, зимние – с октября по март месяцы. Летние испытания начаты с пробега автомобиля от 0.5 до 7.4 тыс. км, зимние продолжались до 11.8 тыс. км. Значительное увеличение ΔF свидетельствует об окончании действия нейтрализующей способности присадки моторного масла и соответствует пробегу автомобиля 8.9 тыс. км (при заявленном на упаковке 10 тыс. км). Увеличение концентрации кислот в газовой фазе на 50% происходит при $S=10,5$ тыс. км. При дальнейшей эксплуатации автомобиля концентрация газов-маркеров увеличивается незначительно. Поэтому целесообразно указывать рекомендуемый интервал автопробега для замены моторного масла (для данной марки он составляет 8.9–10.5 тыс. км).

Предложенный способ определения степени отработки моторных масел имеет следующие преимущества перед стандартной методикой: экономичность (детектор не требует дорогостоящих комплектующих, дополнительных блоков и реактивов; ПКР без изменения рабочих характеристик покрытия из МУНТ возможно использовать для ~2800 измерений, после чего его легко заменить на аналогичный); экспрессность (исключены стадии пробоподготовки, расчета результатов анализа, принятия решения; продолжительность анализа, включая отбор пробы, не превышает 3 мин); проведение измерений «на месте» (масса детектора вместе с аккумулятором составляет 250 г); запоминание результатов измерений. Детектор может быть включен в комплексы переносных лабораторий для экспресс-определения щелочного числа.

Список литературы

1. Zh.-N. Xing, Ji.-X. Wang, Ju. Qu. Rapid Measurement of Diesel Engine Oil Quality By Near Infrared Spectroscopy (NIRS) // The Open Petroleum Engineering Journal. – 2012. – № 5. – P. 58–62.
2. Olferta J.S., Symonds J.P.R., Collings N. The effective density and fractal dimension of particles emitted from a light-duty diesel vehicle with a diesel oxidation catalyst // Journ. of Aerosol Scie. – 2014. – Vol. 38, № 1. – P. 66–70.
3. Niedermayer A.O., Voglhuber-Brunnmaier T., Heinisch M. Monitoring of the Dilution of Motor Oil with Diesel Using an Advanced Resonant Sensor System / 30th Eurosensors Conf., EUROSENSORS 2016. – 2016. – Vol. 168. – P. 15–18.
4. Ненашев М.В., Ибатуллин И.Д., Марков А.С., Марков В.С., Емельянов С.Г. Диагностическая система для контроля качества моторных масел // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1 (2). – С. 184–186.
6. Lu C., Czanderna A.W Applications of piezoelectric quartz crystal microbalances. – Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1984. – p. 395.
7. Попова Н.Н. Определение карбоновых кислот C1–C3 в газовой фазе с применением метода пьезокварцевого микровзвешивания: дис. канд. хим. наук.–Воронеж, 2007.–128 с.
8. Умарханов Р.У. Определение легколетучих органических соединений и аммиака измерительными системами на основе пьезосенсоров с наноматериалами: дис. канд. хим. наук. – Воронеж, 2013. – 223 с.

02.00.04

А.И. Пичугина

Тверской государственный технический университет,
химико-технологический факультет, кафедра Химии,
Тверь, pichugina_anna_igorevna@bk.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ МИЛЛЕРИТА МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-68-70

В работе представлены полученные математические модели процесса растворения синтезированного миллерита в кислых средах методом вращающегося диска. Проведена проверка их адекватности и найдены основные кинетические характеристики изучаемых процессов.

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

В настоящее время актуальным является создание высокоэффективных, экономически выгодных и экологически безопасных технологий в металлургической промышленности. Для перехода от высокотемпературных и энергоемких способов извлечения цветных металлов необходимо всестороннее изучение кинетики процессов растворения от различных влияющих факторов в широком диапазоне величин.

Моделирование процессов растворения позволяет по полученной математической модели оценить удельную скорость перехода металла в раствор, а так же найти основные кинетические характеристики, выявить лимитирующие стадии процесса.

Методы исследования при моделировании кинетики растворения

В работе использован синтетический миллерит α -NiS, синтезированный по методике описанной ранее [1], путем осаждения из раствора.

Синтезированный препарат по результатам химического анализа отвечал стехиометрии α -NiS, мелкозернистый чёрный порошок, растворимый в разбавленной соляной кислоте.

Из полученного сульфида приготовлены диски, путем прессования, полученного порошка с применением органического вяжущего материала с отдельной стадией полимеризации для повышения прочности образца.

Для построения моделей растворения использован метод вращающегося диска [2], который предъявляет определенные требования к исследуемым образцам – низкую пористость, механическую прочность, достаточную площадь плоской поверхности контакта с раствором.

В работе использована 4-секционная установка (рис. 1), которая позволяет варьировать частоту вращения диска в пределах $1,6 - 25 \text{ с}^{-1}$, и поддерживать температуру в реакционном сосуде от 293 до 353 К с точностью 0.5 К [3].

Массу растворенного компонента рассчитывали с учетом его содержания в пробах и изменения общего объема раствора.

Количество металла, перешедшего в раствор рассчитывали с 1 дм^2 реакционной поверхности вращающегося диска, по которому строили кинетическую кривую - график зависимости $Q_i = f(\tau)$.

Удельную скорость растворения оценивали по количеству катионов Ni^{2+} , переходящих в раствор за единицу времени с единицы площади поверхности диска (Q , моль/ дм^2). Концентрацию катионов никеля определяли переменноточковой полярографией на полярографе «ППТ-1». Анализ проводили методом добавок, сравнивая высоты пиков на полярограммах, полученных при анализе пробы раствора с неизвестным содержанием Ni^{2+} и пробы этого же раствора с добавкой известного количества стандартного раствора Ni^{2+} .

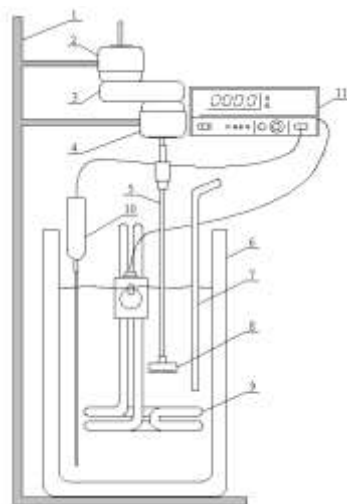


Рис. 1 – Схема одной секции лабораторной установки для исследования кинетики методом вращающегося диска: 1- кронштейн штатива; 2- двигатель; 3- редуктор; 4- втулка; 5- вращающийся вал; 6- реактор; 7- пробоотборник; 8- держатель с диском; 9- нагреватель; 10- контактный термометр; 11- термореле

Результаты и обсуждения

Результаты представлены в виде кинетических моделей, полученных с применением метода ортогонального факторного планирования эксперимента (ПФЭ) [2, 3]. Изучали зависимость удельного количества металла, переходящего в раствор с поверхности диска (Q , моль·дм⁻²) от концентрации реагента-растворителя (C , моль·дм⁻³), частоты вращения диска (ω , с⁻¹), продолжительности опыта (τ , с) и температуры (T , К).

Для построения математической модели процесса растворения миллерита в области высоких концентраций серной кислоты при $C = 0.5 - 5.0$ моль·экв/дм³, осуществлены опыты по плану ПФЭ 2³, условия и результаты которых представлены в таблице 1.

Величина дисперсии воспроизводимости при концентрации серной кислоты 1 моль·экв/дм³ и температуре 313 К; $\omega = 10$ с⁻¹ равна 0.00081 согласно уравнению:

$$S_{\text{воспр}}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{\text{cp}})^2 / (n - 1), \quad (1)$$

где y_{cp} – среднее значение отклика y по данным n параллельных опытов.

Таблица 1 – Условия и результаты опытов, выполненных для построения модели в при высоких концентрациях серной кислоты

и	C , моль·экв/ дм ³	T , К	ω , с ⁻¹	$W \cdot 10^9$, моль·дм ⁻² ·с ⁻¹	$-\lg(W)$
1	0.5	323	10	16.543	7.781
2	0.5	323	1.6	16.358	7.786
3	0.5	293	10	5.435	8.265
4	0.5	293	1.6	5.423	8.266
5	5	323	10	19.952	7.699
6	5	323	1.6	18.776	7.726
7	5	293	10	5.658	8.247
8	5	293	1.6	5.615	8.250

Таблица 2 – Матрица планирования ПФЭ 2³, а также результаты эксперимента и расчётные значения функции отклика модели

и	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Y_u (практ)	Y'_u (мод)
1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-7.781	-7.770
2	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-7.786	-7.770

3	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-8.265	-8.279
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-8.266	-8.278
5	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	-7.699	-7.702
6	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	-7.726	-7.726
7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-8.247	-8.235
8	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-8.250	-8.243

При такой воспроизводимости доверительный интервал равен:

$$|b_{i(ij)}| \geq t_{\alpha, (N-1)} \cdot \sqrt{S_{воспр}^2 / N} \geq 0.020, \quad (2)$$

где $t_{\alpha, (N-1)}$ – табличное значение критерия Стьюдента (при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$) и числе степеней свободы $(N-1)$);

Значения коэффициентов регрессии приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты регрессии полиномиальной модели (1)

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
-8.0028	0.0217	-0.2543	0.0044	-0.0136	0.0030	-0.0034	-0.0023

Уровень фона ошибок превышают коэффициенты b_0 , b_1 и b_2 . Остальные признаны незначимыми.

Рассчитанная модель имеет вид:

$$y = -8.003 - 0.021 \cdot x_1 - 0.254 \cdot x_2 + 0.004 \cdot x_3, \quad (1)$$

где, $y = \lg W$ (W , моль·см⁻²);

$$x_1 = \lg C - 0,1989; \quad x_2 = \left(\frac{1}{T} - 0.003254\right) / 0.000317; \quad x_3 = (\lg \omega + 0.6) / 0.79$$

Подстановка выражений для x_1 , x_2 и x_3 приводит к уравнению:

$$y = -5.4 + 0.02 \cdot \lg C - 802 \cdot \frac{1}{T} \quad (2)$$

С учётом только значимых коэффициентов полиномиальная модель преобразована в уравнение скорости:

$$W = 3.98 \cdot 10^{-6} \cdot C^{0.02} \cdot e^{-1847/T} \cdot \omega^0. \quad (3)$$

Полиномиальная модель (3) признана адекватно представляющей изучаемый процесс. Расчетное значение критерия Фишера $F_{расч}=2.37$ меньше его табличного значения $F_{табл}(0,05;5;3)=9.01$ для данных. Дисперсия адекватности составляет 0.0032.

Порядок по H_2SO_4 практически нулевой. Значение эффективной энергии активации E_a составляет $E_a = 15.4 \pm 0.6$ кДж/моль. Константа скорости K равна $8.09 \cdot 10^{-9}$ моль·дм^{-1.9}·с⁻¹ при 298 К.

Заключение

Получены математические модели процесса растворения сульфида никеля методом вращающегося диска. Проведена проверка гипотезы адекватности уравнения скорости взаимодействия в области высоких концентраций серной кислоты. Найдены основные кинетические характеристики изучаемых процессов.

Список литературы

1. Руководство по неорганическому синтезу /под ред. Г.Брауэра в 6 томах, Т.5, перевод с нем. М.: Мир, 1985. 360 с.
2. Луцик В.И., Соболев А.Е. Кинетика гидролитического и окислительного растворения сульфидов металлов //Тверь.: ТГТУ, 2009. 140 с.
3. Пичугина А.И., Луцик В.И. Исследование кинетики растворения миллерита в условиях равнодоступной поверхности//Научно-технический вестник Поволжья. № 6. –2015. С. 55-57.

02.00.00

¹Т.А. Роздяловская, ²А.Н. Чудинов¹Институт технической химии УрО РАН,
лаборатория «Синтеза поликарбонильных соединений»,²Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет,
Пермь, rozdta@mail.ru, can_16@mail.ru**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ CaO В РАСПЛАВЕ CaCl₂–Na(K)Cl****DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-71-74**

Исследована реакция окисления хлорид-ионов кислородом в расплавленных хлоридных смесях CaCl₂-NaCl, CaCl₂-KCl при различном содержании CaCl₂ в расплаве. Определены кинетические параметры реакции окисления хлорид-ионов (константы скорости и порядок реакции, значения кажущейся энергии активации) по хлору. Показано, что количество образующихся хлора и оксида кальция зависит от концентрации CaCl₂ в расплаве хлоридов и температуры. Выделен оксид кальция, определена его дисперсность.

Ключевые слова: мелкодисперсный оксид кальция получение, расплавленные хлориды кальция и щелочных металлов.

В последние годы поиск новых путей синтеза и применения нанодисперсных оксидов металлов привлекает все большее внимание исследователей. Оксиды щелочноземельных металлов используются во многих областях науки и техники, - катализе, микроэлектронике, материаловедении и др.

В настоящее время к известным методам получения мелкодисперсных оксидов относят гидротермальный синтез, газофазное осаждение, пиролиз аэрозолей, плазмохимический синтез, химическое осаждение термически нестабильных соединений в растворах с дальнейшим их разложением. Получение мелкодисперсных простых и комплексных оксидов металлов в расплавленных средах представлено авторами [1–4]. Расплавленные среды позволяют вести процесс при более низких температурах [4, 5-6] в сравнении с другими методами получения оксидов; варьировать морфологию и структуру продуктов реакции [2, 5]. В работах [7, 8] отмечается образование наночастиц оксидов металлов в расплавах солей. В то же время, число исследований, посвященных получению оксидов металлов путем окисления кислородом расплавленных хлоридов мало [9, 10].

В настоящей работе исследована реакция окисления хлорид-ионов при барботировании кислорода через расплавленные смеси CaCl₂-Na(K)Cl с целью получения мелкодисперсного CaO. Оксид кальция используется в качестве связующего при производстве муллитокорундовой керамики, в составе модифицирующих добавок в полимерные материалы для придания им соответствующих механических свойств и устойчивости к горению.

Таким образом, исследование взаимодействия хлоридов металлов с кислородом является актуальным для разработки новых методов синтеза мелкодисперсных оксидов металлов, в том числе CaO.

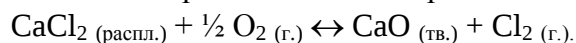
Экспериментальная часть.

В экспериментах использовали хлориды кальция, натрия и калия, иодид калия – марки «хч». Исследованы смеси расплавов с содержанием 20, 30, 40, 50, 60, 75, 85, 90 и 100 мас. % CaCl₂. Температура проведения экспериментов 650–850°C. Методика проведения экспериментов и схема установки приведена в [9]. Для выделения оксида кальция растворяли

охлажденные плавы в этаноле, затем фильтровали или центрифугировали. Остаточное содержание Cl^- в воде определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Agilent G1600 AX. Порошки оксидов сушили при температуре 120 °С и прокаливали при 650 °С. Дисперсность полученных образцов оксида кальция определяли на атомно-силовом микроскопе Solver Pro. Фазовый состав в образцах полученных оксидов анализировали методом РФА на приборе Shimadzu XRD 7000 с Cu-K_α излучением, напряжение на трубке – 40 кВ, ток – 30 мА.

Результаты и обсуждение.

Получение оксида кальция из его хлорида основано на реакции:



Образующийся оксид кальция выделяется в отдельную фазу и выпадает в осадок, поскольку имеет более высокую температуру плавления по сравнению с хлоридом кальция. Растворимость оксидов в хлоридных расплавах, как правило, крайне низкая.

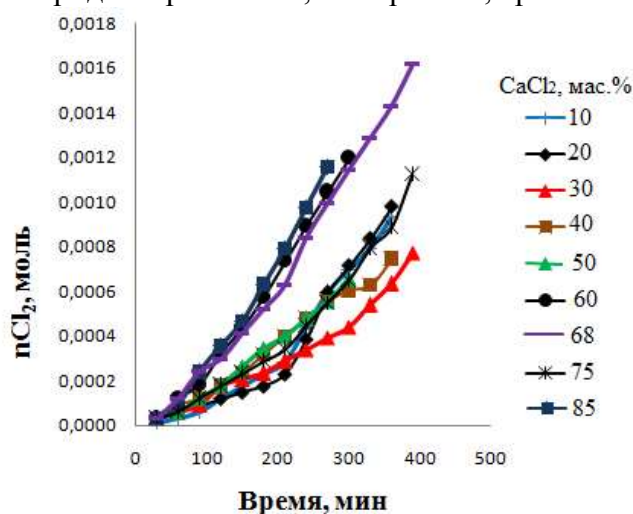


Рис. 1– Динамика выделения хлора из расплавленных смесей CaCl_2 – KCl при барботаже кислорода (5 л/ч), температуре 825 °С

Показано, что количество образующихся хлора и оксида кальция зависит от концентрации CaCl_2 в хлоридном расплаве, так как в условиях эксперимента хлориды калия и натрия инертны. Как видно из данных, представленных на рис. 1 и 2, скорость окисления хлорид-ионов в системе CaCl_2 – KCl выше, чем в CaCl_2 – NaCl .

Константы скорости реакции окисления хлорид-ионов рассчитывали по хлору по нулевому порядку (табл. 1).

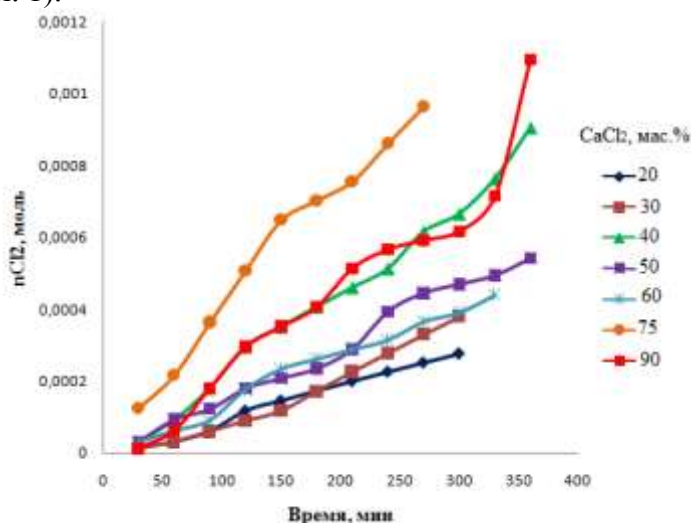


Рис. 2– Динамика выделения хлора из расплавов CaCl_2 – NaCl при барботаже кислорода (5 л/ч) и температуре 825 °С

Реакция окисления CaCl_2 протекает с высокой скоростью ($k_0 = (24,45 \pm 3,09) \cdot 10^{-8}$, моль/с при 825 °С и барботаже кислорода 5 л/ч).

Таблица– Константы скорости реакции окисления Cl^- в расплаве $\text{CaCl}_2\text{--K(Na)Cl}$ при 825 °С, барботаж кислорода (5 л/ч)

№ п/п	Содержание CaCl_2 , мас. %	$k_0 \cdot 10^8$, моль/с $\text{CaCl}_2\text{--KCl}$	$k_0 \cdot 10^8$, моль/с $\text{CaCl}_2\text{--NaCl}$
1	20	3.92 ± 0.49	1.44 ± 0.19
2	30	3.05 ± 0.40	2.92 ± 0.11
3	40	3.92 ± 0.51	3.31 ± 0.70
4	50	4.44 ± 0.62	3.48 ± 0.58
5	60	7.20 ± 0.80	2.42 ± 0.47
6	75	7.53 ± 0.96	7.07 ± 1.25
7	85	8.15 ± 1.06	-
8	90	-	7.37 ± 1.42
9	100	24.45 ± 3.09	24.45 ± 3.09

Установлено, что при разбавлении CaCl_2 хлоридом калия или хлоридом натрия (содержание CaCl_2 в смеси менее 50 мас. %) реакция окисления хлорид-ионов в большей степени контролируется процессами диффузии кислорода на границе контакта газ-расплав. В области концентраций $\text{CaCl}_2 > 50$ мас. % влияние скорости диффузии на окисление хлорид-ионов сказывается уже в меньшей степени. Графики зависимости $\ln k_0 - 1/T$ для систем $\text{CaCl}_2\text{--KCl}$ (эвт) и $\text{CaCl}_2\text{--NaCl}$ (эвт) имеют линейный характер в интервале температур 750–850 и 650–850 °С соответственно. Рассчитанные значения кажущейся энергии активации реакции равны 112 и 81 кДж·моль⁻¹. Относительно низкие значения $E_{\text{акт}}$ свидетельствуют о преобладании диффузионной составляющей в реакции окисления хлорид-ионов.

Выделен оксид кальция, определена его дисперсность, химический состав. Рассчитан средний размер кристаллического блока D (нм) синтезированного оксида кальция по уравнению Селякова-Шеррера [11]: $D_{\text{CaO}} = 57$ нм. По данным оптического микроскопа размер частиц лежит в интервале от 0,37 до 7,19 мкм. Максимальное количество частиц (90%) имеет размер менее 1 мкм.

На основании полученных кинетических характеристик процесса окисления, а также путем варьирования параметров процесса установлено, что оптимальным расплавом для получения оксида кальция является смесь $\text{CaCl}_2\text{--KCl}$ с содержанием 85 мас. % CaCl_2 .

Таким образом, путем окисления кислородом расплавленных смесей $\text{CaCl}_2\text{--K(Na)Cl}$ можно получать мелкодисперсный, в том числе нанодисперсный, CaO .

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №15-03-04139_а «Разработка физико-химических основ получения тонкодисперсных форм оксидов в солевых расплавах системы Mg, Ca, Zn, Na, K || Cl».

Список литературы

1. Елишина Л.А., Кудяков В.Я., Малков В.Б., Елишин А.Н. Высокотемпературный электрохимический синтез тонких, оксидных слоев и нанопорошков оксидов некоторых металлов. Физика и химия стекла, 2008. Т. 34, №5, с. 808-817.
2. Jiang Z.-Y., Xu T., Xie Z.-X., Lin Z.-W., Zhou X., Xu X., Huang R.-B., Zheng L.-S. Molten Salt Route toward the Growth of ZnO Nanowires in Unusual Growth Directions. J. Phys. Chem. B. 2005. Vol. 109, № 49, p. 23269-23273.
3. Kopalko K., Godlewski M., Domagala J.Z., Lusakowska E., Minikayev R., Paszkowicz W., Szczerbakow A. Monocrystalline ZnO Films on GaN/Al₂O₃ by Atomic Layer Epitaxy in Gas Flow. Chem. Mater. 2004. Vol. 16, p. 1447-1450.
4. Li Zushu, Zhang Shaowei, Lee William Edward. Molten salt synthesis of LaAlO₃ powder at low temperatures. J. Eur. Ceram. Soc. 2007. Vol. 27, № 10, p. 3201-3205.
5. Roy B., Ahrenkiel S.P., Fuierer P.A. Controlling the Size and Morphology of TiO₂. Powder by

- Molten and Solid Salt Synthesis. J. Am. Ceram. Soc. 2008. Vol. 91, № 8, p. 2455-2463.
6. Ganguli A.K., Nangia S., Thirumal M., Gai P.L. A new form of MgTa_2O_6 obtained by the molten salt method. J. Chem. Sci. 2006. Vol. 118, № 1, p. 37-42.
7. Park M., Choi C.L., Lim W.T., Lim M.C., Choi J., Heo N.H. Molten-salt method for the synthesis of zeolitic materials. Micropor. Mesopor. Mat. – 2000. – Vol. 37. – № 1–2. – P. 81.
8. Wang T.X., Liu S.Z., Chen J. Molten salt synthesis of SrTiO_3 nanocrystals using nanocrystalline TiO_2 as a precursor. Powder Technol. 2011. Vol. 205, № 1, p. 289-291.
9. Rozdyalovskaya T.A., Chudinov A.N., Griffiths T.R. Molten Salt Oxidation as a Route for the Synthesis of Nano-sized Powders of Zinc and Magnesium Oxides. Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci., 2016. Vol.7, № 6, p. 2320-2328.
10. Kondo T., Sukigara T., Itoh K., Azuma N., Ueno A. Chlorine Gas Recovery from Waste PVC through CaCl_2 -Reaction between Molten CaCl_2 and Oxygen Gas. Ind. Eng. Chem. Res. 2003. Vol. 42, № 24, p. 6040-6045.
11. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов: Учебное пособие. – М.: Академкнига, 2007. – 309 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.00

Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 203,
Москва, revman16388@gmail.com

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТВД АВИАЦИОННЫХ ГТД

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-75-78

Представлены результаты исследований систем охлаждения турбин современных и перспективных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), включающих трубчатый воздухо-воздушный теплообменник (ВВТ), установленный в наружном контуре ТРДД. Сформулированы рекомендации по повышению их эффективности.

Ключевые слова: охлаждаемые лопатки турбин, воздухо-воздушный теплообменник, интенсивность охлаждения, коэффициент теплопередачи, эффективность системы воздушного охлаждения.

Основная доля затрат на охлаждение, как это показано на Рис. 1, приходится на охлаждение турбины высокого давления (ТВД). В перспективных ТВД, имеющих температуру газа на входе в турбину порядка 1800...2000 К, эта доля ещё более увеличивается. Так, например, в двигателях нового поколения для охлаждения соплового аппарата первой ступени ТВД приходится отбирать от КВД до 12% охлаждающего воздуха. Дополнительно к этому, для охлаждения рабочей лопатки ТВД требуется порядка 4,5% охлаждающего воздуха. Кроме того, требуется охлаждающий воздух для снижения температуры деталей корпуса и диска ТВД. ТНД проектируется также охлаждаемой, пусть и с меньшими затратами охлаждающего воздуха. Таким образом, система охлаждения превратилась в настоящую проблему. Без сокращения роста отборов охлаждающего воздуха от компрессора и существенного повышения эффективности системы охлаждения турбины ГТД затруднительно обеспечить дальнейшее повышение экономичности ГТД, что не менее важно, чем реализация всех других требований, характеризующих качество проектирования.

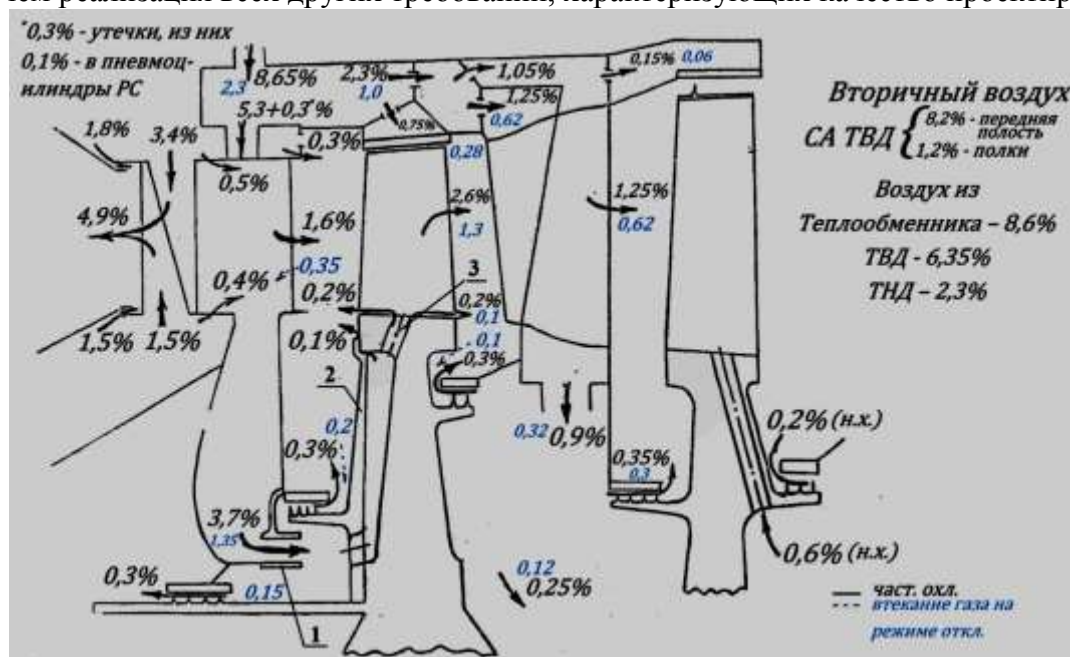


Рис. 1. Схема системы охлаждения ТВД ТРДД 4-го поколения

Рассмотрим схему охлаждения, представленную на Рис.1, более подробно. Как видно, в верхнюю часть системы охлаждения турбины ТРДДф поступает 8,65% охлаждающего воздуха. Дополнительно, 4,9% охлаждающего воздуха подаётся в переднюю полость соплового аппарата ТВД и 3,3% охлаждают нижнюю и верхнюю полки этого же соплового аппарата. В сумме, все эти затраты на охлаждение составляют очень большую величину, 16,85%. Этот воздух отбирается от воздуха, протекающего через компрессор газогенератора ТРДДф.

Первое, что может способствовать улучшению экономичности ГТД на крейсерском режиме полёта летательного аппарата (ЛА), это отсечка охлаждающего воздуха на этом режиме работы ГТД.

На Рис. 2 показана схема корпусов камеры сгорания и ТВД, в месте, где установлен клапан отсечки охлаждающего воздуха. Однако, он не может полностью отсечь охлаждающий воздух, поступающий в рабочую лопатку ТВД. Эта лопатка имеет плёночное охлаждение входной кромки, поэтому частично охлаждающий воздух, поступающий в эту лопатку, должен остаться и препятствовать затеканию горячего газа из проточной части на входе в турбину во внутренние каналы соплового аппарата. Для этих целей была разработана конструкция, где поток охлаждающего воздуха, поступающий в рабочую лопатку ТВД, разделяется на две части: одна часть поступает в переднюю полость и не отсекается, а другая - в заднюю полость этой лопатки, которая на крейсерском режиме полёта ЛА полностью отсекается от подвода охлаждающего воздуха.

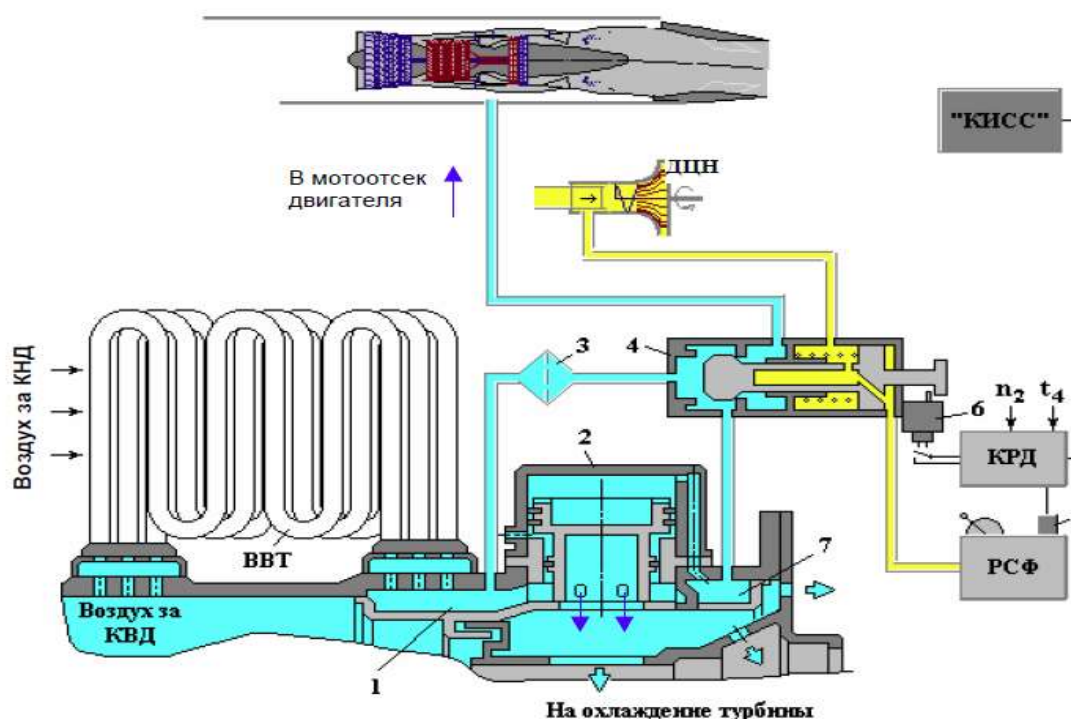


Рис. 2. Схема корпусов камеры сгорания и ТВД с воздухо-воздушным теплообменником и системой отсечки охлаждающего воздуха на крейсерском режиме работы ТРДДф

1 – полость подвода охлаждённого воздуха; 2 – клапанный аппарат отключения; 3 – воздушный фильтр; 4 – агрегат управления охлаждением; 5 – электромагнитный клапан; 6 – микро выключатель; 7 – коллектор управляющего воздуха.

Рассмотрим далее возможность снижения температуры охлаждающего воздуха, подаваемого на вход в рабочую лопатку ТВД через закручивающую решётку (см. Рис. 1) под покрывной диск, в корневой части этого диска.

Как известно, наличие закрутки позволяет исключить эффект торможения охлаждающего воздуха при входе его в канал подвода к рабочей лопатке ТВД. В процессе перемещения охлаждающего воздуха в верхнюю часть диска он дополнительно подогревается, поскольку он неминуемо охлаждает боковую часть диска. Его перемещение к ободу диска осуществля-

ется по существенно диффузорному каналу, что также приводит к его торможению и дополнительному подогреву. И, наконец, последнее: нет ясности, как обеспечить в этой конструктивной схеме нужный угол закрутки охлаждающего воздуха на периферии диска, где он должен входить в вращающийся канал подвода к рабочей лопатке ТВД.

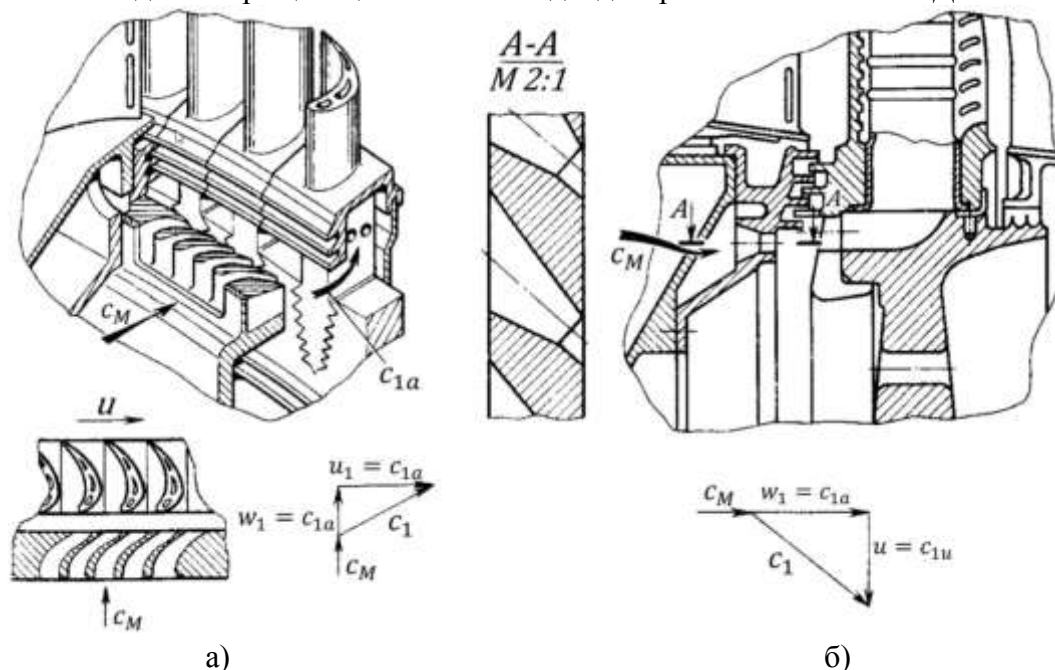


Рис.3. Конструктивные схемы закрутки охлаждающего воздуха на входе в рабочую лопатку ТВД: а) решёточный подвод; б) профильный канал, выполненный под требуемым углом закрутки

На Рис. 3 показаны две схемы периферийного подвода охлаждающего воздуха к диску ТВД. По сравнению со схемой, представленной на Рис. 1 выигрыш в температуре охлаждающего воздуха составляет порядка 60° .

Исключительно важную роль в повышении эффективности системы охлаждения турбины ТВД играют конструктивно-геометрические характеристики ВВТ, показанного на Рис.2. Это:

число трубчатых модулей, состоящих из двухрядных пучков трубок диаметром 5 мм и толщиной стенок 0,3 мм, равномерно расположенных по окружности кольцевого кожуха, $N_{\text{мр}} = 64$;

количество трубок в одном модуле - $N_{\text{мр1}} = 6$;

общее количество трубок - $N_{\Sigma} = 384$;

длина одной трубки (в развертке) - $l_1 = 679$ мм.

Режимные параметры этого ВВТ:

по охлаждаемому воздуху - расход воздуха $G_1 = 6.45$ кг/с; давление на входе в ВВТ $P_{11} = 23$ бар; температура воздуха на входе в ВВТ $T_{11} = 774\text{K}$;

по нагреваемому воздуху наружного контура ТРДДф, который охлаждает горячий воздух, текущий внутри трубок ВВТ – его расход $G_2 = 40$ кг/с; давление перед ВВТ $P_{21} = 3.66$ бар; температура $T_{21} = 438$ К.

В работе [Л. 1] были представлены результаты исследований с использованием системы ANSYS CFX ВВТ с цилиндрическими трубками, отличающимися диаметрными размерами 4,0...6,0мм, с гладкой стенкой и с турбулизаторами высотой 0,3 мм, расположенными на внутренней стенке цилиндрической трубы.

В данной работе исследована требуемая длина цилиндрических и овальных трубок ВВТ при заданной величине снижения температуры охлаждающего воздуха. Результаты этих расчётов показаны в таблице 1 и на Рис.4. Как видно из приведенных результатов расчётов изменение длины трубок ВВТ примерно пропорционально изменению расхода охлаждающего воздуха, протекающего внутри этих трубок. Овальная трубка, сравнимая с цилиндрической трубкой диаметром 5,0 мм, по величине потребной длины отличается мало, примерно на

10%. Полученный результат связан с тем, что имеющиеся критериальные уравнения, характеризующие эффективность охлаждения овальных трубок малой диаметральной размерности, требуют совершенствования, поскольку они основаны на локальных, а не системных исследованиях. В приведенной ниже Таблице 2 показаны результаты расчётов уровня охлаждения тех же самых трубок, но с использованием методики ANSYS CFX.

Таблица 1. Результаты расчётных исследований влияния диаметрального размера и формы трубки на величину охлаждения горячего воздуха, протекающего внутри трубок, при перекрёстном токе охлаждающего воздуха, выполненные по критериальным уравнениям

ΔT (К)	Цилиндр			Эллипс
	$\varnothing 6\text{мм}$ $G_r = 5,76 \text{ кг/с}$	$\varnothing 5\text{мм}$ $G_r = 4 \text{ кг/с}$	$\varnothing 4\text{мм}$ $G_r = 2,56 \text{ кг/с}$	оси 5,0 и 4,4мм $G_r = 4 \text{ кг/с}$
	L (м)	L (м)	L (м)	L (м)
90	0.48772	0.37959	0.252788	0.355826
150	0.942456	0.729748	0.483987	0.684062
190	1.347926	1.039641	0.687396	0.974553
232	1.93245	1.483475	0.977246	1.390601

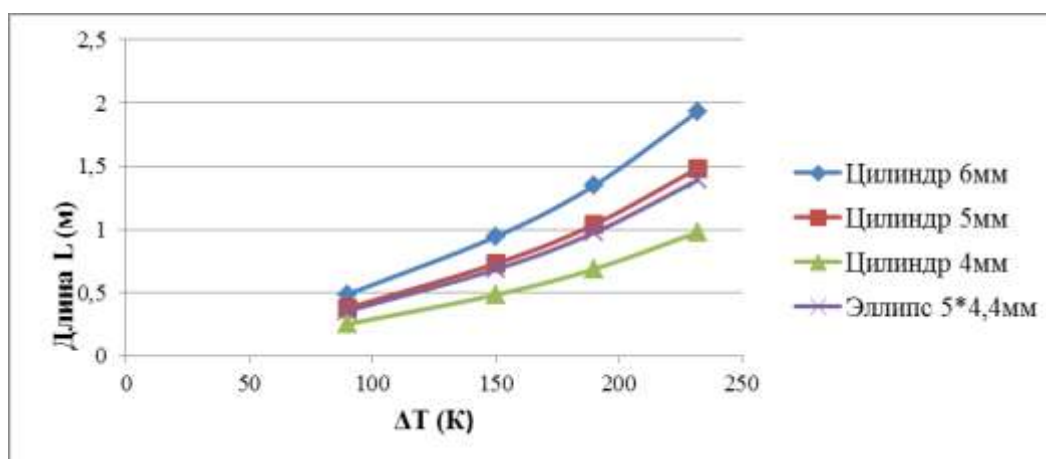


Рис. 4. Зависимость изменения длины цилиндрической трубки от требуемого уровня снижения температуры горячего воздуха

Таблица 2. Температуры воздуха на выходе из одиночных трубок ANSYS CFX

Длина трубки мм	Температура воздуха на выходе из ВБТ [К]				
	Цилиндр $\varnothing = 6 \text{ мм}$	Цилиндр $\varnothing = 5 \text{ мм}$	Цилиндр $\varnothing = 4 \text{ мм}$	Эллипс	
				оси 7,9 и 4,6 мм	оси 6,3 и 4,0 мм
110	779	781	782	708	689
500	732	720	701	572	543
800	710	696	672	523	503
1200	685	671	640	483	468

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что применение овальных трубок целесообразно и даёт существенное повышение эффективности ВБТ.

Список литературы

1. Ревант Редди А. Особенности проектирования и повышения эффективности трубчатых воздухо – воздушных теплообменников, устанавливаемых в систем охлаждения современных и перспективных турбин ГТД / А. Ревант Редди, В. Г. Нестеренко // Научно-технический вестник Поволжья, – 2017. – №4. С. 48–50.
2. F. P. Incropera, A .S. Lavine and D. P. De Witt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 6-th edition. John Wiley & Sons, 2007. – 997 С.
3. Калинин Э.К. Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998. - 408 С.
4. Нестеренко В. Г, Ревант Редди А. Improvement of the design and methods of designing tubular air-to-air heat exchangers cooling systems of gas turbines. ICAS 2016.

05.02.00

А.В. Агапов, Д.А. Боровиков, Е.Е. Данилина, А.В. Ионов, С.Д. Селиверстов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра «Технологии производства двигателей летательных аппаратов»,
Москва, woln@mail.ru

ОЦЕНКА ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-79-82

В работе представлены результаты изучения возможности применения малоразмерных газотурбинных двигателей на беспилотных летательных аппаратах. В работе проведена оценка мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и двигателей для них. Приведены оценочные параметры летательных аппаратов с малоразмерными газотурбинными двигателями.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, беспилотные летательные аппараты, центробежный компрессор, самолеты-мишени.

Одним из основных направлений развития авиации является создание беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного назначения. В контексте этого все большую актуальность приобретает проблема создания эффективных силовых установок для БПЛА.

В настоящее время в малоразмерной авиации все большее распространения находят малоразмерные ГТД (мГТД). В работе приводится оценка рынков сбыта и объектов применения для мГТД. Для получения характеристик использованы наработки МАИ в области мГТД с тягами 10-15 кг и 40 кг. В настоящее время разработаны методики их проектирования, усовершенствованы некоторые их узлы, а также отработаны технологии производства основных деталей мГТД [1-3].

Проведенный анализ мирового рынка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [4,5] показывает, что объем рынка может достигнуть \$28 млрд. к 2022 г. Рынок двигателей для БПЛА оценивался в \$2,7 млрд. на 2015 год [6], учитывая динамику развития рынка и принимая долю мГТД около 20% можно говорить, что к 2025 г. объем рынка мГТД составит \$1,8 млрд. На долю стран с которыми существует ВТС у России приходится около 40% рынка [7].

Основными применениями мГТД являются:

1. БПЛА самолетного типа со взлетной массой до 500 кг (при установке одного двигателя) и скоростью полета до 0,8М.
2. БПЛА вертолетного типа взлетной массой до 1000 кг (при установке одного двигателя)
3. Маневренные мишени с высотой от 0 до 10000 метров, скоростью до 0,8М.

На отечественном рынке присутствует большое количество компаний занятых в производстве БПЛА (см. таблица 1). Цветом в таблице выделены летательные аппараты, на которых потенциально, могут быть установлены мГТД. В таблице не учтены ударные БПЛА и средства поражения в связи с отсутствием данных по ним в открытых источниках.

Таблица 1. Основные БПЛА выпускаемые в России
(данные получены в сети Интернет)

Производитель	Название	Тип установ ки	Пото лок, м	Макс скорость крейс. полета км/ч	Взлетная масса, кг	Время полета без нагрузки (с нагрузкой)	Боевой радиус, км
Аэроб	БПЛА Aerob 4D	Двс		150	30	12(2)	
Аэрокон	Рубеж-60		6000	120	60	36	
ООО "Беспилотные системы"	Supercam		500	120	4,5	3	
Геоскан	Geoscan 201	Электр.	3000	130	8,5	3	
Ижмаш	Тахион	Электр.	4000	100	25		
Корпорация Иркут	Иркут-200	Двс	5000	140	200	12	200
	Иркут-850	Двс	9000	165	850	12	200
Истринский экспериментальный механический завод	Истра 13		3100	100	15		
ГК Кронштадт	Дозор 85	Двс	4000	150	85	8	
	Дозор 100	Двс	4500	150	95	10	
	Дозор 600	Двс	7500	150	720	24	
КБ Луч	Типчак		3000	190	70	3	
	Луч			250	660	12	
ОСКБЭС МАИ	ПС-01 Комар	Двс		180	90		100
	Эльф-Д	Двс		195	360		120
ОКБ Симонова	Альтиус						
	Зеница						
Рекорд-Электроникс	БС-103		3000	100	11,3		40
ООО Специальный технологический центр	Орлан 10		6000	150	18	14	
	Орлан 50				50		
АНТК им.А.Н.Туполева	Ту-243		5000	940	1400		360
ЭНИКС	Элерон-Т23		3000	105	3,5		
	E2Y	ПУВРД	3000	400	70		
	E95M	ПУВРД	3000	260	75		
ОКБ А.С.Яковлева	Пчела-1		3500	180	138	3,5	60
ZALA AERO GROUP	ZALA 421-16E		3600	110	10	4	

Направления развития проекта мГТД «МАИ» и сравнение с аналогами представлено в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики мГТД

Характеристика	Проект МАИ	Аналоги	
	Дешевый одноразовый микро-ГТД (мишень)	Velka Bites TJ40 [1]	AMT Netherlands Titan [8]
Тяга, Н	395	395	392
Расход воздуха	0,66	0,70*	0,66
Удельный расход топлива, кг/Н*ч	0,15	0,19	0,16
Температура газа перед турбиной, К	1050	1050	1120

Степень сжатия в компрессоре	3,8	3,8-4	3,8
Межремонтный ресурс, ч.	-	50	50
Общий ресурс изделия, ч.	25	Нет данных	Нет данных
Масса, кг.	4	3,8	3,6
Габариты (диаметр x длина), мм	145x350	147x373	147x385
Объем выпуска в год, шт.	Более 500	Нет данных	Более 150
Стоимостная оценка при единичном производстве (до 10 в год), р./шт	450 000	Нет данных	Нет данных
Стоимостная оценка при серийном производстве, руб/шт	до 300 000 (при серии 500 шт./год)	Нет данных	735 000

Рассмотрим варианты применения БПЛА оснащенных мГТД «МАИ». Для примера был выбран БПЛА Пчела-1, так как он обладает наиболее близкой для оптимального применения мГТД с тягой около 30 кг размерностью.

Таблица 3. Оценка ЛТХ аппаратов с мГТД [10]

Характеристика	Вариант 1 (прототип Пчела-1)	
	ПУВРД (исходный)	мГТД 395Н
Двигатель	ПУВРД	ТРД
Тип установки	ПУВРД	ТРД
Статический потолок, м.	3500	8000
Максимальная скорость крейсерского полета, км/ч.	180	330
Взлетная масса, кг.	138	130
Масса топлива, кг.	70	70
Время полета, ч.	3,5	3
Боевой радиус, км.	60	300

При использовании мГТД можно ожидать увеличения максимальной высоты и скорости полета БПЛА, при этом, для «дешевых» вариантов мГТД уменьшается время полета ограниченное запасом топлива на борту. Несмотря на уменьшение времени полета можно ожидать увеличения боевого радиуса за счет значительного роста скорости полета. При использовании на ЛА с малой площадью миделя можно достичь сверхзвуковых скоростей порядка 1,3 числа Маха полета и значительной дальности полета при использовании мГТД с высокими характеристиками цикла (степени повышения давления и температуры). Сверхзвуковая скорость полета достигается за счет высокой скорости истечения газовой струи из двигателя до 2 чисел Маха по сравнению с окружающей средой.

Потенциальные показатели эффективности для мГТД с повышенными характеристиками цикла обеспечены:

- Увеличение ресурса двигателя достигается за счет использования газодинамических подшипников и большей точности изготовления и балансировки ротора двигателя.

- За счет увеличения температуры газа с 1050K до 1600K достигается увеличение скорости истечения газовой струи из реактивного сопла, что в свою очередь приводит к увеличению тяги и удельной тяги двигателя.

- Возможность увеличить температуру газа появляется за счет использования в горячей части двигателя композиционных материалов.

- Снижение расхода топлива обеспечивается за счет большей степени повышения давления, что приводит к увеличению КПД работы двигателя. Небольшое снижение расхода топлива достигается также за счет увеличения температуры газа.

- Большая степень повышения давления достигается за счет использования двухступенчатого компрессора.

- Увеличение тяги позволяет увеличить полезную нагрузку летательного аппарата.

— Увеличение скорости истечения газа из реактивного сопла позволяет увеличить скорость полета летательного аппарата.

— Большая удельная тяга позволяет получить большую тягу без увеличения массогабаритных характеристик, что позволяет увеличить скорость полета летательного аппарата.

— Сниженный удельный расход топлива позволяет увеличить дальность полета и/или снизить массу летательного аппарата.

Таким образом, можно говорить о том, что применение мГТД позволяет значительно расширить тактические возможности БПЛА различного назначения.

Список литературы

1. Математическая идентификация и проблемы проектирования малоразмерных ГТД / *А.В. Агапов, В.Н. Богданов, Д.А. Боровиков, А.В. Ионов, С.Д. Селиверстов, П.А. Стариков* // Научно-технический вестник Поволжья №6 2016 – ООО «Научно-технический вестник Поволжья», 2016. – С. 28-33.
2. Разработка методик создания ВРД малых тяг / *Болховитин М.С., Боровиков Д.А., Ионов А.В., Селиверстов С.Д.* // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2015. № 4 (35). С. 50-55.
3. Разработка испытательного стенда для малоразмерных газотурбинных двигателей / *Болховитин М.С., Боровиков Д.А., Ионов А.В., Селиверстов С.Д.* // Электронный журнал Труды МАИ. Выпуск № 91 – 2016.
4. Teal Group: рынок БПЛА в мире составит 14 млрд. долл. к 2025 году. [Электронный ресурс] // tealgroup.com – URL: <http://tealgroup.com/index.php/teal-group-news-media/item/press-release-uav-production-willtotal-93-billion> (дата обращения: 20.11.2017).
5. Markets&Markets: рынок БПЛА в мире составит 28 млрд. долл. к 2022 году [Электронный ресурс] // www.marketsandmarkets.com – URL: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uavmarket-662.html> (дата обращения: 20.11.2017).
6. Research and markets: рынок двигателей для БПЛА составляет \$2.7 млрд [Электронный ресурс] // www.prnewswire.com – URL: <http://www.prnewswire.com/news-releases/unmanned-aerial-vehicles-uav-propulsion-market---rising-demand-from-defense--commercial-applications---research-and-markets-300282392.html> (дата обращения: 20.11.2017).
7. Распределение рынков БПЛА в мире по регионам, перевод отчета Forecast International [Электронный ресурс] // vpk-news.ru – URL: <http://vpk-news.ru/articles/18914> (дата обращения: 20.11.2017).
8. AMT Netherlandswebsite [Электронный ресурс] // Amtjets.com. – URL: <http://www.amtjets.com/Titan.php> (дата обращения: 20.11.2017).
9. Velka Bites TJ40 [Электронный ресурс] // www.pbsvb.com. – URL: <http://www.pbsvb.com/customer-industries/aerospace/aircraft-engines/tj40-g2-turbojet-engine> (дата обращения: 20.11.2017).
10. Термогазодинамические расчеты и расчет характеристик авиационных ГТД / *А.Б. Агульник, В.И. Бакулев, В.А. Голубев, И.В. Кравченко, Б.А. Крылов.* – М.: Изд-во МАИ, 2002. – 257 с.

05.02.01

²М.Е. Басинов, ¹Е.В. Касумов, ¹В.И. Митряйкин, ²В.А. Шувалов¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,²ПАО «Казанский вертолетный завод»,
Казань, ev_kas@rambler.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-83-85

Реализована задача динамики вертолета, с применением метода разложения по собственным формам, для расчета реакции на внешние силовые воздействия конструкции в зависимости от жесткости и частотных характеристик. Апробированы модели поведения несущих поверхностей вертолетов в нарастающем потоке газа, разработаны модели деформации конструкции вертолета на заданном режиме полета. Модели используются на ранних стадиях проектирования для реализации задач устранения нежелательных вибраций в конструкции на заданных эксплуатационных режимах.

Ключевые слова: деформация, вибрация, частота, вертолет.

Одной из основных задач при проектировании летательного аппарата вертолета, является создание машины с минимальным уровнем вибраций. Этим обеспечивается комфортность пассажиров и экипажа [1]. Величина вибраций зависит от того, насколько далеко друг от друга находятся собственные частоты колебаний планера в целом, его отдельных панелей, агрегатов и их деталей от вынуждающих частот. Задача разработчика конструкций вертолета заключается в разведении и отстройке этих частот, в том числе разведении собственных частот винтов в плоскостях тяги и вращения.

Программные комплексы NASTRAN и ANSYS позволяют с достаточной точностью выполнять расчеты собственных частот. Для проведения таких расчетов должна быть построена модель конструкции, адекватно отображающая особенности реальной проектируемой конструкции, распределение жесткостей и масс самой конструкции, устанавливаемых на ней агрегатов и условий их закрепления. Для примера на рис.1 приведены полученные с использованием комплекса NASTRAN несколько общих и местных форм колебаний вертолета с указанием частот. Для разведения полученных частот с вынуждающими приходится изменять жесткости конструкции, перемещать расположенные на планере агрегаты, изменяя тем самым распределение погонных масс и жесткостей. Если же не удастся получить приемлемые зазоры между собственными и вынуждающими частотами, то приходится применять различного типа системы гашения вибраций.

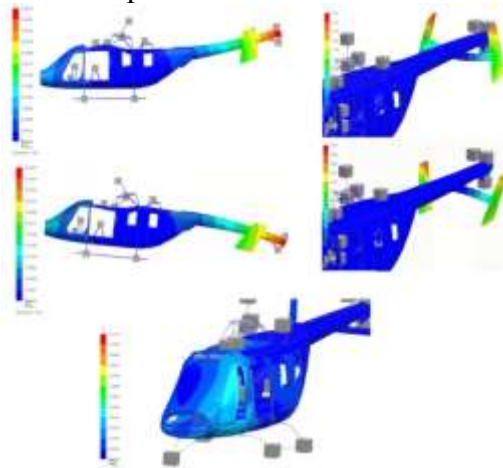


Рис.1 – Общие и местные формы собственных частот колебаний конструкции вертолета

Техническая реализация подобных задач подавления вибраций пассивными и активными устройствами требует большого количества экспериментов. Не редко в процессе испытаний при подавлении нежелательных вибраций необходимо учитывать просчеты, возникшие в разработке конструктивно-силовой схемы. Это обстоятельство, приводящее к доводке конструктивно-силовой схемы уже в момент стендовых и летных испытаний, приводит к увеличению массы конструкции в целом. По этой причине, в дополнение к названным решениям задач статики и задач на собственные значения (в том числе и численными методами) уже на ранних стадиях проектирования актуальны задачи оптимизации конструктивных параметров и задачи динамики поведения конструкции с учетом ее деформаций. С развитием вычислительной техники численная реализация подобного класса задач становится наиболее доступной конструктору-расчетчику. Это приводит к возникновению математических моделей все большей размерности и позволяет усложнять общую постановку задач, добиваясь новых результатов и новых расчетных возможностей [2,3]. В публикациях различных изданий мы уже публиковали результаты подобных решений [4]. Для краткости приведем только решение численного моделирования конструкции кронштейна от поперечной нагрузки и задачу распределения материала в панелях крыла из композиционного материала при прогнозировании необходимых для нее флаттерных характеристик (рис.2.).

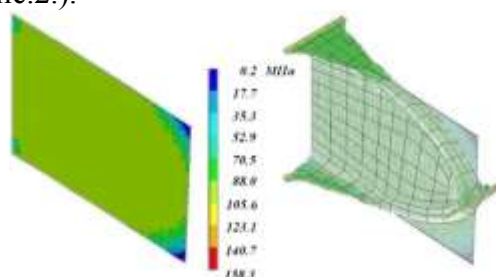


Рис.2 – Численное моделирование рациональной конструкции кронштейна под воздействием поперечной нагрузки

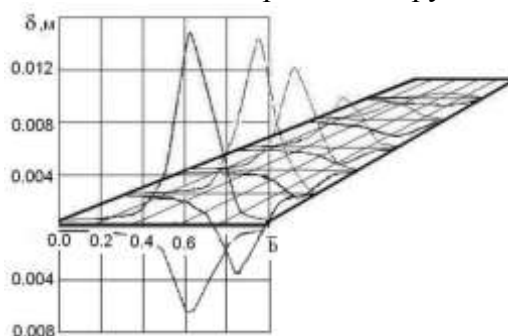


Рис.3 – Рациональное распределение материала в конструкции несущей поверхности

На рис.3 показано рациональное распределение материала в панелях крыла. Полученные методики решения для проектирования таких механических систем, как вертолет, были бы не полными без возможности численного моделирования проектируемого объекта на заданном эксплуатационном режиме. С этой целью построены несколько вариантов математических моделей для численного силового анализа конструкции на заданном режиме полета. Для решения задачи силового анализа в данной работе применяется метод конечных элементов совместно с решением задач динамики движения. Расчет кинематики и нагрузок проводится с помощью математических моделей, имитирующих стендовые и летные испытания ЛА. Силовой анализ проводится для механизмов как с абсолютно жесткими звеньями, так и с учетом их деформаций. При решении с учетом деформаций звеньев применяется метод разложения на собственные формы. На рис.4 приведена трехмерная математическая модель аэромеханической схемы вертолета. Динамическая модель летательного аппарата построена с учетом деформации конструкции в режиме полета, близком к флаттеру лопастей несущего винта. Расчеты позволяют получить закон изменения

нагружения в материале конструкции и в шарнирах механизма автомата перекоса на заданном режиме полета.

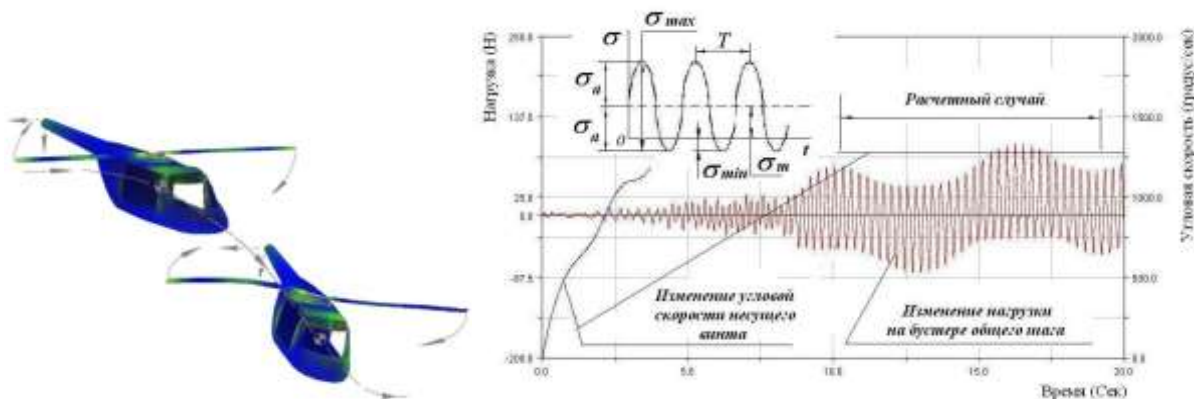


Рис.4 – Трехмерная аэромеханическая модель вертолета по методу конечных элементов для решения задачи динамики движения с учетом податливости конструкции.

Модели позволяют исследовать динамический отклик конструкции механических систем под действием заданной и изменяющейся во времени системы сил и граничных условий. Получаемые в результате расчета циклически изменяющиеся нагрузки и законы изменения НДС применяются для определения рациональных параметров конструкции звеньев механизма. Используя алгоритмы поиска рациональных параметров, расчетчик устраняет в конструкции возможные проявления биений на заданных режимах эксплуатации, снижает общий уровень напряжений на всех эксплуатационных режимах и стремится к устранению концентрации напряжений. Применение алгоритмов поиска рациональных параметров конструкции позволяет наиболее эффективно улучшить характеристики НДС конструктивно-силовой схемы. При проектировании прорабатываются несколько вариантов конструктивных решений, из которых выбирается наиболее лучшее. Расчеты позволяют оценить усталостные характеристики полученных вариантов проектируемой конструкции. По результатам оценки усталостных характеристик выбирается вариант технического решения, наиболее удачный для проведения натурных испытаний.

Список литературы

1. Голованов А.И., Митряйкин В.И., Шувалов В.А. Монография. «Механика бесшарнирных винтов вертолета». Изд-во Казан.ун-та, 2015.-260с.
2. Митряйкин В.И., И.Н.Сидоров, Е.В.Кротова. Т.А.Зайцева. «Расчетно-экспериментальные исследования прочности лопасти винта вертолета с ударными повреждениями» с.64-68. Научно-технический вестник Поволжья.-2017.-№5 -Казань, -204с.
3. Митряйкина Е.В., Зайцева Т.А. «Внедрение спиральной компьютерной томографии для определения механических характеристик материала путем исследования его внутренней структуры» Научно-технический вестник Поволжья.-2012.-№6.-С.311-315.
4. Басинов М.Е., Касумов Е.В. Салтыков С.В., Шувалов В.А. «Об оценке усталостных характеристик на ранних стадиях проектирования летательных аппаратов» Ученые записки ЦАГИ, 2015 Том XLVI, № 5. С. 57-68.

05.02.18

А.П. Буйносов д.т.н., И.В. Умылин

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

О НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-86-88

В статье описывается разработанная методика, позволяющая установить статистические характеристики случайного процесса эксплуатационного старения элементов низковольтных цепей МВПС, осуществить прогноз надежности, определить статистические распределения наработки электрических элементов до отказа.

Ключевые слова: электропоезд, электрическая часть, цепь, низковольтная, надежность.

Большой объем и протяженность электрических проводов современного электропоезда (более 12 км, в т. ч. в низковольтных цепях около 2 км) с большим количеством различных соединений (контакторных элементов) вызывают необходимость повышения их сохраняемости, безотказности и долговечности низковольтных цепей моторвагонного подвижного состава (МВПС). Процесс оценки качества функционирования низковольтных цепей МВПС затрагивает все этапы и стадии их развития [1]. Поэтому в общей задаче, решаемой в настоящей статье, следует выделить два основных направления: комплекс вопросов, связанных с оценкой качества функционирования низковольтных цепей существующих серий и видов МВПС, эксплуатирующихся на железнодорожных дорогах Российской Федерации; второе направление предшествует первому и включает в себя комплекс вопросов прогнозной оценки качества эффективности функционирования низковольтных цепей для разрабатываемых в России новых серий электропоездов, эксплуатация которых планируется на перспективу. В статье решается первое направление.

В общем случае низковольтные цепи представляют из себя сложную систему S , с множеством контакторов типа КЭ-ЗОГ и КР-ЗА-1 и др., которая с течением времени меняет свое состояние, описываемое с помощью числовых контролируемых параметров, определяющих параметры надежности МВПС. Анализ состояния структурных составляющих годности системы S позволяет дать объективную оценку, насколько каждый элемент низковольтной цепи выполняет свои функции с учетом всех потенциальных возможностей отказа. Такой подход относится к статистической модели типа «параметр–поле допуска» [2].

В каком бы режиме не находилась система, на ее элементы влияют внешние воздействия, включающие различные разрушающие факторы, случайно меняющиеся во времени. Для каждого периода функционирования физический процесс износа и старения элементов низковольтной цепи может быть представлен структурной схемой (см. рисунок).

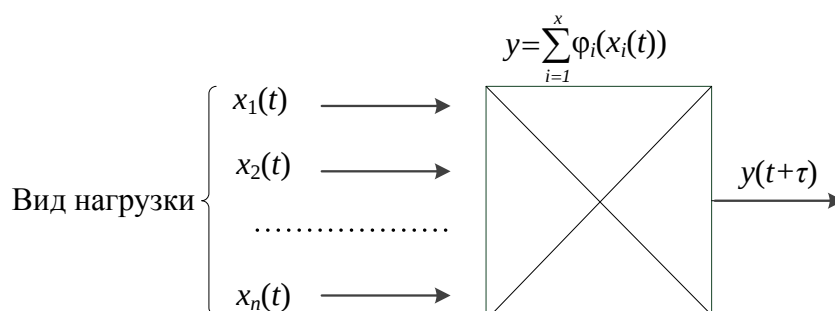


Рис. Структурная схема износа и старения

На вход физического элемента подается случайный вектор нагрузки $\sum_{i=1}^n x_i(t)$ переменный во времени включающий различные внешние воздействия, такие как вибрационные, электрические нагружения, нагрев, запыление, увлажнение и т. п. На выходе физического элемента формируется процесс $y(t)$ (единичный или векторный), представляющий собой прогнозирующий параметр. Каждый тракт модели характеризуется своей преобразовательной функцией $\varphi_i(x_i; t)$, определяющий влияние нагрузочного процесса $x_i(t)$ на выходной случайный процесс $y(t)$.

Нагрузочные случайные процессы $\sum_{i=1}^n x_i(t)$ относятся к категории стационарных случайных, обладающих свойствами эргодичности, поэтому их можно оценить статистическими параметрами вектора нагрузки при определенных условиях эксплуатации. Для этого необходимо иметь хотя бы одну реализацию режима нагружения на достаточно длительном интервале времени эксплуатации. Реализация случайного процесса изменения прогнозирующего параметра остается внутри некоторой области, элемент находится в работоспособном состоянии, при пересечении границы рабочей области происходит его отказ. Время до первого пересечения траекторией случайного процесса изменения прогнозирующего параметра границ рабочей области является случайной величиной, распределение которой характеризует надежность элемента.

В большинстве случаев необратимые временные изменения прогнозирующего параметра низковольтной цепи происходят нелинейно. Нелинейность проявляется тем сильнее, чем чаще возникают экстремальные условия в процессе эксплуатации МВПС. Поэтому физические модели старения можно отнести к разряду аддитивных линейных только в ограниченном диапазоне приложенного на вход воздействия или на ограниченном временном интервале. Тем не менее, при исследовании необратимых изменений прогнозирующего параметра целесообразно изыскивать пути линеаризации процесса.

Для большинства физических элементов интенсивность процесса износа определяется законами реактивной кинетики [2, 3]. В этом случае относительная скорость изменения свойств по i -ой нагрузке будет:

$$\frac{dH}{dt} \frac{1}{H(t)_i} = K_i, \quad (1)$$

а сам процесс изменения параметра может быть представлен зависимостью:

$$H(t)_i = A \cdot e^{K_i \cdot t}, \quad (2)$$

где A – начальное значение параметра; K_i – относительная скорость изменения параметра от воздействия i -ой нагрузки.

Параметры A и K_i являются случайными величинами. В полулогарифмической системе координат случайный процесс $H(t)$ будет носить линейчатый характер. Аналогично определяются относительные скорости изменения параметра от других воздействий [4].

Таким образом, общая относительная скорость изменения параметра представляет собой функцию многих случайных аргументов:

$$K = \varphi(X_1; X_2; \dots; X_n). \quad (3)$$

Математическое ожидание общей относительной скорости находится как сумма частных относительных скоростей изменения параметра K_i при условии, что на элемент воздействует внешний нагрузочный фактор X_i , равный его математическому ожиданию:

$$M(K_\Sigma) = \sum_{i=1}^n K_i(X_i). \quad (4)$$

Дисперсия общей относительной скорости определяется:

$$D(K_\Sigma) = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X_1} \right)^2 \cdot \sigma_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X_2} \right)^2 \cdot \sigma_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X_n} \right)^2 \cdot \sigma_{X_n}^2, \quad (5)$$

где σX_j^2 – дисперсия j -ой случайной величины (при $j = 1, 2, \dots, n$).

Учитывая возможность линеаризации процесса необратимых изменений прогнозирующего параметра, целесообразно нестационарный случайный процесс $\{H(t)\}$ представить как временную детерминированную функцию математического ожидания прогнозирующего параметра, на которую накладывается стационарный случайный процесс, определяющий случайный разброс значений относительно детерминированной функциональной зависимости [5]. Отсюда:

$$\{H(t)\} = M[H(t)] + \{h(t)\}, \quad (6)$$

где $M[H(t)]$ – временная детерминированная функция математического ожидания линеаризованного случайного процесса $[H(t)]$; $\{h(t)\}$ – случайный стационарный процесс с независимым от времени нулевым средним значением.

Таким образом, учитывая функцию, описывающую стационарный случайный процесс обратимых изменений прогнозирующего параметра ($\{\beta(t)\}$), можем записать:

$$Y(t) = M[H(t)] + \{h(t)\} + \{\beta(t)\}. \quad (7)$$

Временная детерминированная функция $M[H(t)]$ может быть установлена методами регрессионного анализа, по результатам специально поставленного эксперимента или путем случайных выборок в период эксплуатации.

Как следует из формулы (7), при решении рассматриваемой задачи оценки функции износа элементов возникает необходимость определить законы распределения не одной случайной величины, а суммы нескольких независимых случайных величин, то есть найти композицию законов распределения.

Из теории вероятностей известно, что плотность распределения вероятностей суммы случайных величин определяется выражением:

$$P(z) = \int_0^L P_1(x) \cdot P_2(u - x) dx, \quad (8)$$

где $z = (x + y)$; u – промежуточный аргумент.

Установив статистические распределения вероятностей появления отказов элементов по снижению прогнозирующего параметра до граничных значений, можно рассчитать надежность всей технической системы и прогнозировать остаточный ресурс.

Кроме того, нами было установлено, что к основным факторам, влияющим на надежность низковольтных цепей МВПС, относятся: 1) термостойкость. Аппараты должны быть работоспособны при температурах от -50 до $+40$ °С. Нормы предельной температуры для токоведущих частей определяются нагревостойкостью применяемой электрической изоляции и условиями охлаждения поверхности контакт-деталей; 2) электрическая прочность изоляции; 3) работоспособность привода; 4) влагостойкость. Аппараты должны быть работоспособны при относительной влажности воздуха до 90 % , при температуре 20 °С и до 50 % – при 40 °С; 5) вибростойкость и ударопрочность; 6) износостойкость.

Статистические данные могут дать возможность выявить наиболее характерные повреждения низковольтных цепей МВПС на различных этапах реальной эксплуатации.

Список литературы

1. Буйносов А.П., Умылин И.В. Новый блок управления системы гребнесмазывания железнодорожного подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №6. С.99-101.
2. Буйносов А.П., Фетисова Н.Г. Анализ состояния структурных составляющих годности сложных динамических систем железнодорожного транспорта // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 6. С. 102-104.
3. Буйносов А.П., Умылин И.В. О разработке ограничителя тока зарядки аккумуляторных батарей на электропоездах // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 28-30.
4. Буйносов А.П., Умылин И.В. Оптимизация процесса обточки бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 101-104.
5. Буйносов А.П., Денисов Д.С. Блок для экспериментальных исследований вибрации узлов электропоезда в эксплуатации // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №5. С.147-149.

05.02.11

В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко, Э.А. Петровский, Н.А. Бухтоярова

Сибирский федеральный университет,
кафедра Технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
Красноярск, vbukhtoyarov@sfu-kras.ru

МОДЕЛИ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ¹

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-89-91

В статье рассматривается проблема ситуационного анализа оценки надежности технологического оборудования, с учетом формализации задачи выбора мер по уменьшению соответствующих рисков. Предлагается реализовать решение задачи выбора средств, мер и мероприятий в оптимизационной постановке. Такая постановка задачи предполагает необходимость рационального распределения ресурсов для достижения наибольшего эффекта по минимизации рисков, связанных с возникновением и развитием аварийных ситуаций в результате отказов оборудования. Рассматриваемую задачу, ввиду существенной размерности и с учетом многокритериальной постановки, предлагается решать с помощью метода глобальной оптимизации на основе эволюционного (генетического) алгоритма. Также в статье рассматривается переход к робастной постановке задачи с учетом возможной неэффективности отдельных средств, мер и мероприятий.

Ключевые слова: надежность, ситуационный анализ, аварийные ситуации, оптимизация, генетический алгоритм, экспертные системы.

В связи с высокими требованиями к надежности технологических систем использование только традиционных средств обеспечения их безопасности, опирающихся на анализ событий, является недостаточным. Одним из актуальных направлений решения этой проблемы является совершенствование методов анализа аварийных ситуаций и анализа рисков в технологических системах.

Хотя в существующих работах задача построения и анализа деревьев развития аварийных ситуаций частично исследована, проблема повышения эффективности этих механизмов и возможности их автоматической работы в рамках обеспечения безопасности технологических систем в соответствии с текущей обстановкой, остается не до конца решенной [1-3]. Перспективным видится разработка и использование экспертных систем для автоматизированного построения профилей и деревьев развития аварийных ситуаций.

1 Алгоритм формирования дерева развития аварийной ситуации

Входными данными для алгоритма формирования дерева развития аварийной ситуации: конструкция анализируемой системы (ее состояние на момент проведения анализа защищенности), описывающая состав системы и взаимосвязь ее элементов; множество рисков; множество параметров, характеризующих возможные угрозы безопасности. Результатом работы алгоритма является дерево развития аварийной ситуации.

В рамках комплексного подхода предполагается реализация аналитического модуля, решающего задачу поддержки принятия решений при выборе эффективного набора действий с учетом сбоев в технологической системе. В таком модуле реализуется решение задачи выбора действий в оптимизационной постановке с учетом рационального распределения

¹ Работа выполнена в рамках проведения исследований по теме МК-1574.2017.8 «Разработка экспертной системы анализа и управления надежностью, рисками и аварийными ситуациями при эксплуатации технологического оборудования нефтегазового комплекса» финансируемой Советом по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых.

ресурсов для достижения наибольшего эффекта по устранению сбоев. Такая задача, ввиду существенной размерности и с учетом многокритериальной постановки требует выбора адекватного метода многомерной оптимизации. В качестве такого метода предлагается использовать генетический алгоритм.

2 Постановка задачи оптимизации набора мер по снижению рисков в моделировании технологической системы

Рассмотрим постановку задачи выбора оптимального набора мероприятий по повышению промышленной безопасности технологических систем на основе дерева развития аварийной ситуации [4]. Вводится формальный набор мероприятий, позволяющих повысить уровень промышленной безопасности элементов технологической системы. Рассматривается стандартный набор мер:

- для всех узлов – ремонтно-восстановительные работы, сервисное обслуживание или изменение режимов работы;

- для специфичных узлов: отключение, настройка режима работы.

Экспертом формируется относительно каждого узла технологической системы:

- остаточный риск (вероятный ущерб – Residual Damage) – RD ;

- общая стоимость мер по повышению безопасности технологической системы (Safety Control Cost) – SCC .

Пусть определено множество, состоящее из n мероприятий, позволяющих повысить уровень промышленной безопасности элементов технологической системы (Safety Controls):

$$\{SC_i\}, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Введем вектор, определяющий применение этих мероприятий:

$$\vec{T} = (T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n)^T, T_i = \begin{cases} 0, & \text{если мероприятие не осуществляется;} \\ 1, & \text{если мероприятие осуществляется.} \end{cases} \quad (2)$$

Введем вектор, определяющий стоимость осуществления мероприятий:

$$\vec{C} = (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n)^T \quad (3)$$

C_i - стоимость осуществления мероприятия SC_i

Необходимо решить задачу многокритериальной оптимизации:

$$\begin{cases} RD(\vec{T}) \rightarrow \min \\ SCC(\vec{T}) = \sum_{i=1}^n (T_i C_i) \rightarrow \min \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, необходимо решить задачу многокритериальной оптимизации, выбрав такую совокупность мероприятий, которая позволила бы минимизировать остаточный риск при минимизации затрат на реализацию таких мероприятий. При этом для каждого мероприятия определена матрица покрытия, определяющая множество вершин графа развития аварийных ситуаций, для которых она делает невозможным их достижение.

В рамках дальнейшей реализации в составе экспертной системы реализован конструктор критериев, предполагающий возможность введения дополнительных критериев или ограничений в виде взвешенных контрольных сумм, в которых для расчета используется вектор T выбранных мероприятий по повышению промышленной безопасности.

3 Генетический алгоритм формирования оптимального набора мер по снижению рисков в технологической системе

Генетические алгоритмы является мощным средством решения оптимизационных задач [5-6]. Генетические алгоритмы доказали свою состоятельность при решении многих трудных задач поиска и оптимизации и, особенно, в практических приложениях, где математические модели имеют сложную структуру и применение классических методов невозможно или чрезвычайно трудоемко.

В основу данного метода оптимизации положена идея имитации эволюционных процессов, происходящих в живой природе среди особей какой-либо популяции. Особь

(индивид) представляет собой решение, закодированное определенным образом, например, в бинарную строку. Совокупность решений в конкретный момент времени составляет популяцию. Индивиды текущей популяции конкурируют друг с другом за передачу своей генетической информации (создание потомков) в следующую популяцию. К индивидам, отобранным из текущей популяции с помощью оператора селекции, последовательно применяются операторы рекомбинации и мутации. Полученные новые решения (потомки) с заданной вероятностью заменяют решения исходной популяции. Каждый индивид в генетическом алгоритме характеризуется некоторым числом (пригодностью), обозначающим меру его адаптации к окружающей среде.

4 Постановка и решение задачи робастной оптимизации

Постановка задачи (4) была доработана и приведена к задаче робастной оптимизации. Это было сделано исходя из следующего предположения, находящего подтверждение в ходе работы специалистов по промышленной безопасности: ряд мероприятий из сформированного набора могут оказаться неэффективными.

Следовательно, решения должны обеспечивать минимальное изменение критериев оптимизации при переходе к «соседним» решениям.

Математическая постановка задачи приобретает следующий вид: необходимо найти такой бинарный вектор $\vec{T}$, определяющий состав мероприятий промышленной безопасности, что:

$$\max_{\vec{T}_r} \rightarrow RD(\vec{T}_r) - RD(\vec{T}) \leq D \quad (5)$$

где $\vec{T}_r$ – бинарный вектор, отличающийся от $\vec{T}$ не более чем в r позициях; D – максимальное изменение оценки риска, которая определяется экспертом.

Такая формулировка задачи требует перехода к использованию в качестве алгоритмического ядра эволюционного алгоритма многокритериальной условной оптимизации.

Выводы

В рамках комплексного подхода для использования в экспертной системе предложена реализация аналитического модуля, решающего задачу поддержки принятия решений при выборе набора эффективного мероприятий с учетом возникновения аварийных ситуаций. В таком модуле реализуется решение задачи выбора мероприятий в оптимизационной постановке с учетом рационального распределения ресурсов для достижения наибольшего эффекта по снижению рисков. Такая задача, ввиду существенной размерности и с учетом многокритериальной постановки требует выбора адекватного метода многомерной оптимизации. В качестве такого метода предлагается использовать генетический алгоритм. Рассматриваемая задача и метод также предложены для решения с учетом перехода к робастной постановке задачи.

Список литературы

1. Naderpour M., Lu J., Zhang G. An abnormal situation modeling method to assist operators in safety-critical systems //Reliability Engineering & System Safety. – 2015. – Vol. 133. – Pp. 33-47.
2. Yang Z. et al. Progress in the research of reliability technology of machine tools //Journal of Mechanical Engineering. – 2013. – Vol. 49. – Iss. 20. – PP. 130-139.
3. Naderpour M., Lu J., Zhang G. A situation risk awareness approach for process systems safety //Safety Science. – 2014. – Vol. 64. – Pp. 173-189.
4. Vaurio J. K. Importance measures in risk-informed decision making: Ranking, optimisation and configuration control //Reliability Engineering & System Safety. – 2011. – Vol. 96. – Iss. 11. – Pp. 1426-1436.
5. Гладков Л., Курейчик В., Курейчик В. Генетические алгоритмы. – Litres, 2017.
6. Дивеев А. И., Шмалько Е. Ю. Вариационный генетический алгоритм для решения задачи оптимального управления //Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 1. – С. 193-193.

05.02.11

В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко, Е.А. Соловьёв, Э.А. Петровский

Сибирский федеральный университет,
кафедра Технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
Красноярск, vbukhtoyarov@sfu-kras.ru

ОБРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ¹ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-92-94

В статье рассматривается возможность применения методов интеллектуального анализа данных для распознавания и прогнозирования предаварийных и аварийных ситуаций на турбоагрегатах, применяемых в нефтегазовом комплексе. Каждая из моделей реализуется на основе отдельного типа интеллектуальных технологий анализа данных – искусственных нейронных сетей, экспоненциального сглаживания, интегрированная модель скользящего среднего (ARIMA). На примере данных, полученных с датчиков, установленных на турбоагрегате, рассмотрено применения в качестве методов обработки современных статистических методов прогнозирования. Приводится сравнение результатов, рассматривается возможность применения методов в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: моделирование, прогнозирование, экспоненциальное сглаживание, коллективные интеллектуальные методы, нейронные сети, турбоагрегат, диагностика.

Проблема повышения надежности и безопасности эксплуатации турбоагрегатов может решаться путем использования средств и технологий диагностирования вибрационного состояния с определением опасных неисправностей [1]. Своевременный и качественный процесс диагностики и контроля параметров турбоагрегата позволяет осуществлять его эффективную эксплуатацию по состоянию. Несмотря на большое многообразие методов контроля и диагностики, среди них нет универсального, который мог бы заменить остальные в полной мере. Причиной является нелинейность протекающих в нем процессов, многопараметричность, многосвязность и многорежимность его функционирования. Все это предполагает необходимость применения комплексных методов и методик для решения задач контроля и? в частности, обработки данных диагностики и прогнозирования значений диагностических параметров [2].

Для оценки состояния турбоагрегата контролируется множество по своей физической природе параметров, поэтому оценка их состояния требует комплексного применения методов и средств диагностирования, обработки информации для принятия своевременного и правильного решения.

Диагностика турбоагрегатов

Наибольшее негативное влияние на надежность турбоагрегата оказывает повышенная вибрация. При достижении определенной величины вибрация может вызвать нарушение технологических процессов, искажению показаний приборов, усиленному износу кинематических пар, поломкам деталей и авариям машин. Статистика показывает, что в большинстве случаев поломки и аварии машин происходящего причине вибрации, возникающей при отклонении показателей режима работы машин от допустимых значений, изменений формы и взаимного положения деталей, ослаблении креплений и посадок деталей, появлении значительной неуравновешенности движущихся частей [3]. Качество

¹ Работа выполнена в рамках проведения исследований по теме МК-1574.2017.8 «Разработка экспертной системы анализа и управления надежностью, рисками и аварийными ситуациями при эксплуатации технологического оборудования нефтегазового комплекса» финансируемой Советом по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых.

изготовления материалов сборки оборудования, износ основных узлов и деталей, технологический режим эксплуатации, своевременный контроль и диагностика оборудования – все это влияет, в конечном счете, на вибрационные характеристики, которые можно использовать, для оптимизации режима работы, оценки технического состояния механизмов и прогнозировании их ресурса.

Вибрационные измерения стоит производить на стационарных режимах работы агрегата.. При исследованиях в качестве вибрационного параметра используется виброскорость (среднее квадратичное значение мм/с). Непосредственным источником колебаний является валопровод турбоагрегата, который, вращаясь на масляной пленке подшипников, передает через нее усилия на вкладыши подшипников и их корпуса [3]. Вибрация турбоагрегата должна измеряться и регистрироваться с помощью стационарной аппаратуры непрерывного контроля вибрации подшипников опор, которая должна соответствовать государственному стандарту.

Преимущество вибродиагностики состоит в том, что можно получить достоверную информацию о состоянии узлов турбоагрегата без нарушения производственного цикла. Переход от концепции «ремонт по отказу» на ремонтные работы по фактическому состоянию возможен с использованием современных технологий интеллектуального анализа данных (data mining), которые, однако предполагают, использование эффективных методов обработки статистической информации.

Для диагностирования состояния турбоагрегатов наряду с данными вибрационной диагностики также рассматриваются такие параметры (тренды), как температура подшипниковых узлов, давление пара, частота и потребляемая мощность.

Далее представлены результаты экспериментального исследования методов обработки данных технической диагностики с помощью современных методов статистического и интеллектуального анализа данных.

Экспериментальное исследование

Для исследования методов интеллектуального анализа данных использовался программный продукт Statistica, разработанный компанией StatSoft. Были рассмотрены методы искусственных нейронных сетей (многослойный персептрон – метод №1 в таблице 1, сеть с радиальными базисными функциями – метод №2 в таблице 1), метод экспоненциального сглаживания – метод №3 в таблице 1, интегрированная модель скользящего среднего – метод №4 в таблице 1 [4-6]. По литературным источникам выбраны важные параметры работы турбоагрегатов с точки зрения аварийных ситуаций: вибрация, мощность на выводах генератора, частота, температура подшипниковых узлов, давление пара. Для нейронных сетей используется разбиение данных на обучающую и тестовую подвыборки, для остальных методов задается горизонт прогнозирования и оцениваются ошибки моделирования на все периоде накопления параметрической информации, а также на конечном интервале прогнозирования параметров на 10 отсчетов времени.

В таблице 1 приведены результаты экспериментов - значения ошибки всей модели прогнозирования для каждого метода.

Таблица 1 – Результаты численного исследования эффективности методов прогнозирования по диагностическим параметрам

Метод	Диагностический параметры турбоагрегата									
	Вибрация		Давление		Темпер.		Частота		Мощность	
	Ошибка моделирования (м)/прогнозирования (п), %									
	м	п	м	п	м	п	м	п	м	п
1	7,6	7,6	1,8	2,7	1,2	2,2	4,8	5,8	0,3	1,2
2	4,1	6,8	1,9	2,9	1,4	1,7	3,9	6,7	0,6	1,0
3	7,7	4,6	1,8	2,1	2,2	1,5	6,2	5,1	1,0	0,8
4	-	8,3	-	3,1	-	1,9	-	5,9	-	1,2

Параметры настройки нейронных сетей выбирались на основе предварительных экспериментов, направленных на определение эффективных значений соответствующих параметров. Наилучшие результаты были получены при использовании метода экспоненциального сглаживания для прогнозирования параметров работы турбоагрегата важные с точки зрения аварийных ситуаций. Каждый из методов содержит значительное количество вариаций, поэтому подробное их описание в данной статье не рассматривается.

Выводы

Основываясь на результатах исследования можно сделать вывод о целесообразности использования метода искусственных нейронных сетей для обработки данных технической диагностики турбоагрегатов и создание на его основе комплексной процедуры, включающей как нейронные сети, так и другие методы интеллектуального анализа данных, в качестве локально поддерживающих методов.

Основываясь на результатах исследования можно сделать вывод о целесообразности использования метода экспоненциального сглаживания для прогнозирования аварийных параметров турбоагрегатов и создание на его основе комплексной процедуры, включающей как нейронные сети, так и другие методы интеллектуального анализа данных, в качестве локально поддерживающих методов.

Список литературы

1. *Кневещ Н.Н.* Показатели С.Т.Н.А. Влияние достоверного определения состояния турбоагрегата на показатели использования энергоблока //Труды Одесского политехнического университета. – 2007. – №.2(28).
2. *Бухтояров В.В., Глушков В.А.* О коллективных интеллектуальных методах решения задачи моделирования состояния технологического оборудования для предупреждения инцидентов безопасности //Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2014. – № 1. – С. 20-26.
3. *Куменко А.И.* Влияние эксплуатационных факторов на статические и динамические характеристики валопроводов мощных паровых турбин // Вест. МЭИ. – 1994. - №3.
4. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
5. *Sbrana G., Silvestrini A.* Random switching exponential smoothing and inventory forecasting //International Journal of Production Economics. – 2014. – Vol. 156. – Pp. 283-294.
6. *Грешилов, А. А.,* Математические методы построения прогнозов / А. А.Грешилов, В. А.Стакун, А. А. Стакун. — М.: Радио и связь ,1997. – 112 с.

05.02.02

А.А. Вознесенская, А.В. Жданов к.т.н., Д.А. Кочуев, В.В. Морозов д.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОРОШКА НА ЭНЕРГИЮ ОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ СПЕКАНИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-95-98

В работе осуществлено селективное лазерное спекание алюминиевых порошков различного гранулометрического состава, которые были получены путем совместной механической активации материала матрицы и частиц наполнителя. Проведен анализ исходного материала, распределения частиц по размерам и морфологии поверхности частиц порошка. Исследована зависимость влияния морфологии гранул порошка и энергии, затрачиваемой на оплавление участка порошкового материала, на качество получаемых объемных образцов.

Ключевые слова: *морфология частиц, селективное лазерное спекание (СЛС), алюминиевая матрица.*

Получение готовых деталей машин с использованием аддитивных технологий активно развиваются как за рубежом, так и в нашей стране. Послойное лазерное спекание металлопорошковых композиций является одним из направлений. Популярность применения такого метода синтеза готовых деталей растет с каждым днем. Это можно связать с высокой гибкостью производства, сокращением времени, возможностью модуляции свойств, получаемой детали посредством изменения концентраций различных применяемых порошков. Небольшое количество отходов производства и минимальная последующая механическая обработка так же являются привлекательными сторонами технологии послойного синтеза.

Точность изготовления деталей зависит от толщины образующего слоя (обычно это составляет от 50 до 100 мкм) [1, 2]. Это обусловлено размерами сфер в применяемом порошке (от 20 до 60 мкм) и особенностями фокусирующей системы. Наибольший интерес представляют готовые изделия из металлокерамических композиций, для получения которых применяются различные легирующие добавки, которые вносятся в металлическую матрицу как непосредственно в процессе сплавления (в результате воздействия высоких температур образуют соединение с металлом порошка-основы), так и в процессе синтеза порошка. При данном подходе не происходит вклад химических реакций в процессе синтеза детали, а воздействие лазерного излучения на такой порошок приводит к сплавлению частиц с минимальным переходом материала в парогазовую фазу от избытка энергии, образующегося в результате различной поглощающей способности металлов и вносимых примесей. При внесении различных керамических компонентов в композицию существует много трудностей, связанных с различными точками плавления, смачивания поверхности металлами, фазовым переходом используемых материалов [3]. В литературе не обнаружено данных касательно повышения поглощательной способности материалов с применением порошков из оксида алюминия для обработки лазерным излучением с длиной волны 1.06 мкм. Образованная развитая морфология гранул порошка должна поглощать лазерное излучение в значительно большей степени, чем гладкая поверхность. Поглощательная способность снижается с уменьшением шероховатости поверхности. Макроскопически шероховатая поверхность представляет собой большое число микроскопических участков,

ориентированных под разными углами к направлению падения световой волны, характеризующихся различным значением коэффициента отражения, в этом случае наблюдается рассеяние света поверхностью [4]. Зависимость коэффициента отражения от угла падения и его величина различны для хорошо отполированной и шероховатой поверхностей.

Исследование влияния морфологии гранул порошка и энергии, затрачиваемой на оплавление участка порошкового материала, позволит выровнять энергетический порог, приводящий к оплавлению гранул различных материалов, обеспечить равномерное оплавления за счет изменения коэффициента поглощения лазерного излучения для каждого материала порошковой композиции. Данный подход так же возможно применять при использовании порошковых материалов с большой дисперсией размеров компонентов композиций.

В качестве обрабатываемых материалов использовался алюминиевый порошок. Классический порошок для наплавки имеет сферическую форму и гладкую поверхность. Для изменения шероховатости гранул использовался метод обработки материала в планетарной мельнице с введением абразивных материалов корунда и графита. В результате размол порошковой композиции в планетарной мельнице поверхность и форма гранул была сильно изменена, образовался развитый микрорельеф. На поверхность металлической подложки наносилась порошковая композиция, толщина слоя порошка составляла 150 мкм, далее образованная поверхность была подвержена импульсному лазерному воздействию, длительность импульса составляла 1-3 мс, длина волны излучения 1060 нм, размер пятна 2 мм, перекрытие при сканировании 60%, частота следования импульсов 25 Гц, обработка проводилась в 1 слой в среде аргона.

В процессе воздействия лазерного импульса происходило образование жидкой фазы с последующим быстрым охлаждением и затвердеванием без постоянной тепловой нагрузки на обрабатываемый материал. Порошок Al спекался при 9 Дж, $(Al+ANT)$ – 5 Дж, $(Al+1C)$ – 5 Дж. Таким образом можно отметить, что в процессе выполнения обработки порошок $Al+ANT$ и $Al+1C$ оплавливались при энергии почти в 2 раза меньшей нежели алюминиевый порошок без предварительной модификации поверхности гранул. При воздействии с меньшей энергией порошок собирается в капли, выражена плохая смачиваемость компонентов композиции, при превышении энергии происходит интенсивное горение материала с характерным динамичным газообразованием. Критерием, определяющим удовлетворительное качество обработки при выборе режима воздействия являлось состояние образованной поверхности. В процессе проведения работ осуществлялся визуальный контроль с помощью оптического микроскопа. Режимы, приводящие к образованию пор, трещин, образованию града, неравномерному оплавлению в материале данной работы не рассмотрены. По характеру обработки порошковых материалов можно сделать вывод что состав используемого абразива не вносит ощутимого вклада, так как углерод является материалом с хорошим поглощением лазерного излучения на длине волны 1.06 мкм, корунд использованный в качестве другого абразивного материала имеет коэффициент поглощения значительно ниже. Таким образом морфология поверхности частиц оказывает большее влияние на поглощение лазерного излучения нежели тип используемого абразива.

Перед лазерным спеканием были исследованы морфология поверхности и гранулометрический состав порошков после механохимической обработки в шаровой мельнице. Результаты были получены с помощью растрового электронного микроскопа (рис. 1).

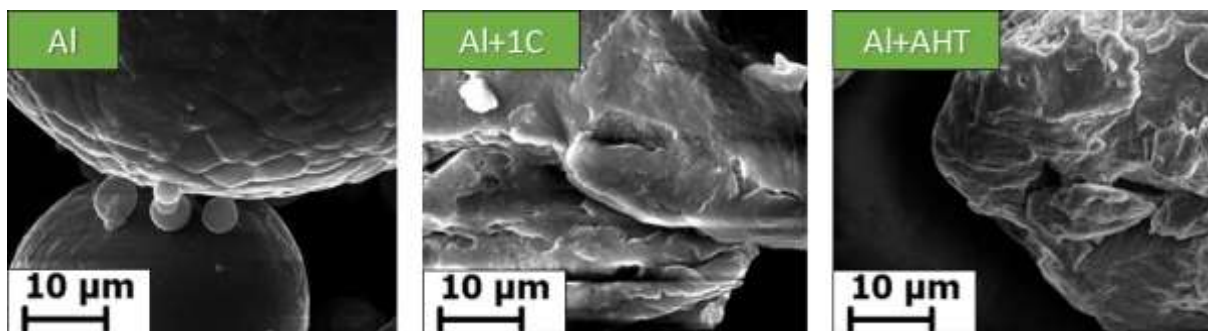


Рис. 1 - РЭМ изображения исследуемых порошков

На фотографиях РЭМ видно, что порошка *Al+ANT* имеют сложную, неоднозначную форму, частицы порошка *Al* – имеют практически идеальную сферическую форму и гладкую поверхность. Размеры частиц *Al* - 10-120 мкм, *Al+ANT* - 50-120мкм, *Al+1C* – 40-150 мкм.

Для выявления дефектов было выполнено исследование структуры образованного материала в поперечном сечении с помощью металлографического анализа. Полученные микрошлифы подвергались последующему химическому травлению поверхности.. Результаты исследования микрошлифов представлены на рис. 2.



Рис. 2. Микрошлифы спекаемых порошков

На рис. 2, А показано образование мелкозернистой структуры, пористость не наблюдается. На рис. 2, Б малое содержание углерода не приводит к образованию выраженного углеродсодержащего слоя, предотвращающего смачивание расплавом, существует возможность нанесения нескольких слоев. На рис. 2, В представлены игольчатые или столбчатые кристаллы, растущие в направлении интенсивного охлаждения. Существует значительное количество трещин и низкая адгезионная стойкость к подложке и при образовании новых слоев. Для случаев на рис. 2,Б и 2,В характерна значительно меньшая толщина образованного слоя. Что наверняка вызвано наличием избыточного количества углерода и корунда препятствующего смачиванию компонентов композиции между собой. Меньшая толщина образованного слоя вызвана интенсивным газообразованием оксида алюминия и углерода в результате взаимодействия с лазерным излучением, что в последствии привело к «разбрасыванию» гранул порошка.

В проделанной работе исследовалось влияние структурирования поверхности порошковых микрогранул для повышения поглощения лазерного излучения при лазерном сплавлении. Изменение морфологии поверхности гранул позволило снизить энергию образования равномерного валика из порошка почти в два раза, что является весьма ощутимым результатом. При использовании корунда в качестве абразивного материала для изменения морфологии поверхности гранул порошка структура образованного наплавленного слоя имеет выраженные трещины. Причиной трещинообразования может выступать низкая адгезионная стойкость микрокристаллов корунда с алюминием, различные коэффициенты температурного расширения материалов, плохая смачиваемость корунда с алюминием в процессе формирования ванн расплава. Качественно показана возможность изменения поглощательной способности гранул порошковой композиции путем модификации поверхности гранул. Повышение эффективности данного подхода возможно путем усовершенствования технологии изменения морфологии поверхности путем подбора оптимального типа абразивного материала, а также количественного и фракционного состава.

Список литературы

1. Башкиров Е.Р. и др. 3D синтез композитных материалов и деталей// Вестник магистратуры. – 2015. – С. 39.
2. Дворянинова Т.П. и др. Оценка производительности селективного лазерного спекания // Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – №3. – С. 122-125. – ISSN 2079-5920.
3. Кузнецов С. И. и др. Влияние состава порошковой композиции Ti–Al на процессы лазерного спекания и синтеза интерметаллидов// Известия Самарского научного центра РАН. – 2005. – Т. 7. – №. 1.
4. Кострицкий В. В., Лисовский А. Л. Повышение поглощательной способности поверхностного слоя металла при лазерном воздействии с помощью поглощающих покрытий. – 2013.

05.02.04

А.В. Джабаров, А.В. Ионов, Р.А. Куколин, И.А. Николаев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
факультет «Двигатели летательных аппаратов»,
кафедра «Технология производства двигателей летательных аппаратов»
Москва, kukolinroman2012@yandex.ru

**ИЗНАШИВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ, ДЛЯ
РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ГТД**

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-99-104

Увеличение ресурса и надежности элементов механизмов и машин, изготовленных из алюминиевых сплавов, связано с увеличением износостойкости их рабочих поверхностей. В работе представлены результаты испытаний на механическое возвратно-поступательное изнашивание покрытий, полученных методом микродугового оксидирования на алюминиевом сплаве АК4-1, при различных значениях перемещения и нормальной нагрузки, приложенной к зоне контакта. В результате были получены карты износа, оценка ресурса покрытий и связи между режимом трения и разрушением покрытий.

Ключевые слова: покрытие, изнашивание, микродуговое оксидирование, карта износа.

Введение. Повышение ресурса и надежности элементов машин и механизмов, изготовленных из алюминиевых сплавов, напрямую связано с увеличением износостойкости их рабочих поверхностей. Применение керамических покрытий в качестве защитных приводит к некоторым изменениям в рабочих характеристиках узла трибоконтакта [1]. С одной стороны увеличивается износостойкость защищаемых поверхностей за счет высокой твердости керамики, повышается коррозионная стойкость, а также рабочая температура контакта, но, с другой, на передний план выходят вопросы адгезии покрытия и его прочности, т.к. его разрушение приведет к отслаиванию твердых частиц, которые могут вывести из строя узел трения.

В настоящее время активно развивается метод микродугового оксидирования (МДО) для формирования защитных покрытий на металлах и сплавах «вентильной» группы (оксидная естественная пленка которых обладает полупроводниковыми свойствами), позволяющий повысить износостойкость обрабатываемой поверхности [2,3]. Метод ведет свое развитие от традиционного анодирования, широко распространенного в машиностроении для получения коррозионностойких, диэлектрических, декоративных и др. функциональных покрытий. Преимущества метода МДО по сравнению с анодированием заключается в возможности формирования композиционных керамических покрытий, обладающих кристаллической структурой, высоким сопротивлением к различным видам изнашивания, а также повышенной коррозионной и диэлектрической стойкостью [4].

Таким образом, применение метода МДО для формирования износостойких покрытий на трущихся элементах машин и механизмов требует установления механизмов его разрушения в различных условиях нагружения, а также определение критических значений этих нагрузок.

Условия эксперимента и методы исследования. Исследование изнашивания МДО покрытий проводилась с использованием спроектированной в МАИ машине трения (рис.1а) при возвратно-поступательном скольжении образцов в контакте сфера/плоскость (рис.1б), где сферой служил алмаз технический марки ОИ-12-2 (Ø3,7мм), а плоскостью – образец из сплава Д16 с МДО покрытием.

МДО покрытие было сформировано с использованием конденсаторного 50Гц источника питания в анодно-катодном режиме с суммарной плотностью тока, пропускаемой через образец, $j = 10 \text{ А/дм}^2$, соотношением анодной и катодной составляющей тока $I_k/I_a = 1$, время процесса ограничивалось достижением значения количества электричества $q \approx 104 \text{ Кл/дм}^2$, температура электролита – $T = 25\text{--}30^\circ\text{C}$. В качестве электролита использовался водный раствор с добавкой различных растворимых веществ в концентрации: $\text{СКОН} = 4,5 \text{ г/л}$, $\text{CNa}_2\text{SiO}_3 = 4,5 \text{ г/л}$, $\text{CNa}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 1 \text{ г/л}$.

Исследование пятен износа проводилось измерением профиля повреждения с помощью профилометра Mitutoyo SJ-210 (Япония) и расчетом объемного износа по специально разработанной методике, кроме того, проводился визуальный осмотр пятен на стереомикроскопе МБС-9 и изучение зависимости ($F_{тр}$ – D) – петель износа.

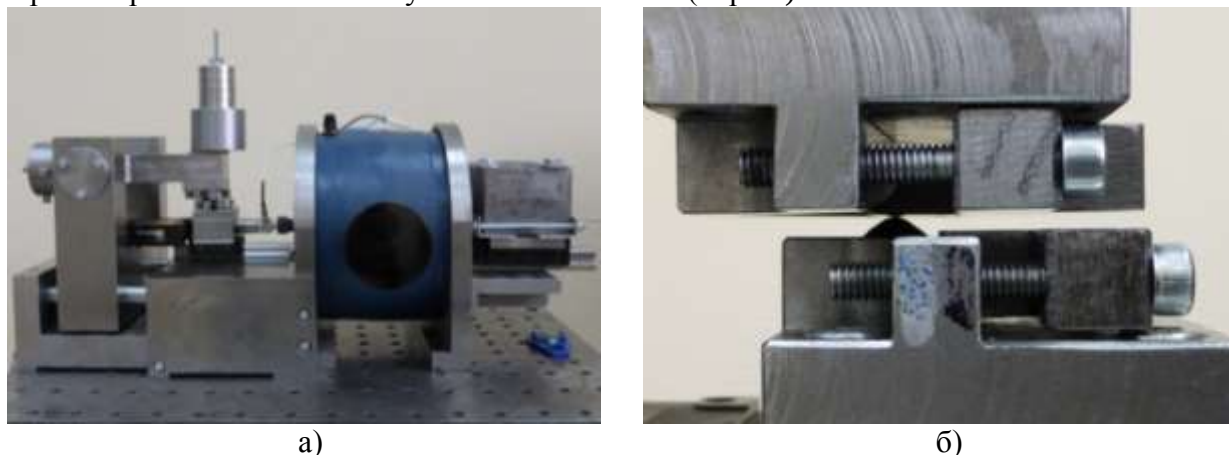


Рис.1. а) Внешний вид машины трения, б) контакт сфера/плоскость

Экспериментальная часть. Эксперименты проводились при следующих значениях нормальной нагрузки в контакте: $F_n = 25\text{--}150 \text{ Н}$, с шагом 25 Н ; и значений полного перемещения: $D = \pm 3, \pm 5, \pm 10, \pm 20, \pm 30, \pm 40, \pm 50, \pm 75, \pm 100, \pm 125, \pm 150, \pm 200, \pm 250 \text{ мкм}$ в течение 105 циклов при частоте перемещения контртела (сфера) относительно образца с покрытием – 20Гц. Необходимо отметить, что в условиях возвратно-поступательного скольжения контакт пары трения может работать в нескольких режимах: фреттинга и классического возвратно-поступательного изнашивания. Граница между этими режимами определялась из условия $D = 2a$ (рис.2), где a (мкм) – радиус пятна контакта. Для расчета a , а также начального давления в контакте использовалась контактная теория Герца с учетом следующих значений величин механических характеристик трущихся тел: $E_{\text{ои-12-2}} = 1054 \text{ ГПа}$, $\nu_{\text{ои-12-2}} = 0,1$, $E_{\text{мдо}} = 300 \text{ ГПа}$, $\nu_{\text{мдо}} = 0,27$, E_i – модуль упругости, а ν_i – коэффициент Пуассона.

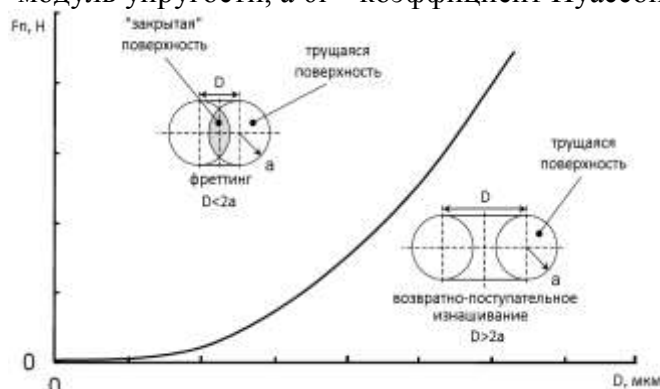


Рис.2. Граница и условия перехода между режимом фреттинга и возвратно-поступательным изнашиванием

По результатам проведенных экспериментов был измерен объемный износ покрытия в каждом эксперименте и исследован характер разрушения покрытия, что позволило определить типы повреждения характерные для различных режимов трения и определить границы этих областей (рис.3). Так в режиме фреттинга основным механизмом разрушения МДО покрытия является микроабразивный износ. Он вызывает выглаживание поверхности, а также

образование царапин в пятне контакта, направленных вдоль движения контртела. В режиме частичного проскальзывания, когда центральная часть контакта находится в неподвижном состоянии, а скольжение осуществляется по его периферии, повреждение покрытия происходит только за счет деформации. Все эти типы повреждений характеризуют умеренный износ покрытия.

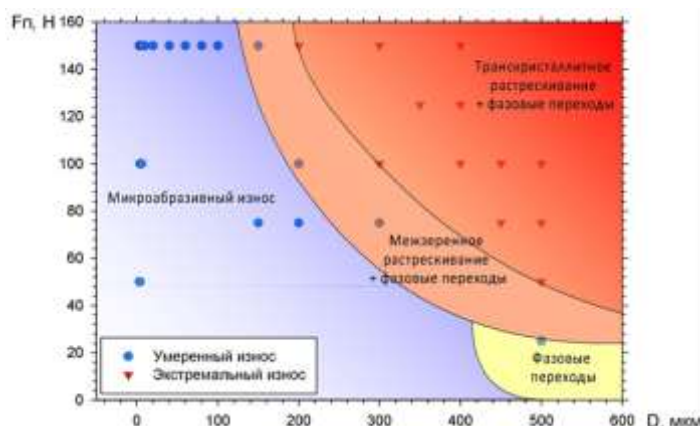


Рис.3. Карта износа МДО покрытие (Д16)/Алмаз технический ОИ-12-2

С увеличением нормальной нагрузки повышаются тангенциальные напряжения в покрытии, что в конечном итоге вызывает его растрескивание: сначала по границе между основным (твердым) и технологическим (пористым) слоем, что характеризует интенсивный режим изнашивания, а затем и до подложки с отслоением крупных частиц покрытия – экстремальный режим изнашивания. Таким образом, нормальная работа защитного покрытия, полученного методом МДО, возможна только в режиме умеренного изнашивания, т.е. в условиях микроабразивного разрушения.

Для дальнейшего исследования трибологических свойств МДО покрытия был применен энергетический подход, заключающийся в анализе петель износа ($F_{тр}-D$) (рис.4). Этот анализ заключается в расчете затрачиваемой энергии в процессе трения при возвратно-поступательном скольжении, определении режима изнашивания по виду петли износа и расчету ресурса покрытия.

В настоящее время [5,6], такой подход широко применяется в основном для анализа процессов фреттинга для различных пластических материалов, что позволяет определить границы областей усталостного (смешанный режим – mixed fretting regime) и абразивного (режим полного скольжения – gross slip regime) изнашивания в выбранных условиях нагружения контакта. В нашей работе делается попытка применения энергетического подхода к анализу трения композиционного керамического МДО покрытия, а также расширение этого подхода в область классического возвратно-поступательного изнашивания.

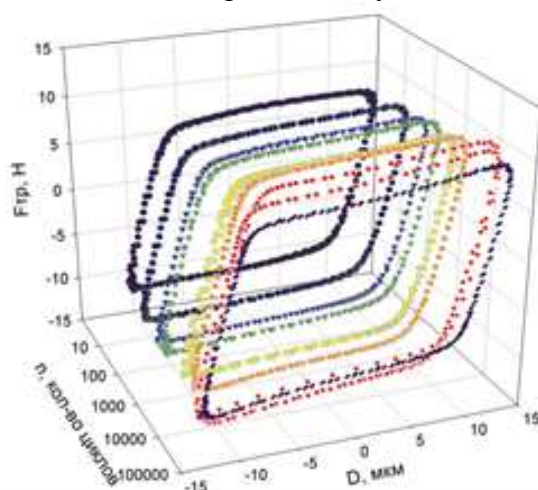


Рис.4. Петли износа ($F_{тр}-D$), полученные в течение 10^5 циклов при микроабразивном разрушении МДО покрытия

Изучение формы петель износа показало, что в умеренном режиме изнашивания (микроабразивный механизм разрушения) форма петель имеет вид параллелограмма и достаточно равномерна в течение всего процесса - 105 циклов (рис.4). Это условие позволило рассчитать энергетический коэффициент объемного износа (α) равный:

$$\alpha = \frac{W_v}{\sum_{i=1}^n E_{di}},$$

где W_v – объемный износ покрытия, а E_{di} – рассеиваемая энергия в контакте за один акт трения:

$$E_{di} = \sum_{j=1}^n F_{\text{тр}j} D_j.$$

В условиях проводимого эксперимента для области умеренного изнашивания коэффициент $\alpha = 25 \times 10^{-6}$ мм³/Дж (рис. 5а). Расчет этого коэффициента позволяет оценивать ресурс покрытия (N , циклов) в зависимости от рассеиваемой энергии в контакте за цикл трения (E_{di}) при условии учета износа контртела и его геометрических размеров (рис.5б):

$$N = \frac{2 \times 10^5}{E_{di}} - 0,31$$

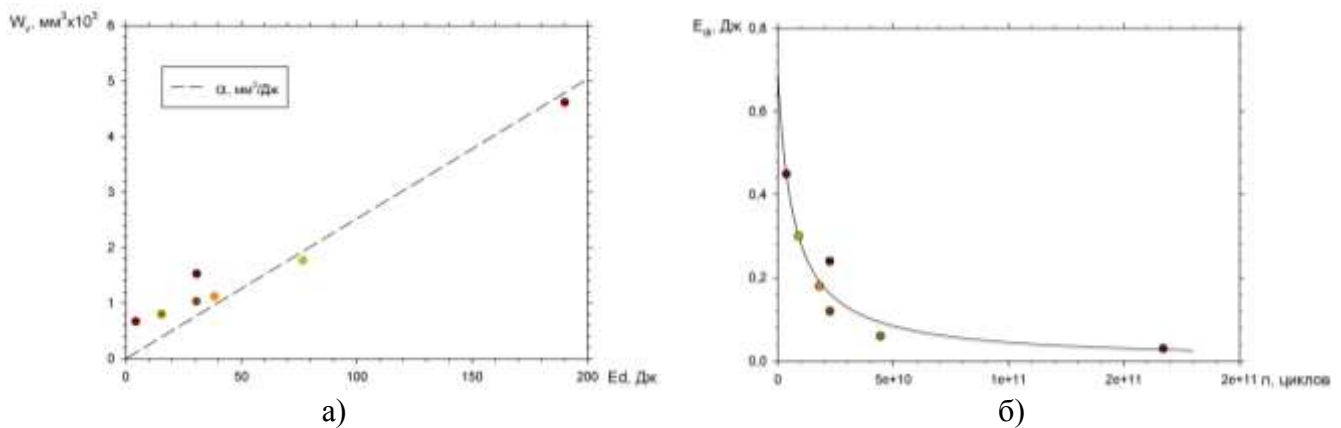


Рис.5. а) График линейной аппроксимации энергетического коэффициента объемного износа (α , мм³/Дж), б) График оценки ресурса МДО покрытия в зависимости от рассеиваемой энергии в контакте за один цикл трения

При переходе в экстремальный режим изнашивания (растрескивание покрытия до подложки) вид петель износа резко изменяется (рис.6). Так в крайних точках появляются резкие забросы значения силы трения уже с первых циклов, что говорит о высокой скорости изнашивания покрытия и роста сдвиговой составляющей разрушения покрытия, что в конечном итоге приводит к образованию трещин.

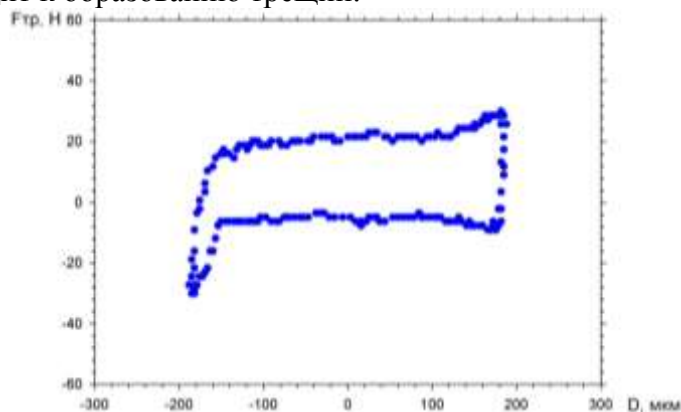


Рис.6. Петля износа ($F_{\text{тр}}-D$), полученная в первые циклы при экстремальном изнашивании МДО покрытия

Таким образом, анализ петель износа показал, что экстремальное изнашивание покрытия можно предсказать уже на начальной стадии трения, а этот вывод, в свою очередь, позволил

сделать предположение о существовании критического значения приложенной к контакту нагрузки (сочетание F_n - D). Эта критическая нагрузка выражается через полную энергию (E_{ti}) прикладываемую к контакту за один цикл на начальной стадии эксперимента:

$$E_{ti} = 2\bar{\mu}_g F_{ni} D_i,$$

где $\bar{\mu}_g$ – средний коэффициент трения равный 0,01, а $F_{nri} = \bar{\mu}_g F_{ni}$.

Значение критической энергии достаточной для перехода в экстремальный режим изнашивания находится эмпирически, путем построения графика полной энергии (E_{ti}) и обозначению вида разрушения покрытия для каждого образца на графике (рис.7).

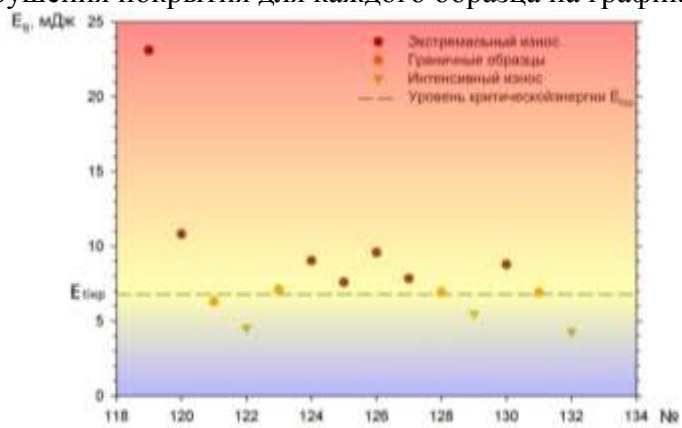


Рис.7. Значение полной энергии (E_{ti}) прикладываемой к контакту в первые циклы эксперимента

Таким образом, для испытанного МДО покрытия уровень критической энергии был равен $E_{кр} = 0,61$ мДж. Для определения теоретической границы перехода в экстремальный режим изнашивания по всей области нагружения необходимо приравнять $E_{кр} = E_{ti}$, откуда получаем:

$$2\bar{\mu}_g F_{ni} D_i = 0,0061.$$

Это равенство является гиперболической функцией заданной в неявном виде, по которому легко определить границу перехода в экстремальное изнашивание (рис.7). Как видно построенная таким образом кривая хорошо совпадает с экспериментальными данными.

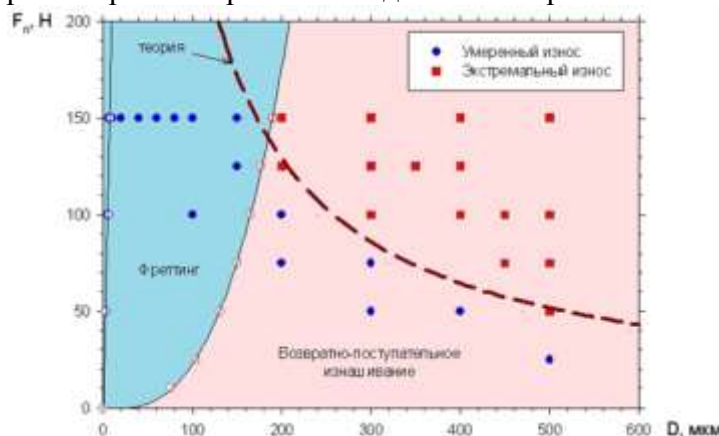


Рис.7. Значение полной энергии (E_{ti}) прикладываемой к контакту в первые циклы эксперимента

Выводы.

1. Для МДО покрытия были определены границы областей механизмов разрушения (деформационного и микроабразивного механизмов, растрескивания и отслаивания покрытия).

2. Оценен ресурс покрытия (N) в области микроабразивного износа, а также найдено значение критической энергии ($E_{кр} = 0,61$ мДж), позволяющее оценить значения нормальной нагрузки (F_n) и перемещения (D) при возвратно-поступательном скольжении, при которых происходит растрескивание и отслаивание МДО покрытия.

Список литературы

1. K. Holmberg, A. Matthews Coatings Tribology: properties, Mechanisms, Techniques and Application in Surface Engineering, Elsevier, 2009. -560с.
2. Rao V.D.N., Cikanek H.A., Boyer B.A., Lesnevsky L.N., Tchernovsky M.N., Tjurin V.N. Friction and Wear Characteristics of MAO Coating for Light Weight, Wear Resistant, Powertrain Component Application // SAE Technical Paper №970022, 1997. pp. 91-105.
3. Бойцов Б.В., Лесневский Л.Н., Ляховецкий М.А., Петухов Ю.В., Прусс Е.М., Трошин А.Е., Ушаков А.М., Повышение надёжности алюминиевых прессформ путём защиты их от износа и коррозии методом микродугового оксидирования // Проблемы машиностроения и надёжности машин, 2013..№6. - С. 45-53
4. Суминов И.В. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. По общ. Ред. И.В. Суминова / И.В.Суминов, П.Н.Белкин, А.В. Эпельфельд, В.Б.Людин, Б.Л. Крит, А.М. Борисов. В 2-х томах. 2011. Том 2. –Москва: Техносфера. 512с.
5. Vingsbo O., Soderberg S., On fretting maps // Wear, 1988. V. 126. – pp.131-147
6. Fouvry S., Kapsa Ph., Vincent L., Analysis of sliding behavior for fretting loadings: determination of transition criteria // Wear, 1995. V.185. -pp. 35-46

05.02.11

В.В. Ершов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, er.vittore@gmail.com

ВЕРИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-105-108

В статье описаны математические основы алгоритмов бимформинга для идентификации источников шума. Рассматриваются алгоритмы Delay-and-Sum Beamforming, Cross-spectral Beamforming и DAMAS. Проведен эксперимент по локализации эталонных источников шума с помощью 54-канальной микрофонной антенны Bruel&Kjaer в акустической заглушенной камере. Выполнено сравнение результатов локализации эталонных источников звука на основе указанных алгоритмов с экспериментом.

Ключевые слова: бимформинг, заглушенная камера, микрофонная антенна, локализация источников шума, эталонный источник звука.

Для борьбы с шумом, генерируемым различными энергоустановками, промышленными и транспортными объектами, необходимо владеть информацией о распределении акустических источников в пространстве. Для этих целей измерение шума проводится микрофонными антеннами, данные с которых обрабатываются по различным алгоритмам бимформинга. С их помощью можно определить положение и уровень звукового давления источника звука на частотах, представляющих интерес.

Классический метод Delay-and-Sum в частотной области для случая дальнего поля описывается выражением отклика микрофонной антенны [1]:

$$B(\omega, \vec{r}) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_m e^{j\omega\Delta_m},$$

где $P_m(\omega)$ – звуковое давление в Фурье-пространстве; Δ_m – временная задержка; $\vec{r}$ – вектор, определяющий расстояние между положением микрофона и точкой дискретной сетки в пространстве; M – число микрофонов в массиве. Среднеквадратичное значение отклика микрофонной антенны можно выразить как:

$$|B|^2(\omega, \vec{r}) = \frac{1}{M} \frac{|\mathbf{v}^T \mathbf{C} \mathbf{v}^*|}{\sqrt{\mathbf{w}^T \mathbf{1} \mathbf{w}^*}},$$

где $\mathbf{C}$ – матрица взаимных спектров; $\mathbf{v}$ – направляющий вектор; $\mathbf{w}$ – направляющий вектор с квадратичными элементами абсолютных величин.

Алгоритм Cross-spectral Beamforming [1] характеризуется исключением автоспектральных элементов C_{nn} из матрицы взаимных спектров, содержащих собственный шум отдельных микрофонов:

$$|J|^2(\omega, \vec{r}) = \frac{1}{\sqrt{M(M-1)}} \frac{|\mathbf{v}^T \mathbf{C}' \mathbf{v}^*|}{\sqrt{\mathbf{w}^T \mathbf{1}' \mathbf{w}^*}}.$$

Алгоритм DAMAS [2] позволяет увеличить предел пространственного разрешения метода Delay-and-Sum. Задача сводится к системе линейных уравнений, где предполагается, что некогерентные монополи с различной комплексной амплитудой составляют исходную область источника.

В акустической заглушенной камере лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа ПНИПУ [3, 4] с помощью 54-канальной микрофонной антенны

Bruel&Kjaer [5, 6] был поставлен эксперимент по локализации двух эталонных точечных источников шума (биперов), у которых известна частота излучения звука (2.4 и 2.7 кГц). Антенна была направлена на источники звука и удалена от них на расстояние 4.2 м. Результаты эксперимента были обработаны в фирменном программном обеспечении «PULSE Array Acoustics Post-processing» в диапазоне частот до 6400 Гц. Карта распределения эталонных источников шума для частот 2408 и 2668 Гц показана на рис. 1. Динамический диапазон 5 дБ.

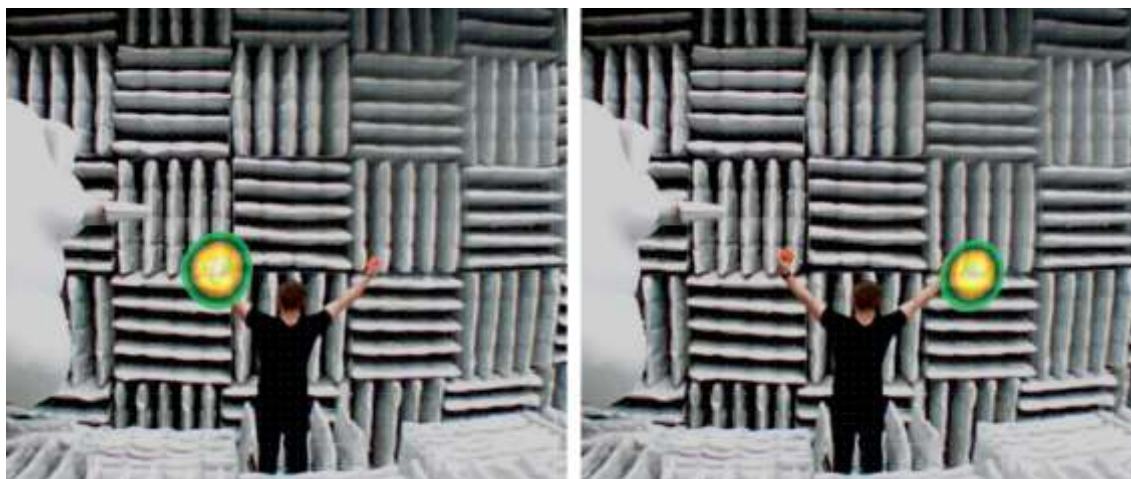


Рис. 1 – Результаты локализации точечных источников шума микрофонной антенной Bruel&Kjaer на частотах 2408 (слева) и 2668 (справа). Максимальные уровни звукового давления 49 дБ и 51,96 дБ соответственно

После проведения акустических измерений был разработан программный продукт, включающий в себя описанные выше алгоритмы бимформинга. Результаты работы алгоритма Delay-and-Sum показаны на рис. 2, Cross-spectral Beamforming на рис. 3, алгоритма DAMAS – на рис. 4.

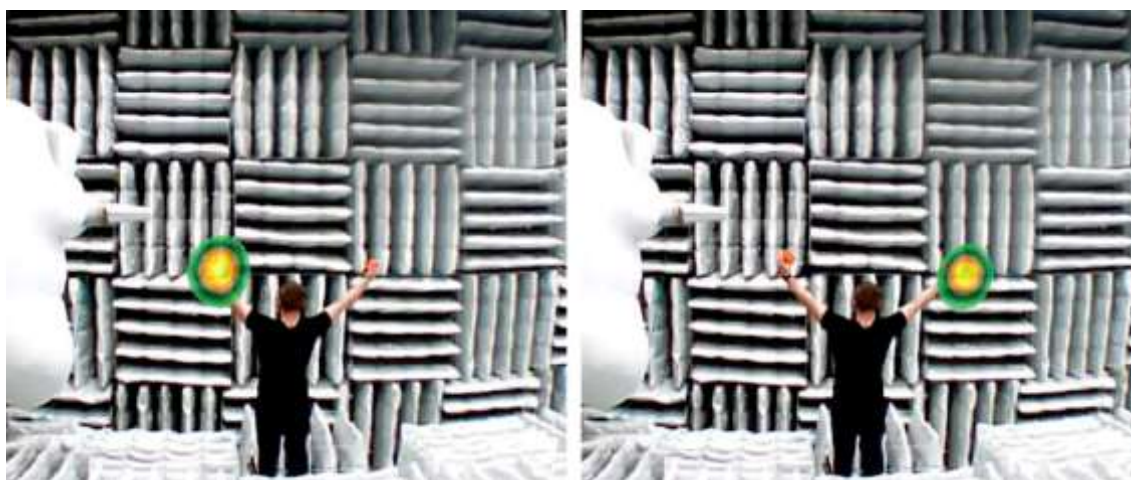


Рис. 2 – Обработка экспериментальных данных алгоритмом Delay-and-Sum на частотах 2408 (слева) и 2668 (справа). Максимальные уровни звукового давления 49,33 дБ и 52,21 дБ соответственно

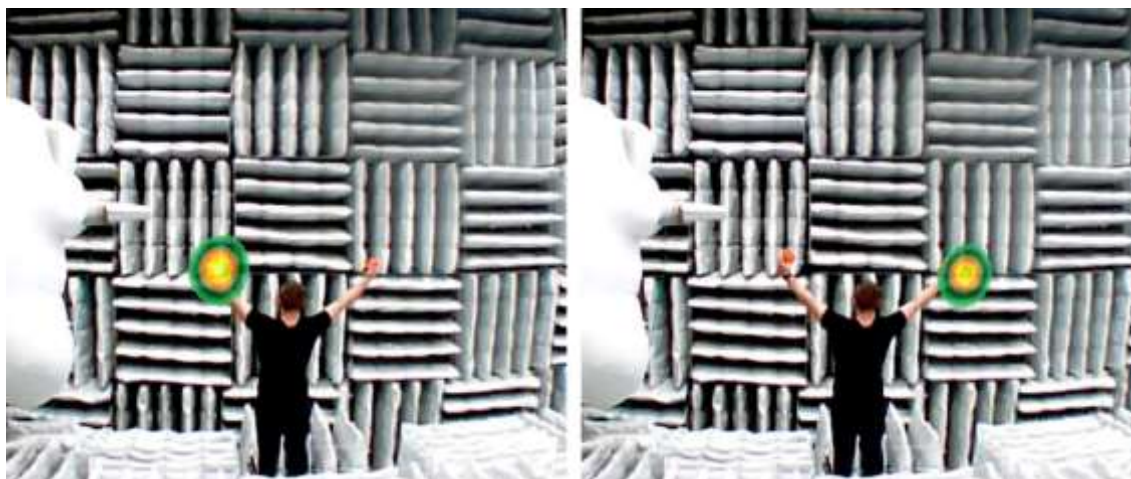


Рис. 3 – Обработка экспериментальных данных алгоритмом Cross-spectral Beamforming на частотах 2408 (слева) и 2668 (справа). Максимальные уровни звукового давления 49,27 дБ и 52,13 дБ соответственно

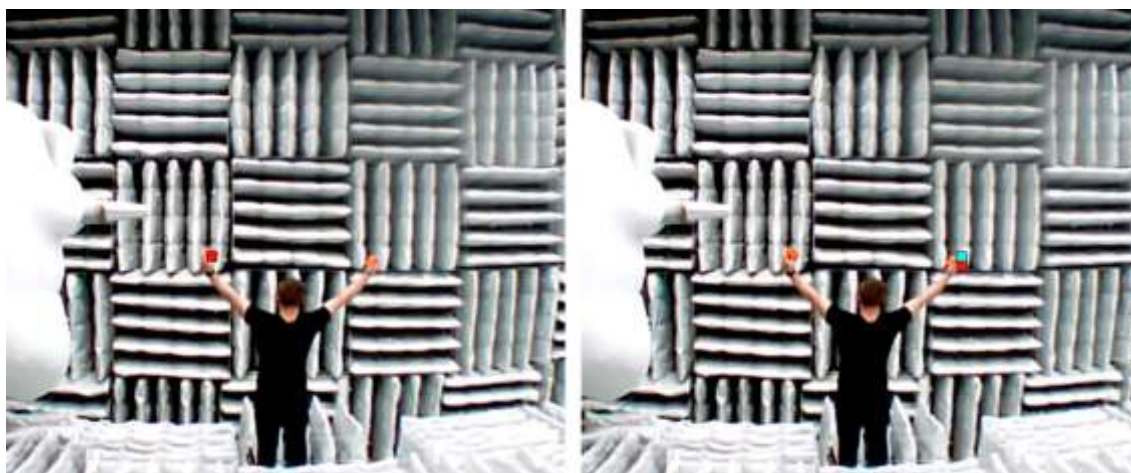


Рис. 4 – Обработка экспериментальных данных алгоритмом DAMAS на частотах 2408 (слева) и 2668 (справа). Максимальные уровни звукового давления 47,28 дБ и 49,42 дБ соответственно

Наибольшее соответствие с результатами локализации, полученными фирменным программным обеспечением Bruel&Kjaer, показывает метод Cross-spectral Beamforming. Как показали ранние исследования, в карте локализации классического алгоритма Delay-and-Sum при увеличении динамического диапазона ярко выражено присутствие боковых лепестков, обусловленных влиянием собственных шумов, создаваемых отдельными микрофонами.

Локализация источников звука алгоритмом DAMAS в данном исследовании эффективна, однако существует различие в определяемых уровнях звукового давления. Решением этой проблемы, возможно, является использование алгоритма DAMAS-C (с увеличением предела пространственного разрешения метода Cross-spectral Beamforming) и более тщательный подбор числа элементов дискретной сетки, которая имеет значительное влияние на эффективность работы данного метода.

Исследования проведены при финансовой поддержке гранта фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «УМНИК» по договору №8966ГУ/2015 от 22.12.2015.

Исследования выполнены на уникальной научной установке «Акустическая заглушенная камера с аэродинамическими источниками шума» (регистрационный номер 500617).

Список литературы

1. Christensen J.J., Hald J. Beamforming. Technical review // Brüel&Kjær Sound&Vibration Measurement A/S. – 2004. – №1.
2. Brooks T.F., Humphreys W.M. A deconvolution approach for the mapping of acoustic sources (DAMAS) determined from phased microphone arrays // Journal of Sound and Vibration. – 2006.
3. Palchikovskiy V.V., Bersenev Y.V., Makashov S.Y., Belyaev I.V., Korin I.A., Sorokin E.V., Khramtsov I.V., Kustov O.Y. Tests of anechoic chamber for aeroacoustics investigations // В сборнике: AIP Conference Proceedings 18. Сер. «International Conference on the Methods of Aerophysical Research, ICMAR 2016: Proceedings of the 18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research». – 2016. – No. 030116.
4. Копьев В.Ф., Пальчиковский В.В., Беляев И.В., Берсенеv Ю.В., Макашов С.Ю., Храпцов И.В., Корин И.А., Сорокин Е.В., Кустов О.Ю. Создание заглушенной установки для аэроакустических экспериментов и исследование ее акустических характеристик // Акустический журнал. – 2017. – Т. 63, № 1. – С. 114-126.
5. Берсенеv Ю.В., Вискова Т.А., Беляев И.В., Пальчиковский В.В., Кустов О.Ю., Ершов В.В., Бурдаков Р.В. Применение метода плоского бимформинга к идентификации вращающихся звуковых мод // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – № 1. С. 26-38.
6. V.V. Palchikovskiy, I.V. Khramtsov, V.V. Ershov, D.A. Gornova, A.A. Selivanova. Aeroacoustic investigations of subsonic jet in PNRPU anechoic chamber // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 208. DOI 10.1088/1757-899X/208/1/012032.

05.02.02

А.В. Жданов к.т.н., О.В. Федотов к.т.н., В.В. Морозов д.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ФАКТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ РЕЗЬБЫ РВМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-109-112

В работе осуществлено исследование фактического профиля резьбы роликовинтовых механизмов, имеющих погрешности изготовления. Проведен анализ исходных погрешностей резьбовых элементов, получены результаты искажения профиля РВМ и фактического радиуса кривизны при резьбошлифовании дисковым инструментом, выполнены расчеты для механизмов различного класса точности и с различной геометрией профиля. Полученные результаты используются для расчетов точности, прочности и жесткости механизмов.

Ключевые слова: роликовинтовой механизм (РВМ), фактическая геометрия, радиус кривизны, погрешности изготовления.

Винтовую поверхность резьбы РВМ (рис.1, а) для прямолинейных участков винта и гайки (рис.1, б) можно определить [1] :

$$\begin{cases} [\omega_\beta]_h = [L_\beta + r_2 \operatorname{tg} \beta + \Delta r \operatorname{tg} \beta + PE]_h, \\ [\omega_\gamma]_h = [L_\beta + r_2 \operatorname{tg} \beta - \Delta r \operatorname{tg} \beta - a + PE]_h, \end{cases}$$

где a - ширина впадины по линии среднего радиуса резьбы (рис. 1), $a = p_x / 2$; p_x - шаг резьбы, мм, $\omega_\beta, \omega_\gamma$ - координаты текущих точек β и γ - образующих профиля винтовой поверхности; Δr - переменная, пределы изменения которой $(r_1 - r_2) \leq \Delta r \leq (r - r_2)$, h - номер исследуемого витка; β и γ - угол наклона образующей; PE - слагаемое, учитывающее многозаходность резьбы.

В случае круговинтового участка [2, 5] роликов (рис.2, б) уравнение текущих точек можно представить:

$$\begin{cases} [\omega_\beta]_h = [L_\beta + r_2 \operatorname{tg} \beta + PE \pm \rho_n (\cos \beta - \cos \beta')]_h, \\ [\omega_\gamma]_h = [L_\beta + r_2 \operatorname{tg} \beta + PE \pm \rho_n (\cos \gamma - \cos \gamma')]_h, \end{cases}$$

где ρ_n - радиус кривизны круговинтового профиля, верхний знак относится к вогнутому профилю (с положительной кривизной), нижний знак - для вогнутого профиля (с отрицательной кривизной).



a)



б)

Рис. 1 – Роликовинтовой механизм в сборе (а) и его составляющие элементы (б)

Основными геометрическими параметрами резьбы РВМ являются [3, 5]: шаг резьбы, число заходов, углы наклона образующих профиля, радиусы кривизны (для круговинтового профиля), а также наружный, средний и внутренний диаметры. Погрешности этих параметров определяют действительный характер сопряжения, фактическую геометрию передачи, функцию зазора, распределение усилий в контакте, а также такие показатели, как точность перемещения, жесткость, долговечность и т.д. Проведен анализ влияния погрешностей изготовления и износа на геометрические параметры сопрягающихся поверхностей, одна из которых имеет линейный профиль, а другая — круговинтовой. Такая геометрия передачи обеспечивает точечный контакт в сопряжении. Полученные значения фактической кривизны профилей контактирующих поверхностей, зависящие от погрешностей изготовления, можно представить в следующем виде (рис.2):

$$\rho'_{n\beta(\gamma)} = \sqrt{\rho_{n\beta(\gamma)}^2 + [\Delta\omega_{\beta(\gamma)}]^2 - 2\rho_{n\beta(\gamma)} [\Delta\omega_{\beta(\gamma)}] \cos\beta}, \quad \rho'_{x_i} = \rho_{x_i},$$

где $\rho_{n\beta(\gamma)}$ - радиус кривизны рассматриваемого элемента в осевом сечении без погрешности; ρ'_x - радиус кривизны в торцовом сечении; $[\Delta\omega_{\beta(\gamma)}] = \omega'_{\beta(\gamma)} - \omega_{\beta(\gamma)}$ - погрешность осевого положения рассматриваемого элемента; $\omega'_{\beta(\gamma)}$ - уравнение текущих точек β - или γ -образующих с учетом погрешностей изготовления; $\omega_{\beta(\gamma)}$ - уравнение текущих точек $\beta(\gamma)$ -образующих идеальной поверхности; $\Delta\omega_{\beta(\gamma)}$ - погрешность осевого положения $\beta(\gamma)$ -образующей.

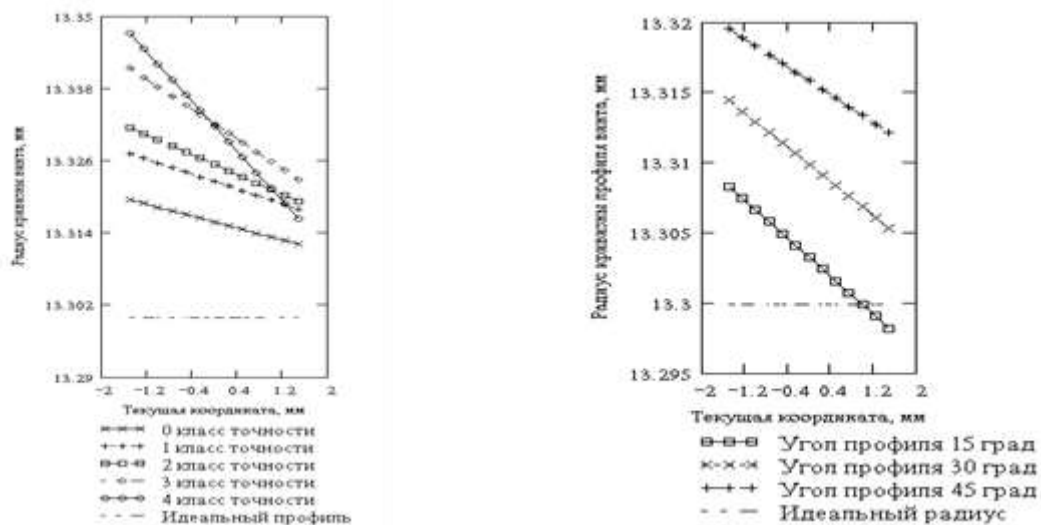


Рис. 2 – Зависимость радиуса кривизны винта от класса точности изготовления и угла профиля резьбы

Значения фактической кривизны профилей контактирующих поверхностей, зависящие от износа, можно представить в аналогичном виде. В этом случае $\Delta\omega_{\beta(\gamma)} = \Delta\omega(t)$ - функция изменения осевого положения образующей в результате износа, зависящая от времени: $\Delta\omega(t) = h(t)\cos\beta'(t)$, где $\beta'(t) = \arcsin[\sin\beta(1 + h(t)/\rho_n)]$ - фактический угол контакта в момент времени t ; $h(t)$ - линейный износ рассматриваемой поверхности.

В процессе шлифования дисковым инструментом прогнозируемый профиль в осевом сечении искажается, как и у архимедовых червяков. При обработке выпуклым тороидальным кругом, максимальное отклонение от прямолинейности витка (для $h_{\max} = p_x/\pi$):

$$f_{f_1}^T = \left(\frac{p_x}{\pi}\right)^4 \left(\frac{z \cos \alpha}{d_{cp}}\right)^2 \frac{1}{d_{cp}(m-2)\sin \alpha},$$

где z - число заходов винта; α - угол осевого профиля; d_{cp} - средний диаметр винта; $n = \pi d_{cp} / p_x$ - параметр винта; p_x - шаг резьбы.

При шлифовании резьбы коническим кругом (что встречается наиболее часто при изготовлении РВМ) профиль витка получается выпуклым для наружной резьбы и вогнутым для внутренней, его максимальное отклонение от прямолинейности составляет:

$$\Delta f = f_{f_1}^k = \left(\frac{p_x z \cos \alpha}{\pi}\right)^2 \left(\frac{1 \pm D_0 + D_0^2}{d_{cp}(n^2 - 4)\sin \alpha}\right)^2$$

где $D_0 = D_{1f} / D_{кр_a}$; верхний знак в формуле относится к наружной резьбе, нижний - к внутренней; D_{1f} - наименьший диаметр активного участка профиля витка винта; $D_{кр_a}$ - наружный диаметр шлифовального круга, угла профиля и числа заходов для внешней и внутренней нарезки.

Для того, чтобы границы активного участка профиля витка винта находились на прямой, параллельной исходному контуру, необходимо скорректировать наладку станка, выполнив условие:

$$\alpha_{кр} = \arctg[\tg(\alpha + \Delta\alpha)\cos\beta],$$

где $\Delta\alpha$ - угол, компенсирующий неравнобочность профиля:

$$\Delta\alpha = \left(\frac{z \cos \alpha}{n}\right)^2 \frac{\ctg \alpha}{n^2 - 4},$$

β - угол разворота шлифовальной бабки ($\beta = \alpha$), α - угол подъема витка.

На рис.3 представлены графики зависимости Δf погрешности формы образующей от шага резьбы p_x , диаметра шлифовального круга D_0 , угла профиля α_x , числа заходов и диаметра нарезаемого элемента (для внутренней и наружной резьбы).

Погрешность уменьшается с уменьшением диаметра заготовки и с увеличением диаметра круга, однако величина Δf заметна лишь для крупных резьб (при $p_x \geq 5 \text{ мм}$), что в рассматриваемых передачах встречается довольно редко [4, 5].

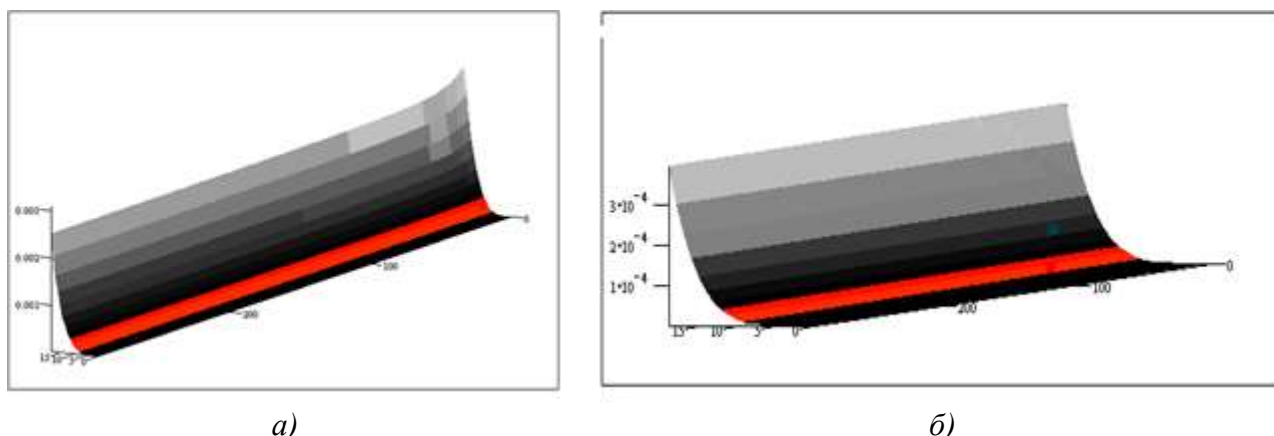


Рис. 3 – Зависимость погрешности формы образующей винта (а) и гайки (б) РВМ от геометрии резьбы и технологических факторов

Количественная оценка фактической и идеальной геометрии поверхностей РВМ показала, что разница между идеальным (без учета погрешностей) и фактическим (с учетом погрешностей) радиусом кривизны в осевом сечении может достигать 20 %.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-08-07464-А, 16-48-330038 р_а

Список литературы

1. Морозов, В.В. РВМ. Кинематические характеристики. Владимир: ВлГУ, 2005. 77 с. ISBN 5-89368-634-9
2. Морозов, В.В., Жданов А.В. РВМ. Надежность и долговечность. монография: [Текст]. Москва, Издательство «Перо», 2015. – 152 с. ISBN 978-5-906835-89-5
3. Жданов, А.В. Теоретические исследование распределения нагрузки по виткам резьбы РВМ [Текст]/ А.В. Жданов, А.В. Степенькин, А.З. Шаламберидзе// НТВП. №2, 2011г. – Казань. С.87-90. ISSN 2079-5920.
4. Толков А.В., Шинаков И.В., Жданов А.В. Сравнение технических характеристик силовых винтовых механизмов // Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – №2. – С. 196-199. – ISSN 2079-5920.
5. Морозов В.В., Жданов А.В., Костерин А.В. Синтез роликовинтовых механизмов по заданным критериям / Вестник машиностроения, 2016. – №6. – С. 3-7. – ISSN 0042-4633.

05.02.22

С.Б. Жилина

Публичное акционерное общество Арзамасское научно-производственное предприятие
«ТЕМП-АВИА»,
Арзамас, zhilina@temp-avia.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДОКУМЕНТОПОТОКОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-113-115

В статье представлен анализ результатов исследования структуры и характеристик входных потоков документов мелкосерийного производства приборостроительного предприятия при непрерывно поступающих изменениях в конструкторской и технологической документациях. Приведенные результаты использованы при построении системы управления производством.

Ключевые слова: цифровое предприятие, особенности мелкосерийного производства, производственные документопотоки.

Системы управления производством относятся к сложным системам, имеют иерархическую, многоуровневую структуру: уровень предприятия, цеха, производственного участка, оборудования и т.д. В итоге, модель управления производством, включая планирование и диспетчеризацию изготовления изделий, в значительной мере обуславливается широким спектром особенностей внутренней организации производства каждого предприятия. В рамках поэтапного построения «Цифрового предприятия», как единой системы, возникает задача описания взаимосвязей производственно-транспортных, технологических и др. процессов, а также дальнейшего инжиниринга текущих бизнес-процессов с учетом имеющихся особенностей.

Проведенные исследования процесса подготовки производства приборостроительного предприятия, структурного взаимодействия подразделений и документооборота, позволили сделать вывод, что помимо конструкторской документации (КД) и технологических процессов (ТП) на изготовление изделий в работе производственных подразделений и служб снабжения присутствует многочисленная информация, связанная с обеспечением как подготовки производства, так и самим изготовлением изделий. Во время разработки технологи часто меняют конструкторский состав под ТП изготовления узлов и деталей, доля изменений достигает 10–20%. Поскольку планирование производства опирается на маршруты изготовления, то в этом случае, возникают нестыковки с обеспечением материалами и изготовлением узлов и деталей. Изменения в КД могут быть вызваны улучшением характеристик изделия, заменами импортных комплектующих российскими аналогами и др.

КД и ТП являются первичными для производства и их перенос в производственную систему можно осуществить разными способами, в т.ч., следующими:

- «ночными» переносами из системы PDM;
- автоматизированным переносом из системы PDM «по требованию»;
- ручным вводом специально обученным персоналом и др.

При исследовании процессов подготовки производства приборов выявлены общие принципы сбора информации внутри процессов механического и сборочного производств, при различиях между ними следующего характера:

- разные размеры партий запуска, обусловленные длительностями изготовления, перенастройками станков, внутренними отличиями некоторых изделий только составом комплектующих при одинаковых механических деталях и др.;
- особенности снабжения материалами и комплектующими;
- различные формы оплаты труда основных производственных рабочих и др.

Проводимые изменения в документациях можно группировать по механическому и сборочному направлению по следующим признакам:

- изменения ведомости покупных комплектующих изделий (ПКИ) без изменения конструктива изделия;
- изменения ПКИ с изменением конструктива изделий;
- изменение конструктива изделия без изменения ПКИ и ТП;
- изменение конструктива изделия без изменения состава ПКИ, но с изменением ТП или изменение только ТП и др.

В связи с этим, далее организационные и информационные процессы обеспечения подготовки производства рассматриваются автором в разрезе двух параллельно идущих потоков: обеспечение механического и сборочного производств. Проведена статистическая обработка характеристик входных потоков документов об изменениях (частично представленная на рисунках 1-4) по каждому из процессов, а также исследован их объединенный поток за год, месяц, декаду.



Рис. 1 - Входного потока изменений сборочного производства по месяцам

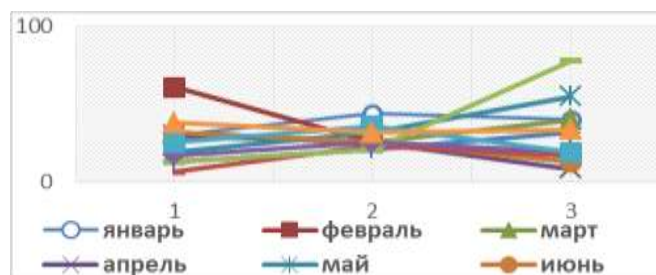


Рис. 2 - Входной поток изменений сборочного производства в разрезе декад



Рис. 3 - Долевое распределение по месяцам объединенного входного потока изменений

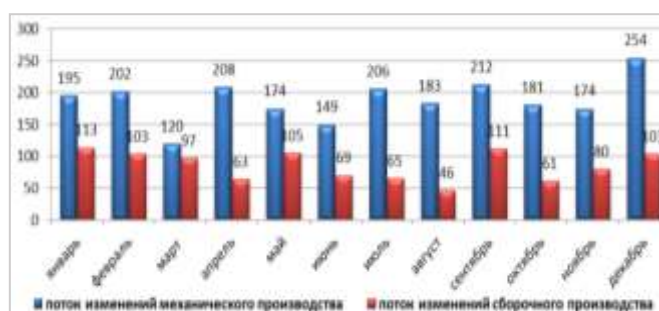


Рис. 4 - Распределение двух видов изменений по месяцам

На основе статистических исследований выдвинуто предположение, что в сети массового обслуживания, моделирующей организацию производственного процесса, поток изменений является случайным пуассоновским потоком. Подтверждение характерного свойства стационарности получено автором с помощью двухступенчатой проверки, с применением сначала наиболее простого критерия серий, основанного на медиане выборке, затем уточнив полученные результаты с помощью критерия Аббе на основе квадратов последовательных разностей [1].

В критерии серий для проверки гипотезы рассматривается одновременно пара критических статистик ($v(n)$; $\chi(n)$):

$$v(n) > \left[\frac{1}{2} (n + 2 - 1,96\sqrt{n-1}) \right]; \quad (1)$$

$$\chi(n) < [3,3 \lg(n+1)], \quad (2)$$

если хотя бы одно из неравенств окажется нарушенным, то гипотеза отвергается с вероятностью статистического показателя ошибки p такого, что $0,05 < p < 0,0975$.

При $n=12$ $\left[\frac{1}{2} (n + 2 - 1,96\sqrt{n-1}) \right] = 3,75$; $[3,3 \lg_{10}(n+1)] = 3,67$.

Ряд значений годового количества документов с изменениями по месяцам характеризуется следующей статистикой серий: $v(n) = 7$; $\chi(n) = 3$.

Проверка выполнения условий критериев (1) и (2): $7 > 3,75$; $3 < 3,67$ подтверждает гипотезу о стационарности распределения величины числа помесечного потока изменений в течение года. Для проверки полученного результата с помощью критерия Аббе подсчитываются величины:

$$q^2(n) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2; \quad s^2(n) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - M)^2;$$

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad \gamma(n) = \frac{q^2(n)}{s^2(n)}.$$

Критерий Аббе дает положительный результат о стационарности распределения испытываемой совокупности при $\gamma(n) > \gamma_p^{min}(n)$. Результаты расчетов: $q^2(n) = 1076$; $s^2(n) = 1223$; $\gamma(n) = 0,880$ при $\gamma_p^{min}(12) = 0,5638$, что подтверждает гипотезу. Аналогичные результаты получены при проведении расчетов за месяц и декаду. Вышесказанное позволяет сделать вывод о стационарности плотности потока документов по изменениям в течение года, месяца и подекадно.

Для доказательства отсутствия последствия снова обратимся к рассмотрению большого промежутка времени работы исследуемого процесса. На большом промежутке времени любые зависимости между поступлением изменений документов различных видов сглаживаются, кроме того, сглаживание неоднородности усиливается с увеличением временного промежутка, что позволяет сделать вывод о его адекватности.

При проверке третьего свойства - ординарности, предполагается, что документы об изменениях поступают по одному, при этом вероятность поступления в один момент времени более одного документа пренебрежимо мала.

Для входящего потока изменений доказаны все пуассоновские свойства, которые стали ограничениями применения метода интеграции сквозных бизнес-процессов формирования и согласования электронных документов [2,3]. На предложенном авторе методе обмена данными с активной обратной связью, получившей название «Информационная петля», объединена в два потока информация для подготовки сборочного и механического производств с помощью специально разработанных электронных производственных документов:

- электронная комплектовочная ведомость;
- электронная материально-расцеховочная ведомость.

Автором показано, что в итоге, совершенствование бизнес-процессов информационного обеспечения подготовки производства приборостроительного предприятия с непрерывно поступающими изменениями сводится к разработке алгоритма управления жизненным циклом этих двух документов в системе электронного документооборота.

Таким образом, на основе проведенных статистических исследований внутренней организации процессов подготовки мелкосерийного производства изделий приборостроительного предприятия выявлены два параллельных информационных и документных потока: сборочного производства и механического, включающих в себя непрерывно поступающие изменения в конструкторской и технологической документациях. Доказано, что входные потоки документов обладают пуассоновскими свойствами, что становится ограничением при построении информационной системы управления мелкосерийным производством.

Список литературы

1. Силантьева, Е.Ю. Исследование и разработка методов и алгоритмов автоматизации документопотоков в корпоративных системах: дис. канд. техн. наук. / Е.Ю. Силантьева. - М.: РГБ, 2003. - 134 с.
2. Жилина, С.Б. Автоматизация жизненного цикла документа «Комплектовочная ведомость». Часть 1 / С.Б. Жилина, Н.В. Капитанов // САПР и графика. - М.: Изд. «КомпьютерПресс», 2014. - № 12. - С. 72-75.
3. Жилина, С.Б. Специализированные алгоритмы конструкторской и технологической подготовки производства и информационного обеспечения процесса изготовления изделий / С.Б. Жилина, Н.В. Капитанов, О.В. Осоченко, И.А. Кочедыкова, А.Н. Важаева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2016. - т. 18, № 4(3), - С.638-645.

05.02.00

Р.Г. Куликов, Т.Г. Куликова, О.Ю. Сметанников

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ
КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ ПОЛИМЕРНОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ БОЛЬШИХ
ДЕФОРМАЦИЙ****DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-116-119**

В работе выполнена общая постановка эволюционной краевой задачи нелинейной механики полимерных материалов в условиях протекания фазовых переходов и рассмотрена реализация численного алгоритма ее решения. Исследованы закономерности формирования дефекта типа раковины в кристаллизующемся полимерном цилиндре.

Ключевые слова: *большие деформации, кристаллизация, полимер, численный подход.*

Процесс производства значительной части полимерных изделий и конструкций содержит этап охлаждения материала, сопровождающийся его кристаллизацией. Поэтому актуальной задачей является описание термомеханических процессов в полимерных материалах в условиях фазового перехода и построение удобного в реализации численного алгоритма решения краевой задачи термомеханики кристаллизующейся полимерной среды. Построению определяющих соотношений для полимерных сред посвящено достаточно большое количество публикаций. В работе [1], в рамках предположения об упругом поведении материала и малости деформаций, разработана система определяющих уравнений, описывающих термомеханическое поведение аморфно-кристаллических полимеров. В работах [2,3] моделирование термомеханического поведения полимера проведено с учетом больших деформаций. Модель поведения полимера, предложенная в работе [3] основана на упруго-вязкопластическом подходе.

В предположении, что технологические напряжения не влияют на температуру и протекание процесса кристаллизации, возможно разделение задачи на две самостоятельные задачи:

- 1) теплокинетическая задача – задача по определению полей распределения температуры и степени кристаллизации;
- 2) краевая задача по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) затвердевающей системы.

Прогнозирование температурного и конверсионного полей в ходе процесса может быть осуществлено в рамках теплокинетической модели, согласно которой постановка задачи включает:

- нестационарное уравнение теплопроводности с переменными коэффициентами

$$c(T)\rho(T)\frac{\partial T(\mathbf{x},t)}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda(T)\operatorname{grad}(T(\mathbf{x},t))) + \rho(T)\dot{Q}, \quad \mathbf{x} \in V; \quad (1)$$

- уравнение кинетики неизотермической кристаллизации

$$\frac{d\alpha(\mathbf{x},t)}{dt} = K_1 \exp\left(-\frac{U_1}{RT(\mathbf{x},t)} - \frac{\Psi}{T_p - T(\mathbf{x},t)}\right) (1 + A_0\alpha(\mathbf{x},t)) (\alpha_p(T) - \alpha(\mathbf{x},t)), \quad \mathbf{x} \in V, \quad (2)$$

- начальные условия

$$\alpha(\mathbf{x},0) = 0, \quad T(\mathbf{x},0) = T_0, \quad \mathbf{x} \in V; \quad (3)$$

- граничные условия по температуре и степени кристаллизации,

где c – удельная теплоемкость, ρ – плотность материала, λ – коэффициент теплопроводности, T – температура, t – время, $\mathbf{x}$ – радиус-вектор произвольной точки тела,

$\dot{Q} = Q_k d\alpha/dt$ - скорость выделения тепла в ходе протекания реакции кристаллизации, Q_k - тепловой эффект реакции кристаллизации, α - степень кристаллизации материала, которая в ходе процесса принимает значения в пределах от нуля до некоторого предельного значения, зависящего от температуры и представляющего собой равновесную степень кристаллизации α_p , R - универсальная газовая постоянная, T_p - температура плавления, K_1, U_1, ψ, A_0 - макрокинетические константы, определяемые экспериментально, V - область затвердевающего полимера.

Вариационная постановка краевой квазистатической задачи термомеханики кристаллизующейся среды может быть получена с использованием метода Галеркина и в случае отсутствия внешних силовых воздействий принимает вид:

$$\int_{V_0} \hat{\mathbf{P}}_{II} \cdot \delta \hat{\mathbf{C}} dV_0 = 0, \quad (4)$$

где $\hat{\mathbf{P}}_{II}$ - тензор напряжений Пиолы-Кирхгофа второго рода, $\hat{\mathbf{C}}$ - тензор деформаций Коши-Грина, V_0 - начальный объем тела.

К достоинствам рассматриваемой постановки стоит отнести то, что она сформулирована в исходной конфигурации, что существенно упрощает построение численного алгоритма расчета. При этом полагается нелинейность геометрических соотношений, обусловленная необходимостью учета больших деформаций. Сложность получения решения задачи в форме (4) обусловлена как нелинейностью постановки, так и проблемами, связанными с необходимостью учета возникающих температурных и структурных деформаций.

Для постановки краевой задачи относительно НДС затвердевающей системы необходимы физические соотношения, которые, в силу специфики задачи, непрерывным образом отражают связь тензоров напряжений и деформаций в широком диапазоне изменения температур. Используя в качестве упругого потенциала двухконстантный потенциал Пенга-Ландела [4], выражение связи тензора Пиолы-Кирхгофа второго рода $\hat{\mathbf{P}}_{II}$ с тензором меры деформаций Коши-Грина записывается следующим образом [5]:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{P}}_{II}(t) = & \left\{ \mu^a \left[\left(I_3(\hat{\mathbf{G}}_t^\times) \right)^{-1/3} \cdot \left(\hat{\mathbf{g}} - \frac{I_1(\hat{\mathbf{G}}_t^\times)}{3} \hat{\mathbf{G}}_t^{\times-1} \right) \right] + B^a I_3(\hat{\mathbf{G}}_t^\times) \left(\hat{\mathbf{g}} - \left(I_3(\hat{\mathbf{G}}_t^\times) \right)^{-1/2} \hat{\mathbf{G}}_t^{\times-1} \right) \right\} (1 - \alpha(t)) + \\ & + \int_0^{\alpha(t)} \left\{ \mu^{kp} \left[\left(I_3(\hat{\mathbf{G}}_{\tau t}^\times) \right)^{-1/3} \cdot \left(\hat{\mathbf{g}} - \frac{I_1(\hat{\mathbf{G}}_{\tau t}^\times)}{3} \hat{\mathbf{G}}_{\tau t}^{\times-1} \right) \right] + B^{kp} I_3(\hat{\mathbf{G}}_{\tau t}^\times) \left(\hat{\mathbf{g}} - \left(I_3(\hat{\mathbf{G}}_{\tau t}^\times) \right)^{-1/2} \hat{\mathbf{G}}_{\tau t}^{\times-1} \right) \right\} d\alpha(\tau), \quad (5) \end{aligned}$$

где $\hat{\mathbf{G}}_t^\times$ - тензор меры деформаций Коши-Грина, соответствующий деформированию от начального до текущего момента времени, $\hat{\mathbf{G}}_{\tau t}^\times$ - тензор меры деформаций Коши-Грина, соответствующий деформированию от момента времени τ до текущего момента времени, $\mu^a, B^a, \mu^{kp}, B^{kp}$ - механические характеристики аморфной и закристаллизовавшейся части материала соответственно, I_1, I_3 - первый и третий главные инварианты тензора второго ранга, $\hat{\mathbf{g}}$ - метрический тензор, α - степень кристаллизации материала.

Рассматриваемый в данной работе алгоритм предполагает линеаризацию постановки (4), что позволяет свести процедуру получения решения исходной нелинейной задачи к решению последовательности линейных упругих краевых задач в рамках теории малых деформаций. Линеаризация геометрических соотношений может быть выполнена путем разложения исходного движения тела на совокупность малых движений, вызываемых малыми приращениями внешних воздействий. Таким образом, перемещения тела в произвольный

момент времени представимы в виде суммы накопленных и малых перемещений, описывающих переход из промежуточной конфигурации в конечную. Процедура линеаризации физических соотношений состоит в разложении соотношения (5) в ряд Тейлора с учетом только линейных слагаемых. Линеаризованные физические соотношения могут быть записаны следующим образом

$$\hat{\mathbf{P}}_{II}(t) = (\hat{\mathbf{P}}_{II})^0 + {}^4\hat{\mathbf{D}}^a(\hat{\mathbf{C}}^0) \cdot (\hat{\mathbf{F}}_0^T \cdot (\hat{\mathbf{e}} - \hat{\mathbf{e}}_\theta) \cdot \hat{\mathbf{F}}_0)(1 - \alpha(t)) + \int_0^{\alpha(t)} {}^4\hat{\mathbf{D}}^{kp}(\hat{\mathbf{C}}^{\tau 0}) \cdot (\hat{\mathbf{F}}_0^T \cdot (\hat{\mathbf{e}} - \hat{\mathbf{e}}_\theta) \cdot \hat{\mathbf{F}}_0) d\alpha(\tau),$$

где $\hat{\mathbf{e}}$ – тензор малых деформаций, связывающий промежуточную и текущую конфигурации, $\hat{\mathbf{e}}_\theta$ – тензор суммы малых температурных и структурных деформаций, возникающих при переходе из промежуточной конфигурации в конечную, $\hat{\mathbf{F}}_0$ – тензор-градиент места, описывающий переход из начальной конфигурации в промежуточную, тензор $\hat{\mathbf{C}}^{\tau 0}$ описывает переход из конфигурации, соответствующей моменту времени τ , в промежуточную, ${}^4\hat{\mathbf{D}}^a$, ${}^4\hat{\mathbf{D}}^{kp}$ – тензоры четвертого ранга «касательных жесткостей» аморфной и кристаллической фаз, компоненты которых зависят от $\hat{\mathbf{C}}^0$ и $\hat{\mathbf{C}}^{\tau 0}$.

С учетом выполненных процедур линеаризации вариационная постановка задачи может быть преобразована к виду:

$$\int_{V_0} \left[(\hat{\mathbf{P}}_{II})^0 + {}^4\hat{\mathbf{D}}^a(\hat{\mathbf{C}}^0) \cdot (\hat{\mathbf{F}}_0^T \cdot (\hat{\mathbf{e}} - \hat{\mathbf{e}}_\theta) \cdot \hat{\mathbf{F}}_0)(1 - \alpha(t)) + \int_0^{\alpha(t)} {}^4\hat{\mathbf{D}}^{kp}(\hat{\mathbf{C}}^{\tau 0}) \cdot (\hat{\mathbf{F}}_0^T \cdot (\hat{\mathbf{e}} - \hat{\mathbf{e}}_\theta) \cdot \hat{\mathbf{F}}_0) d\alpha(\tau) \right] \cdot \delta \hat{\mathbf{C}}^* dV_0 = 0$$

Таким образом, определение эволюции поля перемещений с течением времени сводится к решению последовательности линеаризованных задач относительно приращения вектора перемещений на временных шагах.

В настоящей работе рассматривается задача о протекании процесса кристаллизации и формировании дефекта типа раковины в полимерном цилиндре. Изначально материал цилиндра имеет температуру 430 К, что превышает температуру плавления. Цилиндр диаметром 0,2 м. охлаждается по внешнему контуру водой, температура которой составляла 293 К. В процессе охлаждения в материале протекают процессы кристаллизации, сопровождающиеся выделением тепла.

Краевая задача нестационарной теплопроводности решалась методом конечных элементов. Учитывалась зависимость тепломеханических свойств от температуры. Значения теплофизических и механических параметров, зависимость удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности и плотности полиэтилена от температуры взяты из литературных источников [6,7]. Эволюция полей температуры и степени кристаллизации представлена на рисунке 1.

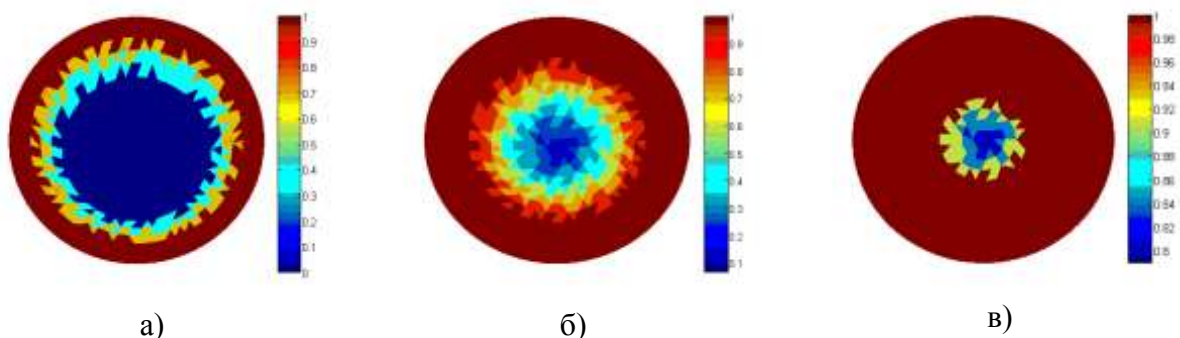


Рис. 1 – Распределение температуры и степени кристаллизации для моментов времени 7800с (а), 22800с (б), 37800с (в).

Для определения НДС в кристаллизующейся среде применен метод конечных элементов. В качестве критерия разрушения использовалось условие достижения главной деформации предельного значения. Для придания поведению рассматриваемого тела большей реалистичности предполагалось, что предельная величина деформации разрушения варьируется по объему. Разрушение моделировалось занижением в окрестности рассматриваемой точки модуля кристаллической фазы. Закономерности эволюции раковины в цилиндре иллюстрируются рисунком 2.

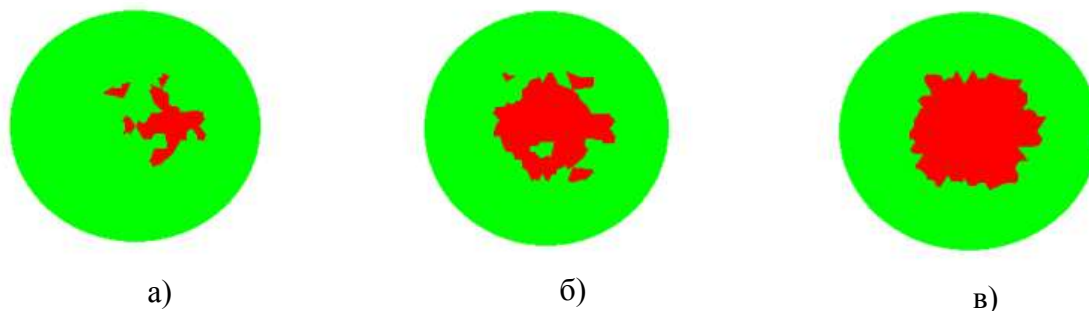


Рис. 2 – Образование раковины для моментов времени:
17550с (б), 18300с (в), 19550с (г).

Таким образом, выполнена формулировка двумерных наследственных краевых задач нелинейной термомеханики кристаллизующихся полимерных материалов в рамках теории конечных деформаций. Предложен и реализован подход, основанный на линейаризации исходной постановки с учетом структурных и температурных деформаций. Получено численное решение модельной задачи о формировании дефекта типа раковины в кристаллизующейся полимерной пластине.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 16-48-590809, 16-01-00474).

Список литературы

1. Golotina L.A., Matveenko V.P., Shardakov I.N. Analysis of deformation process characteristics in amorphous-crystalline polymers // *Mechanics of Solids*, (2012) V.47, P 634-640. doi:10.3103/S0025654412060040
2. Rebecca B. Dupaix, Mary C. Boyce. Constitutive modeling of the finite strain behavior of amorphous polymers in and above the glass transition // *Mechanics of Materials*. – 2007. № 39. – P.39–52.
3. L. Anand, N.M. Ames, V. Srivastava, S. A. Chester A Thermo-Mechanically Coupled Theory for Large Deformations of Amorphous Polymers. Part I: Formulation // *Int. J. Plast.* **25**(8), 1474–1494 (2009).
4. Адамов А.А., Матвеев В.П., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н. Методы прикладной вязкоупругости. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 411с.
5. Куликов Р.Г., Куликова Т.Г. К вопросу определения деформированного состояния кристаллизующейся полимерной среды с учетом больших деформаций // *Вестник ПНИПУ. Механика*. – Пермь, 2012. №1. – С. 62-72.
6. Теплофизические и реологические характеристики полимеров: Справочник / Под ред. Ю.С. Липатова – Киев: Наукова думка, 1977. – 244с.
7. Пивень А.Н., Гречанная Н.А., Чернобыльский Н.И. Теплофизические свойства полимерных материалов. – Киев: Вища школа, 1976. – 180с.

05.02.02

М.Г. Маликов, И.В. Шинаков к.т.н., Е.А. Новикова к.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир

ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-120-123

В работе выполнено экспериментальное исследование виброускорений при прохождении высокоскоростных и обычных составов поездов в условиях реального времени. Получены значения для нескольких вариантов размещения датчиков в вертикальной и горизонтальной плоскостях наиболее ответственных деталей стрелочных переводов. Исследования выполнялись с использованием комплекса LabView и устройства сбора и обработки информации

Ключевые слова: *стрелочный перевод (СП), виброускорения, экспериментальные исследования, высокоскоростное движение.*

При движении подвижного состава на рельсовый путь действует множество различных нагрузок, наиболее разрушительными из которых являются динамические [1, 2]. Вследствие неровности железнодорожного полотна, наличия рельсовых стыков, отклонения от округлости колёсных пар, а также различной степени плотности грунта возникают осевые вертикальные и горизонтальные колебания, являющиеся основной причиной возникновения ударных нагрузок [3]. В свою очередь возникновение таких ударов приводит к разрушению железнодорожного полотна, колёсных пар подвижного состава, а также участков стрелочных переводов (СП). В последние годы на территории РФ возникла потребность обеспечения высокоскоростных пассажирских железнодорожных перевозок, однако при прохождении составов со скоростями движения выше средних, вероятность разрушения железнодорожного полотна резко возрастает [4]. Воздействие динамических нагрузок, возникающих при движении подвижного состава, характер и последствия их возникновения тщательно изучаются, проводятся различные исследования и испытания, целью которых является получение информации в виде замеров и расчётов, необходимой для усовершенствования методик проектирования железнодорожных путей и СП. Подобные испытания проводились на стрелочных переводах станции *Боровенка* отделения Октябрьской железной дороги филиала ОАО «РЖД» Новгородской области при участии ОАО «ВНИИЖТ» и ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.

При проведении данных испытаний была поставлена задача определить величины ускорений, возникающих в сечениях рамных рельсов и остряков, а также других элементах входящих в состав СП, при прохождении скоростных пассажирских экспрессов типа «*Сапсан*», а также обычных пассажирских и грузовых подвижных составов.

Для исследований использовался комплект оборудования National Instruments с программным комплексом LabView в следующем составе: вибропреобразователи (датчики) AP35-12 шт., 4-хслотовое шасси PXI-1031 с контроллером PXI-8106, промышленный монитор (рис. 1). Датчики устанавливались в заранее определённых участках СП на поверхностях рамных рельсов, остряков и приводах, с последующим фиксированием показаний при движении подвижных составов с различной массой и при различных скоростях. Для получения более точных сведений, испытания проводились дважды при различных климатических условиях в широком температурном диапазоне окружающей среды. Датчики, каждому из которых присваивался порядковый номер, устанавливались

последовательно на элементах стрелочного перевода. При прохождении составом участка пути, на котором были установлены датчики, включалась запись данных в файл, после чего они обрабатывались в программной среде и приводились к виду диаграммы изображенной на рис.2.



Рис. 1 - Экспериментальный комплекс для определения ускорений

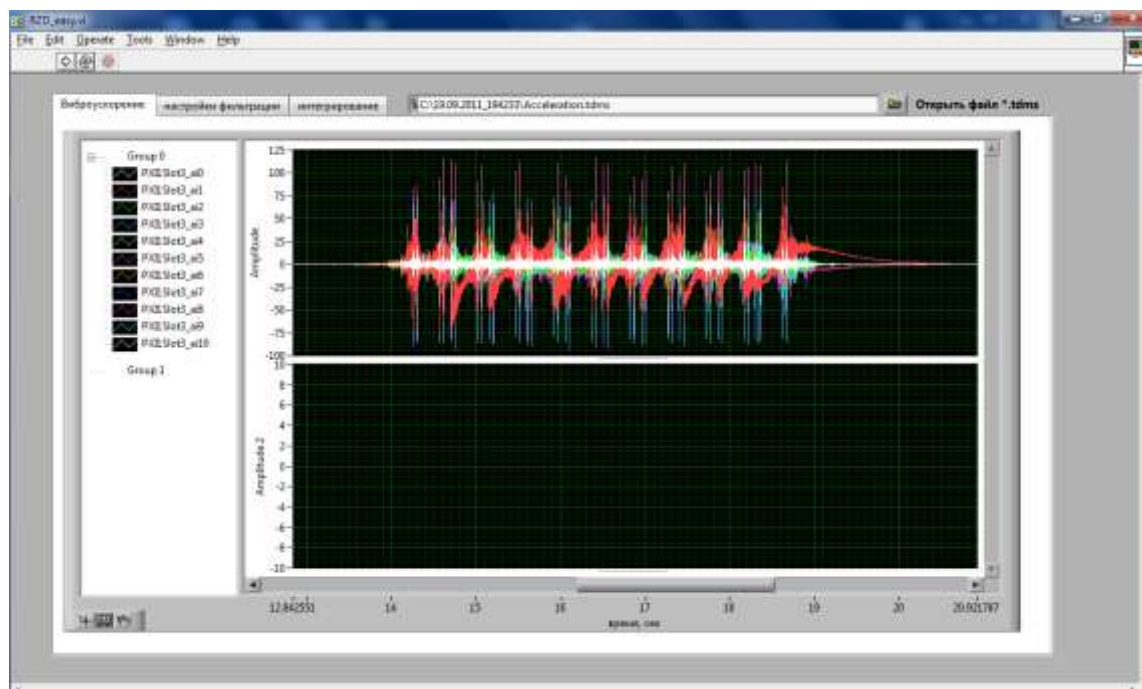


Рис.2 – Диаграмма и интерфейс виртуального прибора

В левой части метками PXI1Slot3_ai0 – PXI1Slot3_ai10 обозначены датчики, индексы ai_0, ai_1, ai_2 ... ai10 – определяют порядковый номер датчика. Для наглядности и удобства анализа полученных в ходе испытаний данных, каждому датчику в программной среде

присваивался свой цвет. Полученные в графическом виде значения ускорений могут отображаться как в общем виде (в диаграмме на рис.1 присутствуют одновременно все датчики), так при необходимости и отдельно для каждого датчика. При помощи вертикальной шкалы «Amplitude» графически определяется значение ускорения того или иного датчика, а при помощи горизонтальной шкалы, расположенной в нижней части диаграммы фиксируется общее время прохождения состава по оборудованному измерительной аппаратурой участку пути.

Для удобства работы, полученные данные заносились в таблицы с указанием номера стрелочного перевода, даты и времени заезда, типа подвижного состава, количества вагонов, номера установочной схемы датчиков и различных других параметров. При каждой смене положения датчиков для эксперимента составлялась общая схема стрелочного перевода с указанием точек расположения и порядковых номеров датчиков, а также вида их расположения – горизонтальное либо вертикальное (рис.3).

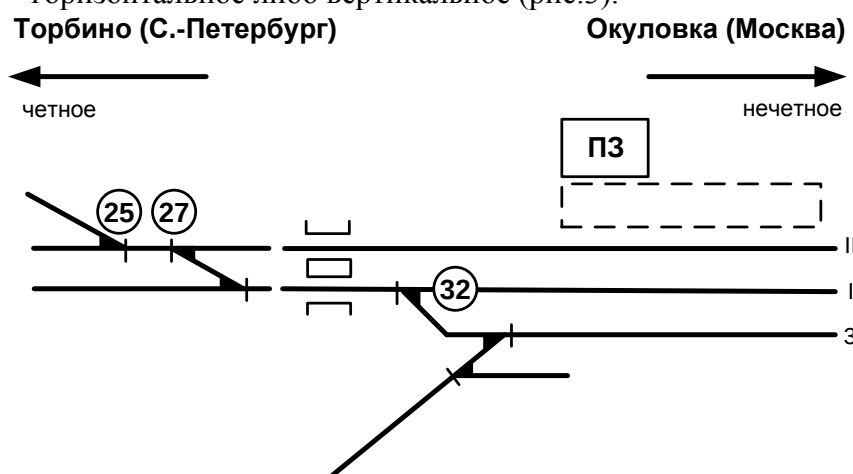
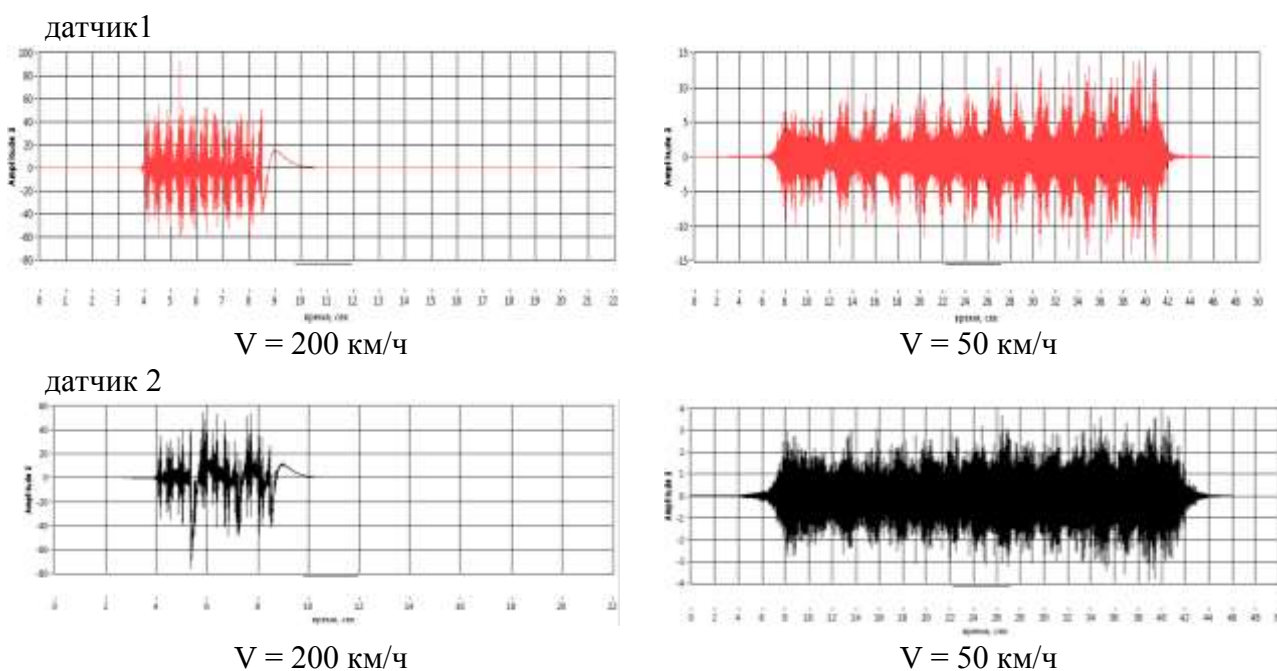


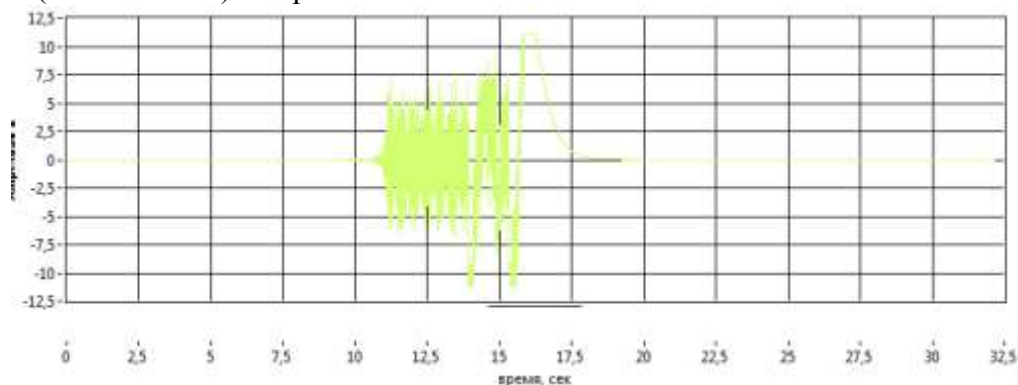
Рис. 3 - Общая схема железнодорожного СП (без указания точек установки датчиков)

Ниже представлены амплитуды виброускорений для испытываемого СП при прохождении скоростного поезда «Сапсан» со скоростью 200 км/ч и обычного пассажирского поезда со скоростью 50 км/ч (датчики установлены горизонтально) рис. 4,а.

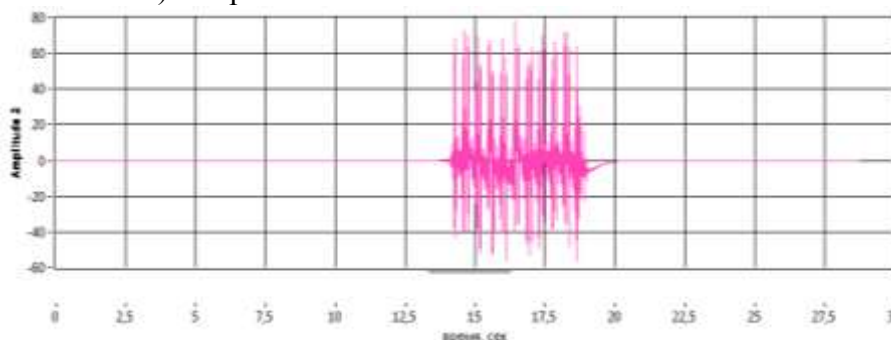


а)

датчик 3 ($V = 200$ км/ч) – горизонтальная плоскость



датчик 4 ($V = 200$ км/ч) – вертикальная плоскость



б)

Рис. 4 - Результаты замеров виброускорений при различных скоростях (а) и плоскостях (б)

Как видно из графиков, амплитуда колебаний увеличивается с 5,5 до 17,1 раза при сокращении времени прохождения в 6,3 раза (с 38 до 6 сек). Сравнение значений в плоскостях показывает значительное превышение вертикальных нагрузок над горизонтальными. Так сравнение амплитуд при одинаковой скорости дает превышение в 5,5...6 раз (рис.4, б)

Полученные данные были использованы для расширения теоретической базы касающейся оказываемого влияния динамических нагрузок на целостность, долговечность и общую работу элементов железнодорожных путей и входящих в их состав СП, а также для усовершенствования существующих методик проектирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-20-03084 офи_м_РЖД

Список литературы

1. Маликов М.Г. и др. Разработка ЭМП СП для высокоскоростных железнодорожных магистралей // Научно-технический Вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический Вестник Поволжья, №5, 2017, стр.60-63
2. Жданов А.В., Маликов М.Г. Моделирование работы стрелочного перевода высокоскоростных железнодорожных магистралей // Научно-технический Вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический Вестник Поволжья, 2012. – № 1. – С. 161-165.
3. Жданов А.В., Маликов М.Г. Математическая модель перспективного ЭМП стрелочного перевода высокоскоростных железнодорожных магистралей // Научно-технический Вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический Вестник Поволжья, 2012. – № 1. – С. 166-169.
4. Глюзберг, Б. Э. и др. Новые виды конструкций железобетонного основания для стрелочных переводов // «Транспорт Урала». Научно-технический журнал. # 4 (51) / 2016 October – December, с.62-66

05.02.22

А.А. Морозенко, Д.В. Красовский

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ),
кафедра строительства объектов тепловой и атомной энергетики,
Москва, morozenkoAA@mgsu.ru, newcharcher@mail.ru

МАТРИЦА ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-124-128

Данная статья предлагает новые методы решения организационной задачи проектирования и строительства крупномасштабных инвестиционно-строительных проектов. Предлагается на этапе формирования организационной структуры и планов реализации инвестиционно-строительного проекта воспользоваться матрицей ключевых событий проекта, но не в виде таблиц смежности сетевого графика или линейных временных графиков, а в виде орграфа, в котором вершины отображают события жизненного цикла проекта, а дуги – логическую связь этих событий без назначения ресурсов.

Вводится понятие оператор перехода от одного события к другому, который определяет текущее состояние проекта. Оператор подробно описывает характер строительных работ, условия их выполнения, конечные результаты работы. Если сопоставление текущего положения проекта с программными показателями обнаруживает несоответствие, то вырабатывается управленческое решение, ликвидирующее это несоответствие, и тем самым обеспечивается устойчивое состояние строительного проекта.

Обозначены пути автоматизации проектирования матрицы проекта на основе принципов визуального программирования.

Ключевые слова: *Инвестиционно-строительный проект, матрица ключевых событий, оператор перехода, ориентированный граф, организационная структура, визуальное программирование, жизненный цикл проекта.*

Последние исследования в области организации производства направлены на повышение качества управленческих решений, которые являются функцией отклонения реального вектора событий от программно заданного массива событий, определяющего взаимосвязь и последовательность проводимых строительных работ. Этот принцип определяется как управление по отклонениям. Для его полной реализации необходима детальная программа комплекса работ, включающая в себя не только собственно строительные работы, но и работы по подготовительному циклу, логистике, порядку финансирования, формированию организационной структуры и т.д. Как правило, эту часть работ представляют в виде графиков. Для формирования сигнала отклонения необходим механизм контроля исполнения работ, который сопоставит реальные физические работы с плановыми показателями. Эту часть подготовки управленческого решения выполняет информационно-аналитический блок организационной структуры проекта, который показан на рисунке 1.

Одной из главных задач является формирование программы строительства объекта, которую мы называем матрицей ключевых событий проекта.

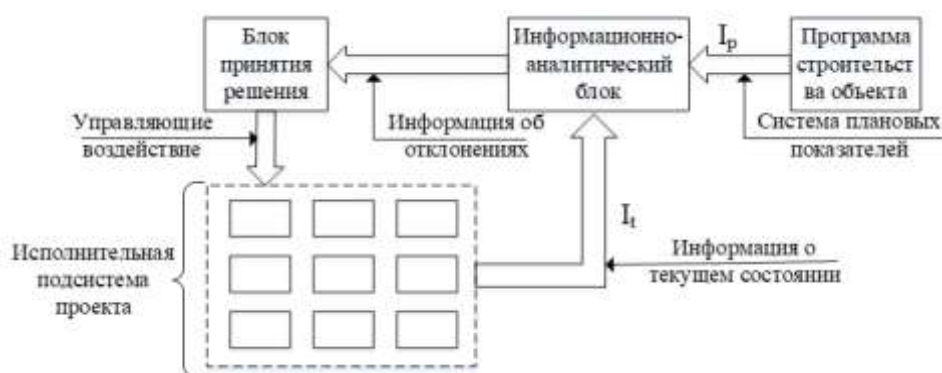


Рис. 1– Управляющая подсистема проекта

В исследованиях на данную тему предлагаются различные программные комплексы для построения сетевых моделей сооружения объектов и определения продолжительности проекта, устанавливаются различные масштабы графиков, которые в свою очередь должны составлять основу организационно-технологической документации на соответствующих уровнях ее детализации [1, 2].

График первого уровня разрабатывается в составе проектной документации в разделе «Проект организации строительства». Проект организации строительства является обязательным документом для застройщика (заказчика), подрядных организаций, а также организаций, осуществляющих финансирование и материально-техническое обеспечение регламентированное Сводом Правил (СП 48.13330.2011 «Организация строительства»). Проект организации строительства служит основой для распределения капитальных вложений и объемов строительно-монтажных работ по этапам и срокам строительства. Так же в СП говорится, что выбор решений должен быть на основе вариантной проработки.

График второго уровня представлен в проекте производства работ (ППР). Разработку ППР так же регламентирует СП 48.13330.2011 «Организация строительства». ППР разрабатывает и утверждает подрядная организация, отвечающая за строительство. ППР должен содержать календарный план на производимые работы. График второго уровня в таком виде учитывает исключительно ограниченный объем технологических работ по проекту, на который разработан ППР.

График третьего уровня – график конкретных операций для выполнения, конкретной работы. Данный график разрабатывается в составе технологической карты на выполнение работы в составе ППР. Основанием для такого графика служит рабочая документация с исходными данными, содержащая объемы работ и нормативные показатели трудоёмкости, указанные в ЕНиР. Данные графики в документации к проекту относятся к разным видам работам, так же, как и технологические карты разрабатываются на конкретные виды работ. Таким образом в документации нет единого графика III-его уровня, по которому возможно отследить весь строительный процесс. Фактически, данные графики являются наиболее детальными для отражения строительства, но разрабатываются только непосредственно перед проведением этих работ, субподрядными организациями. Могут разрабатываться и график четвертого уровня в виде суточных заданий, выдаваемых ежедневно работникам на стройплощадки.

Графики всех уровней составляются различными участникам проекта, которые не учитывают всех организационно-технологические аспектов. Современная практика крупномасштабных проектов подразумевает ведение заказчиком или генподрядчиком единого графика для обоих заинтересованных сторон проекта, являясь информационно-аналитическим блоком проекта [3]. Такой единый график для крупномасштабных проектов разрабатывается в единой информационной среде на платформе, имеющей необходимый функционал. Задача планирования сводится к переносу графиков в единую среду, поиск временных коллизий по проекту, текущий мониторинг и заполнения фактически выполненных объемов работ.

В таблице 1 представлены определённые характеристики по различным уровням графика проекта.

Таблица 1– Характеристики календарных графиков различных уровней

Уровень графика	Документ	Этап проекта	Разработчик	Основание для разработки
График I-го уровня	ПОС	Проектирование	Проектная организация	СП 48.13330.2011
График II-го уровня	ППР	Организационно-технологическая документация	Проектно-технический отдел субподрядной организации	МДС 12-81.2007
График III-го уровня	Технологическая карта	Организационно-технологическая документация	Проектно-технический отдел субподрядной организации	ЕНиР
График IV-го уровня	Журнал работ	Строительство	Производитель работ	Требования регламента проведения строительных работ

Анализируя существующую практику применения календарного планирования, построения графиков, контроль исполнения работ и выработку управленческих решений, необходимо отметить следующие существенные недостатки:

- ✓ Графики разрабатываются на различные этапы проекта;
- ✓ Графики разрабатываются различными участниками, не связанными между собой едиными требованиями;
- ✓ Значительно затруднена трассировка работ по всем уровням графика;
- ✓ Блок принятия управленческих решений «оторван» от внутренних процессов участников проекта;
- ✓ Организационная структура управления проектом инертно реагирует на текущие изменения состояния системы.

Предложенная модель матрицы ключевых событий [4, 5] обеспечивает применение адаптивной организационной структуры, изменяющейся на различных этапах и фазах проекта [6]. Алгоритм формирования подобной структуры представлен блок-схемой на рисунке 2.

Матрица ключевых событий – объединенный график, позволяющий команде проекта установить вехи по ключевым событиям и спустить директивные сроки на уровень ниже. Исходя из этих событий необходимо подбирать участников проекта и выстраивать взаимосвязи между ними.

Более детально исчисления процессов исполнителями работ взаимозависимых функциональных блока на различных стадиях декомпозиции увеличивают объём контролируемых событий информационно-аналитическим блоком проекта. Расчет объёмов трудозатрат и планирование становится приоритетной задачей функционального блока, отвечающего за достижение ключевого события в графике верхнего уровня, на основе его договорных обязательств [7]. В соответствии с возможностями применения функционального блока, оценённого по алгоритму, который приведён в статье [4], контрольно-исполнительный блок проекта контролирует взаимосвязи функциональных блоков проекта. Важнейшей задачей становится идентификация каждого процесса – нахождения требуемого выполнения процесса в объёме проекта при помощи матрицы событий. Эту задачу может решить информационная модель программного описания матрицы ключевых событий проекта, которая является по сути сетевым представлением событий.

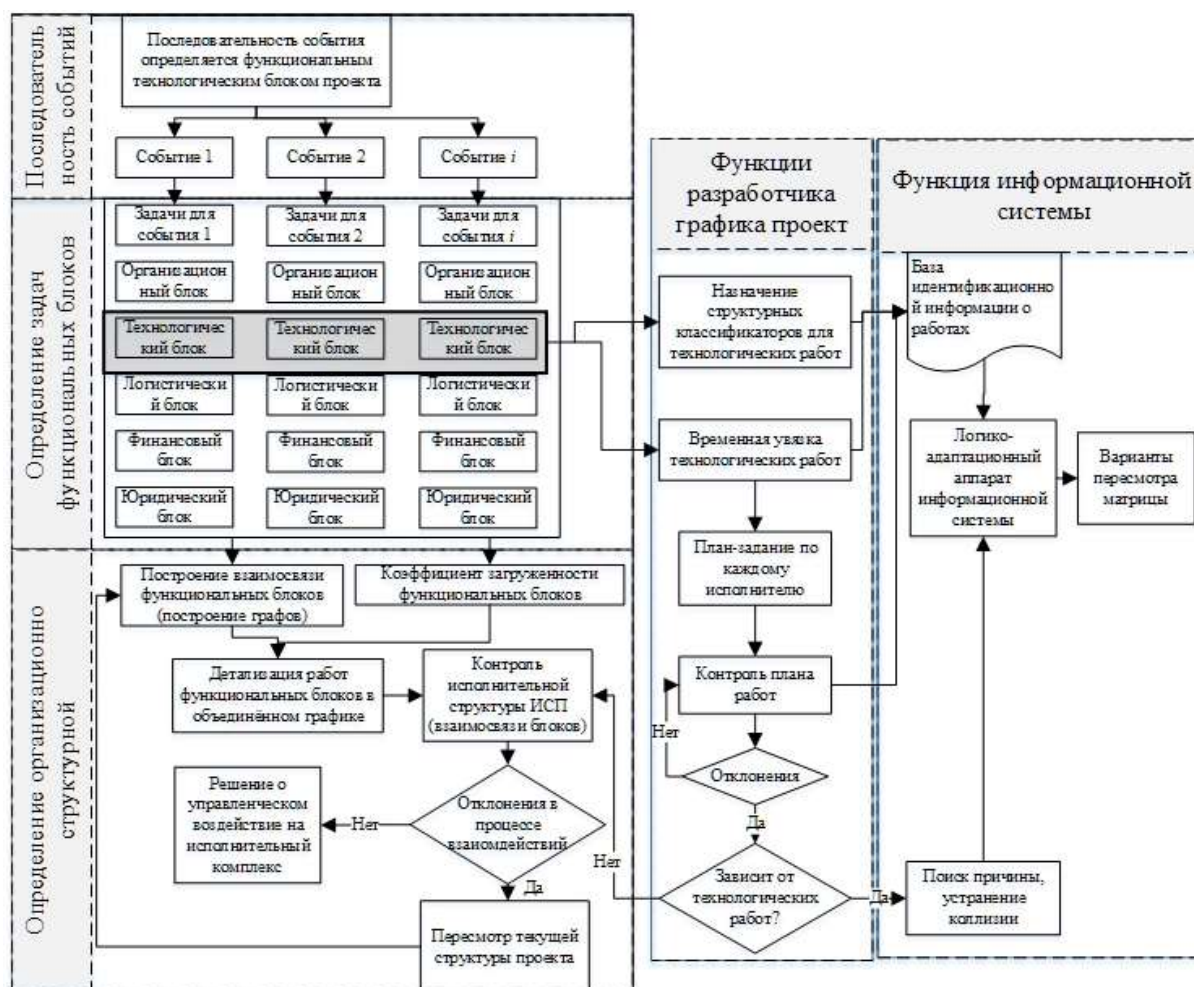


Рис. 2– Алгоритм формирования структуры

Для решения поставленных задач по предлагаемой методике необходимо разработать программное приложение для обработки информационного потока работ и операций и их характеристического состояния [8]. Дополнительные задачи, нереализованные на текущий момент в существующих программных комплексах построения сетевых моделей, необходимые для реализации в программном обеспечении:

- ✓ Атрибутирование событий сетевой модели проекта, как вершин для связи временного графика и организационных структур;
- ✓ Наполнение сетевой модели ответственными блоками;
- ✓ Автоматизация связей работ логикой технологического процесса;
- ✓ Идентификация работ по структурному коду (функциональное кодирование);
- ✓ Исключение коллизии событий.

Разработка матрицы проекта на уровне проекта производства работ возлагается на разработчика графика производства работ. Инструменты накопления информации, проверки и вариативного изменения матрицы событий реализуются в программном обеспечении.

При формировании события проекта назначается ответственный функциональный блок и необходимые взаимосвязи остальных функциональных блоков. Технологический блок проекта является ведущим блоком для достижения событий на строительной площадке. На основе его работы формируется технологический график работ на строительной площадке и формирования заданий исполнителям работ.

Данные предложения могут быть успешно осуществлены в среде визуального программирования, где вершины графа сети являются событиями, определяющими состояние проекта, а дуги графа определяют условия перехода проекта из одного состояния в другое, т.е. являются операторами перехода. В физическом представлении переход

представляет собой работу, выполнение которой позволит перейти от одного события к другому. Поэтому оператор перехода «w» от одного события «i» к другому «j» должен содержать исчерпывающую информацию о работе, условиях ее выполнения и требования к ее результатам. Атрибутирование оператора «w» и создание утилитов для расчетов текущих параметров проекта не является сложной задачей в разработке проектов организации строительных работ, особенно в условиях масштабных строек с привлечением многочисленных подрядных организаций и жестких условий продолжительности строительства.

Таким образом, используя методологию формирования организационных структур инвестиционно-строительного проекта на основе матрицы ключевых событий и вводя автоматизированный метод расчета с помощью визуального программирования возможно резкое увеличение производительности и надежности в строительстве.

Список литературы

1. Боброва Т.В., Дубенков А.А., Тытарь И.В. Совершенствование организационно-технологического проектирования линейных транспортных объектов на основе моделирования их пространственной декомпозиции // Системы. Методы. Технологии, № 4 (32), 2016. С. 169-175.
2. Баркалов С.А., Будков О.В., Подвальная Н.М., Черенков Ю.А.. Задача оптимального распределения затрат между проектами, представленными сетевыми графиками // Вестник Воронежского государственного технического университета, Т. 6, № 6, 2010. С. 55-57.
3. Морозенко А.А. Информационный подход к решению организационных задач - основа прогресса в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 9. С. 44-47.
4. Морозенко А.А., Красовский Д.В. Устранение недостатков календарно-сетевого планирования // Вестник МГСУ, № 12 №6 (105), 2017. С. 674-679.
5. Морозенко А.А., Красовский Д.В. Управление инвестиционно-строительными проектами на основе матрицы ключевых событий // Вестник МГСУ, № 11, 2016. С. 105-113.
6. Пругова А.В., Матвеюк О.В. Жизненный цикл как объект системы управления проектом // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых - 2014 сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции: в 2-х томах. Ответственный редактор Горохов А.А., 2014. С. 189-192.
7. Белов С.Б. Создание матрицы проектов (матрицы сочетания элементов в проекте CNN) // Труды Дальневосточного государственного технического университета, № 139, 2005. С. 195.
8. Неизвестный М.А. Преимущества визуальных языков программирования на примере Blueprint в среде игрового движка Unreal Engine 4 // Экономика и социум. , № 8 (27), 2016. С. 504-508.

05.02.00

Н.В. Петров, Т.Н. Охлопков, И.Н. Ушницкий, К.В. Старостин,
М.М. Евсеева, А.Р. Кондакова

ФГАОУ ВПО Северо-Восточный Федеральный университет им. М. К. Аммосова,
автодорожный факультет,
кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»,
Якутск, retnikvad1988@mail.ru

ФГБОУ ВО Окемский филиал Якутская государственная сельскохозяйственная академия,
кафедра «Механизация сельскохозяйственного производства»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА БИОГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ С КОРРЕКТИРОВАНИЕМ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-129-132

Данная статья рассматривает проблемы снижения потерь мощности двигателя, работающего на биогазовом топливе и эксплуатирующегося в автомобильном транспорте. Автор приводит схемы и расчёты, а также предлагает оптимальный вариант для решения проблемы.

Ключевые слова: Биогаз, ДВС, топливо, корректировка, биогазовое топливо.

Биогаз является одним из наиболее перспективных моторных топлив. Данное обстоятельство вызвано не только тем, что биогаз – возобновляемое топливо, но и тем, что метан – основной компонент биогаза – является одним из наиболее чистых углеводородных топлив [1].

В настоящее время накоплен значительный опыт создания специальных стендов для доводки газовых двигателей [2-4]. Такие стенды оборудованы классическими системами топливоподачи и зажигания, которые дают возможность ручного управления параметрами. Микропроцессорные системы управления, которыми оснащены современные двигатели, не позволяют изменять коэффициент избытка воздуха и УОЗ в ручном режиме.

Для двигателя, работающего на биогазе и эксплуатирующегося в автомобильном транспорте, на первое место выходит проблема снижения потерь мощности, возникающих при увеличении объемной доли CO_2 в топливе.

На рисунке 1.1 показано влияние объемной доли CO_2 в биогазе (r_{CO_2}) на эффективную мощность двигателя N_e при разных углах открытия дроссельной заслонки $\varphi_{\text{др}}$. При этом α оставалось неизменным ($\alpha \approx 1$).

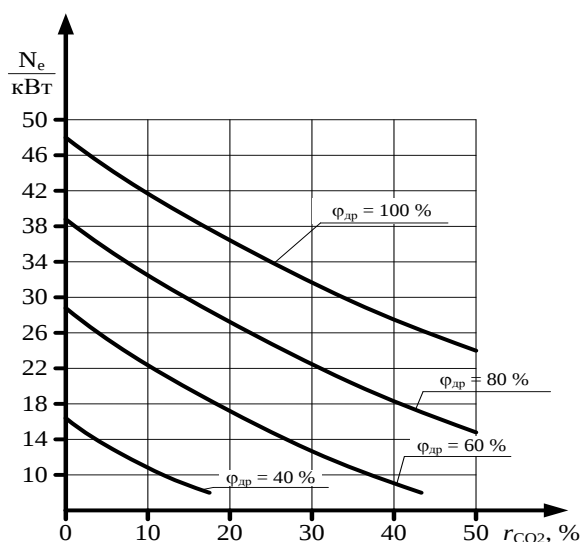


Рис.1.1. Влияние r_{CO_2} на N_e по экспериментальным скоростным характеристикам

Из рисунка 1.1 видно, что мощность двигателя при увеличении r_{CO_2} снижается пропорционально увеличению последней величины, что вызвано снижением низшей теплоты сгорания топлива.

Для корректировки потерь мощности в данном случае предложено доработать систему управления двигателем так, как показано на рисунке 1.2. Целью данных изменений является увеличение подачи топлива по команде газового блока управления (ЭБУ) через газовые форсунки пропорционально увеличению r_{CO_2} , а также корректировка угла опережения зажигания (УОЗ) в соответствии с данными изменениями.

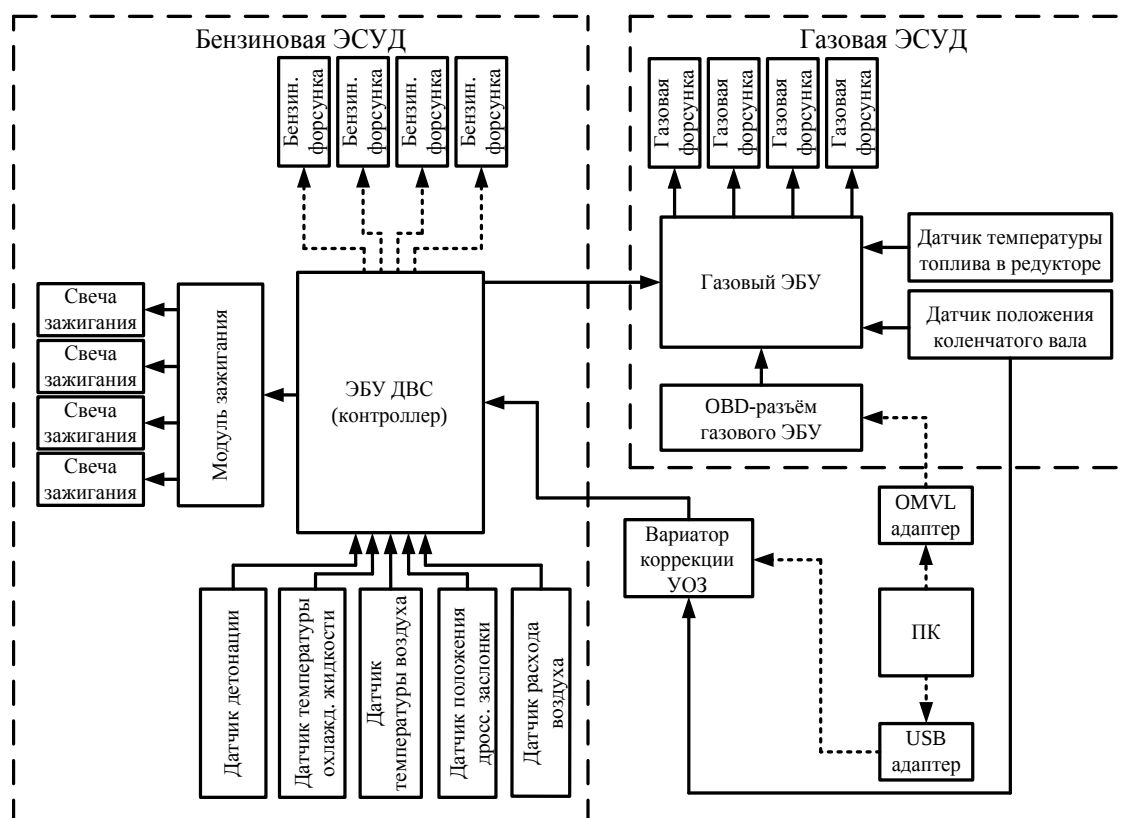


Рис. 1.2. Структурная схема электронной системы управления ДВС с корректором регулировочных параметров

Расчет количества подаваемого топлива при этом предложено выполнять с помощью зависимости

$$m_{ц} = \frac{m_{ц0}}{1 - r_{CO_2}}, \quad (1.1)$$

где $m_{ц}$ – цикловая подача топлива с учетом содержания CO_2 в нем, г; $m_{ц0}$ – потребная цикловая подача чистого метана, г.

Зависимость (1.1) предлагается использовать для корректировки топливной карты в газовом ЭБУ, программируя его с персонального компьютера (ПК) через OBD-разъем при каждой заправке биогазом на определенное значение r_{CO_2} . Содержание CO_2 в биогазе на заправке можно определить с помощью газоанализатора-хроматографа типа АМТ-03, определяющего объемную долю CH_4 в биогазе.

Для решения задачи корректировки УОЗ предложено использовать вариатор коррекции УОЗ, изображенный на рисунке 1.3.

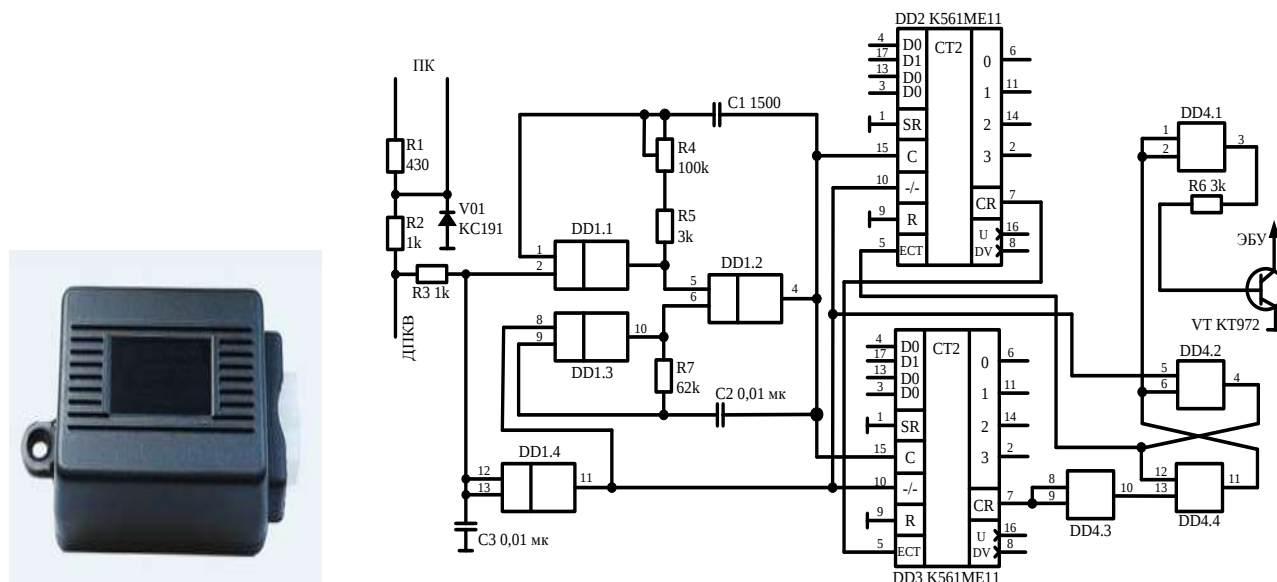


Рис. 1.3. Вариатор коррекции УОЗ и его принципиальная схема

В данный вариатор при каждой заправке биогазом с персонального компьютера (ПК) загружается характеристическая карта УОЗ, которая обеспечивает оптимальные показатели мощности, экономичности и токсичности при данном значении r_{CO_2} .

Результаты испытания ДВС, работающего на биогазовом топливе, с использованием корректора регулировочных параметров также приведены на рисунке 1.4. Из данного рисунка видно, что падение мощности по сравнению с природным газом в данном случае составляет 6...10 %, в зависимости от режима.

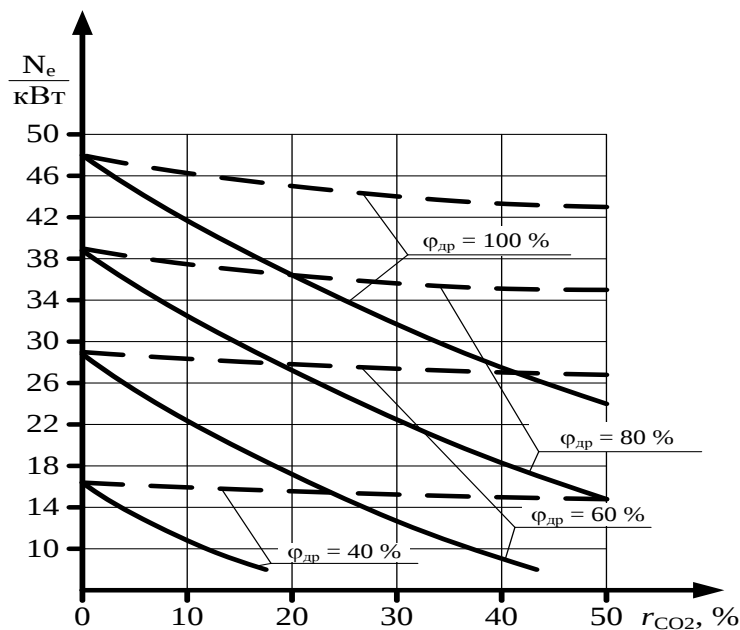


Рис. 1.4. Влияние r_{CO_2} на N_e на различных режимах:

————— без корректировки регулировочных параметров;
 - - - с корректировкой регулировочных параметров

Предложен корректор регулировочных параметров потери мощности ДВС, работающего на биогазовом топливе, при увеличении объемной доли CO_2 в топливе за счет изменения регулировочных параметров двигателя. Экспериментально установлено, что при использовании данного механизма при $r_{CO_2} \leq 0,5$ снижение эффективной мощности ДВС, работающего на биогазовом топливе, в сравнении с работой на природном газе составляет не более 10 %

Список литературы

1. Comparison of transport fuels: Final Report / [T. Beer, T. Grant, G. Morgan and oth.]: edited by T. Beer. – Melbourne, Australia: The University of Melbourne, 2002. – 463 p.
2. Бганцев В.Н., Левтеров А.М., Мараховский В.П. Газовый двигатель на базе четырехтактного дизеля общего назначения // Техно – plus. – Харьков. – 2003. - №10. – с.92.
3. Захарчук В.І., Сітовський О.П., Козачук І.С. Розрахунково-експериментальні дослідження газового двигуна, переобладнаного з дизеля. // Автомобільний транспорт – Харків: ХНАДУ. – 2005. Вип.. 16. – с. 276–278.
4. Богомолов В.А., Абрамчук Ф.И., Манойло В.М., Кабанов А.Н., Салдаев С.В. Экспериментальная установка для доводки систем зажигания и управления газовым двигателем с искровым зажиганием 6Ч 13/14 // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: АГЗК+АТ. – 2005. – №4(22). – с. 42–45.

05.02.00

О.Ю. Сметанников, Г.В. Ильиных

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь**МНОГОУРОВНЕВОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНЕВЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ
ИНФУЗИИ****DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-133-137**

Представлено комплексное исследование фильтрационных свойств армирующего каркаса полимерных композитов. Представлены результаты экспериментального определения вязкости связующего. Используется многоуровневый подход, основанный на применении моделей механики многофазной жидкости на трех масштабных уровнях: волокна, ткани и многослойной выкладки. Верхний уровень соответствует масштабу процесса пропитки под давлением. Численные модели реализованы в виде универсальных макросов САЕ пакета Ansys. Показано удовлетворительное соответствие данным верификационного эксперимента.

Ключевые слова: Многоуровневая модель, композиционный материал, вычислительная гидродинамика.

Введение. Основой процесса создания тканевых волокнистых композитных материалов является технология пропитки под давлением (инфузия), в качестве связующего при этом выступает полимерный материал [1,2].

Численное моделирование структуры композиционных материалов является актуальной темой. Наиболее рациональным в данной области является многоуровневое моделирование [3], включающее в себя три структурных уровня: микроуровень, мезоуровень, макроуровень. Ранее, в работе [4] было проведено такое исследование. В представляемой работе на каждом уровне были внесены уточнения, позволяющие подробнее описать многоуровневую геометрическую структуру композита, а так же получена многокритериальная зависимость динамической вязкости и другие факторы. В работе геометрические и конечно-элементные модели композиционного материала создаются в пакете Ansys Mechanical APDL. Расчеты вычислительной гидродинамики производятся в пакетах Ansys Fluent и Ansys CFX. Макросы для Fluent написаны на языке Scheme, позволяющем подавать внутренние команды Fluent в заданном порядке. Для CFX аналогичным образом использованы макросы на встроенном командном языке CCL (CFX command language) с использованием высокоуровневого языка Perl.

Математическая модель. Общая система уравнений, описывающая нестационарный процесс пропитки в пористой среде для фазы α , с учетом ламинарности течения, включает уравнение движения:

$$\frac{\partial(\gamma \rho \mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho (\mathbf{K} \cdot \mathbf{U}) \otimes \mathbf{U}) - \nabla \left[\mu \cdot \left(\nabla \mathbf{U} + (\nabla \mathbf{U})^T - \frac{2}{3} \delta \cdot \mathbf{U} \right) \right] = \gamma \mathbf{S}_M - \gamma \nabla p, \quad (1)$$

уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial(\gamma \rho)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{K} \cdot \mathbf{U}) = 0, \quad (2)$$

где $\mu = \sum_{\alpha=1}^2 \mu_{\alpha} V_{\alpha}$, $\rho = \sum_{\alpha=1}^2 \rho_{\alpha} V_{\alpha}$ - эффективная плотность и динамическая вязкость среды

соответственно, V_{α} - коэффициент объемного содержания (КОС) фазы α , $\gamma = V'/V$ - коэффициент пористости, V - представительный объем, V' - объем пор,

$\mathbf{K}=[K^{ij}]=\gamma\delta^{ij}$ - изотропный тензор пористости, S_M - вектор потерь пористой среды, K_{perm} - коэффициент проницаемости, K_{loss} - коэффициент потерь.

Потери в пористой среде описываются с помощью дополнительных членов:

$$\begin{cases} S_{M,x'} = -C_{R1}U_{x'} - C_{R2}|U|U_{x'}, \\ S_{M,y'} = -C_{R1}U_{y'} - C_{R2}|U|U_{y'}, \\ S_{M,z'} = -C_{R1}U_{z'} - C_{R2}|U|U_{z'}, \end{cases} \quad (3)$$

где $C_{R1} = \frac{\mu}{K_{perm}}$, $C_{R2} = K_{loss} \frac{\rho}{2}$ - линейный и квадратичный коэффициенты сопротивления

(КС) [2]. В условиях малой скорости пропитки в дальнейшем квадратичный КС не учитывается.

Экспериментальное определение динамической вязкости связующего. Входящая в уравнение движения Навье-Стокса (1) сдвиговая вязкость характеризует трение между макроскопическими слоями жидкости. Для данного класса материалов важно учесть влияние скорости деформации, температуры и времени на значение вязкости. Было проведено 8 серий экспериментов для различных сочетаний скорости сдвига ξ (1-100 с⁻¹) и температуры T (20-40°C) на ротационном реометре RHEOTEST RN 4.1.

В результате обработки все экспериментальные данные были сведены к единой регулярной сетке на временной шкале в интервале 0-9600 с последующим осреднением по каждой из групп экспериментов (рис.1).

Полученные зависимости динамической вязкости были аппроксимированы рациональными функциями. В качестве входных данных использованы безразмерные критерии $\bar{\xi}$, $\bar{T}$, $\bar{t}$:

$$\bar{\xi} = \frac{\xi - \xi_{\min}}{\xi_{\max} - \xi_{\min}} + 10^{-5}, \quad \bar{T} = \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} + 10^{-5}, \quad \bar{t} = \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} + 10^{-5},$$

определяющие значение скорости деформации, температуры и времени в указанных ранее диапазонах. Добавочное число 10^{-5} необходимо для исключения точки с нулевыми значениями характеристик. Получена многокритериальная зависимость динамической вязкости:

$$\begin{aligned} \eta(\xi, T, t) = & (-1,29144 \cdot \bar{\xi} \cdot \bar{T}^2 + 2,4779 \cdot \bar{\xi} \cdot \bar{T}^3 + 1,77837 \cdot 10^{-2} \cdot \bar{\xi} \cdot \bar{t}^2 \cdot \bar{T}^2 - \\ & - 1,27062 \cdot \bar{\xi} \cdot \bar{T}^2 - 0,107892 \cdot \bar{\xi} \cdot \bar{t} \cdot \bar{T}^2 - 6,04061 \cdot 10^{-7} \cdot \bar{T}^3 + \\ & + 6,94474 \cdot 10^{-7} \cdot \bar{T}^2 + 8,75658 \cdot 10^{-12} \cdot \bar{\xi} \cdot \bar{t}^2 - 7,26851 \cdot 10^{-17}) / \\ & / (\bar{\xi} \cdot \bar{T}^3 - 1,6751 \cdot \bar{\xi} \cdot \bar{T}^2 + 0,467005 \cdot \bar{\xi} \cdot \bar{t} \cdot \bar{T}^2 + 1,13665 \cdot 10^{-7} \cdot \bar{T}^2) \end{aligned} \quad (4)$$

Результат расчета по формуле (4) показан на рис. 1 жирными линиями 1-6.

Первый масштабный уровень. На данном уровне определяется анизотропный тензор проницаемости $\mathbf{k}$ фазы связующего при течении через отдельную нить основы или утка ткани и коэффициент пористости γ . При этом предполагается наличие отклонения горизонтальных слоев волокон друг относительно друга на некоторый малый угол ϕ . С учетом этого для получения $\mathbf{k}_1$ производится решение двух групп задач течения вдоль волокон и поперек с учетом относительного смещения S для каждой модели.

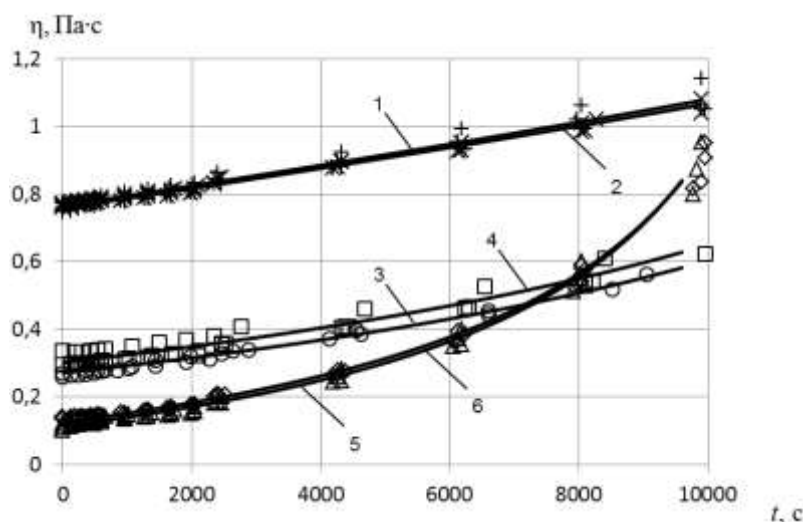


Рис. 1. Зависимость вязкости от времени.

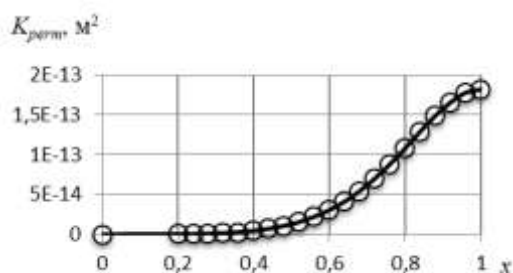
1 – 20°C, 10 c⁻¹; 2 – 20°C, 100 c⁻¹; 3 – 30°C, 10 c⁻¹;
4 – 30°C, 100 c⁻¹; 5 – 40°C, 10 c⁻¹; 6 – 40°C, 100 c⁻¹;
+ - 20°C, 10 c⁻¹; × - 20°C, 100 c⁻¹; o - 30°C, 10 c⁻¹,
□ - 30°C, 100 c⁻¹; Δ - 40°C, 10 c⁻¹; ◇ - 40°C, 100 c⁻¹

Граничные условия для обеих групп задач представляют собой: скорость на входе $U_{in}=0.1$ мм/с, избыточное давление на выходе $P_{out}=0$, границы волокон представляют собой адиабатические стенки, остальные границы являются плоскостями симметрии.

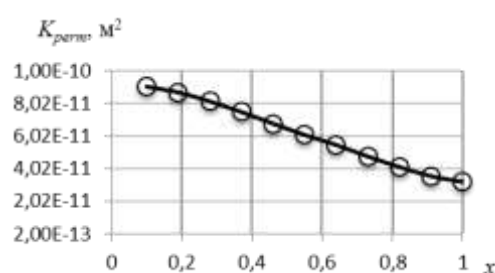
Для каждой модели поперечного и продольного течения определено значение проницаемости. Результаты расчета представлены на графиках 2а, б. По данным, изображенным на рис. 2 рассчитываются эффективные КС:

$$C_{R1}^* = \frac{\mu}{\int_0^1 K_{perm}(X) dX} \quad (5)$$

Найдены трансверсальный и продольный КС равные $3.6 \cdot 10^{11}$ кг/(м³·с) и $1.34 \cdot 10^{10}$ кг/(м³·с) соответственно. Пористость среды нитей, уложенных по представленной схеме, определена по формуле $\phi = V_0/V = \pi r_f^2 / (r_f + a_f)^2 = 0.294$, где V_0 - объем полостей, V - общий объем, включающий V_0 и объем волокон.



а



б

Рис. 2 Зависимость проницаемости от взаимного положения волокон а) поперечное течение, б) продольное течение

Второй масштабный уровень. На данном уровне определяется анизотропный тензор проницаемости k_2 фазы связующего при течении через фрагмент равнопрочной стеклоткани ткани Porcher 7781, имеющей сатиновое 8-ремизное плетение. Второй задачей является определение соответствующего коэффициента пористости γ . В качестве расчетной модели выступает ячейка периодичности, представляющий собой (в терминах ANSYS CFX) по 8

доменов нитей основы и утка, а также домен, включающий пространство между нитями, полностью занятое связующим.

Течение через равнопрочную ткань предполагает наличие двух значений КС в направлениях в плоскости ткани и поперек нее. Таким образом решаются две соответствующие задачи вычислительной гидродинамики.

Все домены нитей представляют собой пористую среду с заданными значениями продольного и трансверсального КС относительно оси нити и значением объемной пористости, полученными на предыдущем масштабном уровне. Граничные условия представляют собой давление на входе $P_{in}=0$, давление на выходе $P_{out}=-100$ Па. Остальные боковые грани модели являются плоскостями симметрии. Для описания сопротивления пористой среды используется модель прямых потерь. Анизотропные свойства проницаемости основы и утка задавались с помощью направляющего единичного вектора. Траектория нитей в зонах переплетения описывалась тригонометрическими функциями вида $y=1-|\sin(x)|^{0,6} \cdot \text{sign}(\sin(x))$. В соответствии с данным законом аналитически вычислялись компоненты направляющего вектора главных осей анизотропии пористых доменов.

С помощью (5) получены продольный и поперечный КС, равные $3,5 \cdot 10^{10}$ кг/(м³с) и $1,3 \cdot 10^{13}$ кг/(м³с) соответственно. Также был вычислен эффективный коэффициент

$$\text{пористости: } \phi = \frac{V_m \cdot 1 + V_{fib} \cdot \mu_{fib}}{V_{com}} = 0,44$$

Третий масштабный уровень. Проведен эксперимент пропитки образцов под давлением. Использованы 4 образца стеклоткани Porcher 7781 размерами 100x500мм и 200x500мм, уложенные в 3 и 9 слоев (см. рис.2).

В пакетах CFX и Fluent было проведено моделирование процесса пропитки технологического пакета размерами 100x500 мм, включающего в себя 9 слоев ткани. Граничные условия: давление на входе $P_{inp}=0$, давление на выходе $P_{out}=-0,97$ атм (вакуум), все остальные границы являются твердыми адиабатическими стенками. Начальные условия включают начальное распределение объемного содержания связующего $\gamma_s(x,0)=1$, $x \leq x_0$ и начальное распределение давления $P^0=\gamma_s(P_{out}-P_{inp})x/x_0+P_{inp}$, $x_0=10$ мм - длина заполненного связующим участка пакета в начальный момент времени.

В результате решения была получена эволюция фронта пропитки технологического пакета (рис. 3).

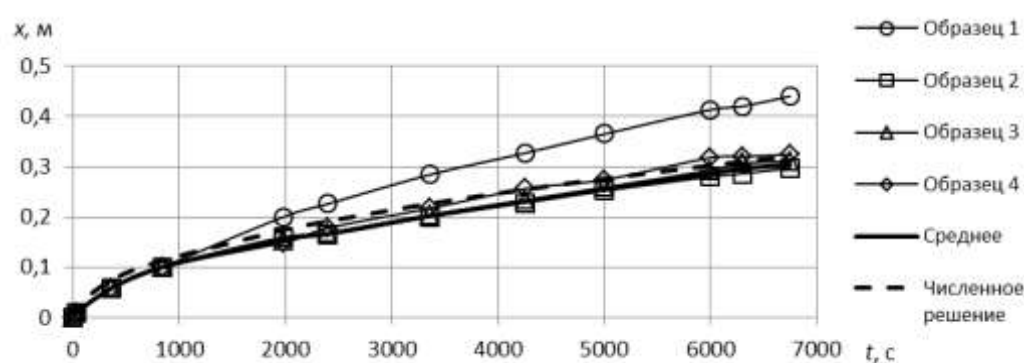


Рис. 3. Движение фронта пропитки

Сравнение представленных на рис. 3 кривых показывает, что, в среднем, к завершению эксперимента фронты пропитки сравнялись. В то же время расчетная скорость фронта на начальном этапе выше наблюдаемой в опыте. Это может быть, в частности, связано с капиллярными эффектами, влияние которого при малых продвижениях фронта пропитки оказывается существенным.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-48-590809).

Список литературы

1. Вознесенский, В.А. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В.А. Вознесенский: – Киев: Наукова думка, 1983. – 144 с.
2. Сыс В.В. Построение компьютерной модели межнитевого порового пространства армирующей ткани. // Вісник Хмельницького національного університету, №1, 2014 (209), с. 241-246.
3. Lomov, S.V., D.S. Ivanov, I. Verpoest, M. Zako, T. Kurashiki, H. Nakai, and S. Hirosawa Meso-FE modelling of textile composites: Road map, data flow and algorithms, Composites Science and Technology, 2007, 67: 1870-1891.
4. Сметанников О.Ю., Ильиных Г.В., Смертина Т.А. Многоуровневое исследование фильтрационных свойств армирующего каркаса полимерных композитов //Научно-технический вестник Поволжья. 2016. №5. С. 120-123.
5. F.M. Jensen, B.G. Falzon, J. Ankersen, H. Stang. Structural testing and numerical simulation of a 34 m composite wind turbine blade. Composite Structures 76, 2006, 52-61
6. И. Л. Фабелинский, “О макроскопической и молекулярной сдвиговой вязкости”, УФН, 167:7 (1997), 721–733; Phys. Usp., 40:7 (1997), 689–700.
7. A.N. Anoshkin, V. Yu. Zuiko, M.A. Alikin, A.V. Tchugaynova. Numerical simulation of mechanical behavior of composite sandwich panels with defects // VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering. Create Island, Greece, 5–10 June 2016.

05.02.02

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов д.т.н.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЯГИ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-138-141

В статье выведены уравнения и приведены результаты оптимизации системы тяги линейного асинхронного двигателя поезда на магнитной левитации за счет нахождения соотношения длины рамки и длины волны, при котором сила, действующая на фазный контур, встроенный в путь, будет максимальной.

Ключевые слова: поезд, тяга, магнитная левитация, двигатель, линейный, асинхронный, система, оптимизация, результаты.

В поездах, которые движутся, используя принцип магнитной левитации, обычно применяются линейные двигатели с развернутым статором. В данном случае ротором являются обмотки или постоянные магниты, расположенные в подвижном составе, а роль статора выполняет структура фазных контуров встроенных в путь, который может представлять собой канал или монорельс [1]. Существует несколько возможных моделей поездов на магнитной левитации, но всех их объединяет использование линейного двигателя. Использование линейного асинхронного двигателя позволяет создать систему тяги поездов с электродинамической подъемной силой. Путевая структура представлена на рис. 1, а рис. 2 поясняет принцип возникновения силы тяги.

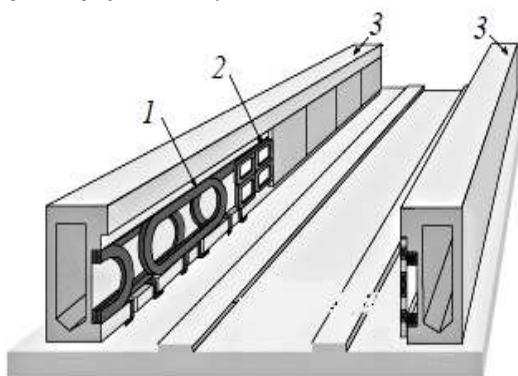


Рис. 1. Система пути:

1 – тяговая обмотка; 2 – левитационная и стабилизирующая обмотки (рамка); 3 – боковые стенки пути

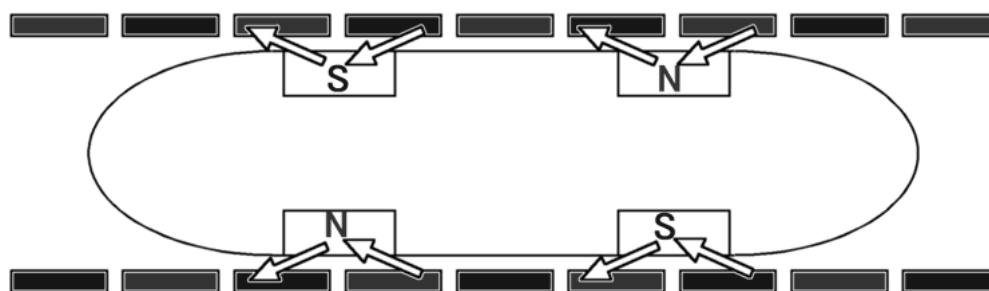


Рис. 2. Взаимодействие статорной обмотки и полюсов в поезде

Задача оптимизации, то есть нахождение соотношения длины рамки и длины волны, при котором сила, действующая на контур, будет максимальной, решается в программном продукте «MathCAD». Будем рассматривать «крейсерский» режим движения [2] – движение с постоянной скоростью $x(t) = v_0 \cdot t$.

Электромеханическое уравнение имеет вид:

$$\frac{d}{dt}i(t) + \frac{R}{L}i(t) = \frac{2H}{L}B_0\left(\frac{\lambda}{2\pi}\omega - x'(t)\right)\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\right)\sin\left(\omega t - \frac{2\pi x(t)}{\lambda} - \frac{\pi a}{\lambda}\right). \quad (1)$$

В уравнение (1) входит положение $x(t)$ и скорость движения рамки $x'(t)$, которые в свою очередь определяются механическими уравнениями движения (второй закон Ньютона).

$$\frac{d}{dt}x(t) = v(t); \quad (2)$$

$$m \cdot \frac{d}{dt}v(t) = F(t) - b \cdot v(t), \quad (3)$$

где $F(t)$ – сила Лоренца, действующая на контур с током,

$$F(t) = 2 \cdot i(t) \cdot H \cdot B_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{\lambda}a\right)\sin\left(\omega t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}x(t) - \frac{\pi}{\lambda}a\right). \quad (4)$$

Слегка преобразованное уравнение (1) имеет вид:

$$\frac{d}{dt}i(t) + \frac{R}{L}i(t) = \frac{B_0 \cdot H \cdot \lambda \cdot \omega}{\pi \cdot L} \sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\right) \sin\left(\omega \cdot t - \frac{\pi a}{\lambda}\right), \quad (5)$$

где временную зависимость определяет относительная частота [3]

$$\omega = \omega - \frac{2\pi}{\lambda}v_0. \quad (6)$$

Введем обозначения

$$A = \frac{B_0 \cdot H \cdot \lambda \cdot \omega}{\pi \cdot L} \sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\right), \quad (7)$$

$$\frac{d}{dt}i(t) + \frac{R}{L}i(t) = A \sin\left(\omega \cdot t - \frac{\pi a}{\lambda}\right). \quad (8)$$

Решение однородного уравнения найти не представляет сложности, но результат будет описывать собственные колебания системы, которые быстро затухают и сейчас нас не интересуют. Будем рассматривать режим движения с установившейся скоростью, при котором основную роль играют вынужденные колебания системы, которые описываются частным решением неоднородного уравнения [4]. Его и будем искать.

Представим правую часть уравнения в комплексном виде:

$$\frac{d}{dt}i(t) + \frac{R}{L}i(t) = \text{Im}(\tilde{A} \cdot e^{j\omega t}), \quad (9)$$

где $\tilde{A} = A \cdot e^{j\varphi}$.

Сначала решим уравнение:

$$\frac{d}{dt}\tilde{i}(t) + \frac{R}{L}\tilde{i}(t) = \tilde{A} \cdot e^{j\omega t}, \quad (10)$$

Решение этого уравнения означает на самом деле решение сразу двух уравнений для реальной и мнимой частей тока. В частности уравнение для мнимой части тока полностью аналогично нашему уравнению (формула (9)).

$$\frac{d}{dt}\text{Im}[\tilde{i}(t)] + \frac{R}{L}\text{Im}[\tilde{i}(t)] = \text{Im}[\tilde{A} \cdot e^{j\omega t}]. \quad (11)$$

Иначе говоря

$$i(t) = \text{Im}[\tilde{i}(t)]. \quad (12)$$

Будем искать решение в виде:

$$\tilde{i}(t) = \tilde{i}_0 \cdot e^{j\omega t}. \quad (13)$$

Подставим (13) в уравнение (10) получим:

$$j\omega \cdot \tilde{i}_0 \cdot e^{j\omega t} + \frac{R}{L} \tilde{i}_0 \cdot e^{j\omega t} = \tilde{A} \cdot e^{j\omega t}, \quad (14)$$

тогда $\tilde{i}_0 = \frac{\tilde{A} \cdot L}{R + j\omega L}$, или

$$\tilde{i}_0 = \frac{\tilde{A} \cdot L \cdot (R - j\omega L)}{R^2 + (\omega L)^2} = \frac{\tilde{A} \cdot L}{R^2 + (\omega L)^2} \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \cdot e^{-j\varphi_1}, \quad (15)$$

где $\varphi_1 = \arctg \frac{\omega L}{R}$.

И, окончательно,

$$\tilde{i}_0 = \frac{L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cdot A \cdot e^{j(\varphi - \varphi_1)}, \quad (16)$$

$$i(t, a, v_0) = \frac{L \cdot A(a, v_0)}{\sqrt{R^2 + (\omega(v_0)L)^2}} \sin(\omega t - \frac{\pi \cdot a}{\lambda} + \arctg \frac{\omega L}{R}) = \quad (17)$$

$$= i_0(a, v_0) \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi \cdot a}{\lambda} + \arctg \frac{\omega L}{R}).$$

Действительная амплитуда $i_0(a, v_0)$ может быть записана в виде:

$$i_0(a, v_0) = \frac{L \cdot A}{\sqrt{R^2 + (\omega(v_0)L)^2}} = \left(\frac{B_0 H \lambda}{\pi L} \right) \frac{\omega(v_0) \cdot L}{\sqrt{R^2 + (\omega(v_0)L)^2}} \quad (18)$$

Используя формулу (12) в [1], и произведя некоторые преобразования, можно получить:

$$F(t, a, v_0) = i_0(a, v_0) \cdot H \cdot B_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{\lambda} a\right) (\cos(\varphi_1) - \cos(2\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} a - \varphi_1)), \quad (19)$$

Средняя по периоду для относительной частоты ω сила F_ω будет равна:

$$F_\omega(a, v_0) = \frac{\lambda}{\pi L} (B_0 H)^2 \frac{\omega(v_0) \cdot L}{\sqrt{R^2 + (\omega(v_0)L)^2}} \sin\left(\frac{\pi \lambda}{a}\right) \cos(\varphi_1). \quad (20)$$

На рис. 3 по левой оси отложено отношение длины рамки к длине волны, по правой оси отложена скорость движения рамки, а по вертикальной оси отложена средняя сила, действующая на движущийся контур.

Расчет средней силы проводился при изменении параметров длины a и скорости v_0 в то время как остальные параметры имели те же значения, указанные в [5].

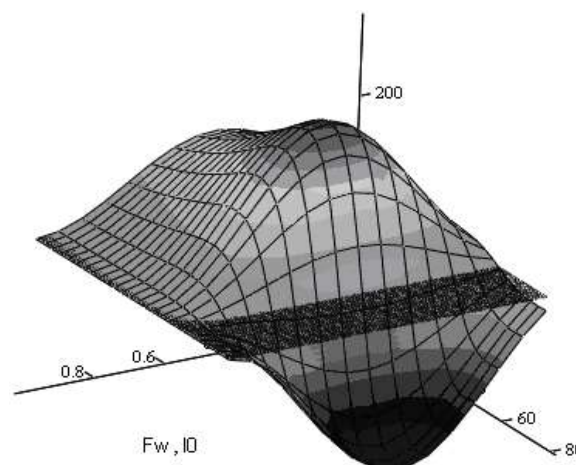


Рис. 3. Графическое решение задачи оптимизации

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1) наиболее эффективно рамка разгоняется и тормозится при $\alpha=0,5\cdot\lambda$; 2) величина средней силы пропорциональна квадрату B_0H (H – вертикальный размер рамки). Это понятно, так как каждая из этих величин входит множителями (т. е., пропорциональна), как в индуцированный ток i , так и в действующую силу $F(t)=I(t)\cdot B_y(t)H$; 3) по мере разгона рамки средняя сила при $\alpha=0,5\cdot\lambda$ несколько возрастает и, когда ее скорость приближается к v_r , обращается в нуль; 4) если скорость рамки больше v_r , то рамка будет тормозиться; 5) если мы можем управлять частотой, подаваемой в электропитание пути и, следовательно, скоростью волны (они пропорциональны), то можно управлять разгоном и торможением.

Список литературы

1. Фетисова Н.Г., Буйносов А.П. Определение сил линейного асинхронного двигателя высокоскоростного поезда // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 58-61.
2. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
3. Буйносов А.П., Умылин И.В. Разработка схемы стабилизации зарядки аккумуляторных батарей на моторвагонном подвижном составе // Вестник транспорта Поволжья. 2016. № 4. С. 36-39.
4. Буйносов А.П., Фетисова Н.Г. Основные принципы создания компьютерной модели экипажной электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 2. С. 54-56.
5. Superconducting magnetically levitated vehicle [Электронный ресурс] // Railway Technical Research Institute. – http://www.rtri.or.jp/rd/maglev/html/english/maglev_introduction_E.html

05.02.22

А.А. Швецова, П.Е. Киселёв, П.А. Шляпников

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,
кафедра технологий производства двигателей,
Самара, lcr_063@mail.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОТГРУЗКИ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-142-144

В работе представлена концепция формирования планов производства крупного машиностроительного предприятия. Проведен анализ деятельности организации. Предложена многоуровневая система планирования производства, обеспечивающая непрерывность данного процесса. Разработана схема взаимодействия подразделений с указанием ответственных за формирование, согласование и утверждение документов. Схема планирования сформирована на базе имеющихся на предприятии информационных систем.

Ключевые слова: *машиностроительное предприятие, планирование, отгрузка продукции, план производства.*

План предприятия - это «заранее разработанная система мероприятий, предусматривающая цели, содержание, сбалансированное взаимодействие ресурсов, объем, методы, последовательность и сроки выполнения работ по производству и реализации определенной продукции или оказанию услуг». [1]

Организация работ по планированию производственной деятельности организации осуществляется в зависимости от типа и размера производства. Большинство крупных и средних машиностроительных предприятий используют централизованную систему планирования и формируют процесс планирования сверху вниз. На уровне топ-менеджмента формируется миссия, основные цели и задачи развития предприятия. Далее цели и задачи спускаются на более низкие уровни организационной структуры организации, где детализируются и выражаются в конкретной систематизированной форме. После согласования разработанных и формализованных заданий подразделениями организации осуществляется окончательное утверждение планов производства руководством организации. [2]

Разработка схемы планирования и отгрузки продукции проводилась на базе крупной машиностроительной организации. Выбранное предприятие является многопрофильным, производит различные типы двигателей (ракетные, авиационные, газоперекачивающих агрегатов, блочно-модульных электростанций). Основными направлениями работ организации является не только производство, испытания и сервисное обслуживание двигателей, но и ремонт. При этом на одной производственной базе сочетаются несколько типов производств (штучное, мелкосерийное, опытное и ремонтное). Данная специфика работ существенно осложняет процесс планирования производства.

В результате анализа деятельности предприятия за последний год выделены следующие негативные аспекты:

- 1) значительный рост незавершённого производства;
- 2) рост брака (в том числе съемы с испытаний);
- 3) рост численности персонала и перерасход фонда оплаты труда;
- 4) опережающий рост заработной платы по сравнению с ростом выручки;
- 5) невыполнением плана производства и сдачи изделий заказчику.

Выделены основные финансово-экономические факторы существенное влияющие на положение организации:

- 1) рост цен на покупные материалы, комплектующие, инструмент, работы и услуги;

- 2) монопольный характер большинства поставщиков предприятия;
- 3) длительный производственный цикл предприятия.

Преодоление ряда негативных аспектов предлагается путем реализации непрерывного процесса планирования, построенного на комплексной основе, представляющей собой выстраивание многоуровневой системы планирования производства. [3]

Для реализации поставленных перед организацией задач на предприятии имеются производственные мощности, подготовленный персонал специалистов производства и опытно-конструкторского бюро, используется уникальная экспериментально-доводочная база и испытательный комплекс. Дополнительным преимуществом является наличие в организации автоматизированной системы управления (АСУ), позволяющей при наличии четких взаимоувязанных схем архитектуры информационных систем и бизнес-процессов обеспечить автоматизированное формирование и расчет необходимых планов и сводных аналитических отчетов по ним.

Разработанная схема формирования процесса планирования производства состоит из пяти уровней (рисунок 1):

1) Стратегический план производства на три года. Формируется на планируемый год и прогноз на следующие два года в целом. Стратегический план производства на планируемый год формируется по месяцам и является основой для расчета: плана организационно-технических работ, потребности в трудовых, материальных, финансовых ресурсов и т.д. План составляется на основе заключенных контрактов, договоров, прогнозов рынка и научно-исследовательских опытно-конструкторских работ с указанием количества изделий, рассчитывается в рублях. В составлении плана участвуют следующие подразделения организации: служба по маркетингу и продажам, служба генерального конструктора, служба по экономике и финансам. Стратегический план утверждается генеральным директором предприятия.



Рис. 1– Схема планирования

2) План отгрузки. Формируется один раз в год помесечно по изделиям, перед началом планируемого года. В составлении плана участвуют следующие подразделения организации: служба по маркетингу и продажам, служба генерального конструктора, служба по экономике и финансам, производственная служба. Утверждается высшим руководством предприятия.

3) План производства на 12 месяцев отражает месяцы, в которые изделия должны быть упакованы. План производства является «скользящим» и формируется на планируемый месяц и 11 последующих. Формируется на основе плана отгрузки и отражает изделия,

которые изготовлены, испытаны и упакованы. План производства отражает также месяц окончания комплектации изделий с опережением на месяц от месяца упаковки изделий. В составлении плана участвуют следующие подразделения организации: планово-диспетчерская служба, служба по экономике и финансам, служба по маркетингу и продажам, производственная служба, служба материально-технического обеспечения. Утверждается высшим руководством предприятия.

4) График комплектации, сборки, испытаний, упаковки и отгрузки изделий формируется на основании плана производства. Планово-диспетчерская служба составляет, согласовывает, утверждает и вводит график в автоматизированную систему управления предприятия для последующего расчета номенклатурных планов по цехам. [4]

Номенклатурные планы запуска-выпуска по цехам предприятия формируется на основании Плана производства и Графика комплектации. Номенклатурные планы запуска-выпуска формируются ежемесячно. План запуска представляет собой совокупность деталей и сборочных единиц (позиции и штуки), необходимых для сдачи в месяцах, следующих за расчетным месяцем. План запуска необходим для производства изделий с большим циклом изготовления. План выпуска представляет собой ежемесячную совокупность деталей и сборочных единиц (позиции и штуки), необходимых для производства изделий с датой сдачи в расчетном месяце. План выпуска формируется на новые и ремонтные детали и сборочные единицы. Номенклатурные планы цехов рассчитываются в автоматизированной системе управления (АСУ) организаций. После расчета необходимо провести анализ и корректировку полученных данных. Утвержденные задания цехам в номенклатуре и объеме нормо-часов выдаются в цеха предприятия.

Реализация предложенной системы планирования производства, сформированной на комплексной основе, позволит:

- сократить объем незавершенного производства и потребности в его финансировании;
- исключить потери, связанные с производством невостребованных деталей и сборочных единиц;
- обеспечить снижение запасов товарно-материальных ценностей и потребности в их финансировании;
- повысить производительность труда за счёт сокращения простоев;
- обеспечить понятную и прозрачную аналитическую отчетность с возможностью корректировки отклонений от планов производства в режиме реального времени.
- обеспечить достаточной информацией подразделения для принятия обоснованных решений по нижестоящим целям, планам.

Дальнейшее продолжение работ направлено на детальное проектирование схем планирования и взаимодействия подразделений по каждому уровню представленной концепции на базе автоматизированной системы управления предприятия.

Разработанная схема планирования нацелена на достижение безубыточности и формирование условий для развития предприятия, расширение линейки выпускаемой продукции, внедрение новых технологий производства.

Список литературы

1. Горемыкин, В.А. Планирование на предприятии [Текст]: учебник. – Изд. 4-е, стереотипное /В.А. Горемыкин. – М.: Информационно-издательский дом «ФИЛИНЪ», 2004. – 520 с.
2. Абрамова, И.Г Основы планирования на предприятиях машиностроения (Лекционный материал) [Текст]: учебное пособие/И.Г. Абрамова, А.В. Мещеряков. - Самарский гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2009. - 136 с.
3. Вебер Ю., Гельдель Х., Шеффер У. Организация стратегического и оперативного управления на предприятии // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – №2. – С. 105–110.
4. Гагаринский А.В., Горбунова Ю.Н. Управление производительностью труда промышленного предприятия // Вестник Самарского государственного университета. – 2013. – №7 (108). – С. 111–116.

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

05.11.00

¹И.И. Воротынцева, ²В.Л. Кашинцева¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
кафедра физики,²Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ),кафедра физики и строительной аэродинамики,
Москва, tyncher@inbox.ru, kashintseva_v@mail.ru**АВТОФАЗНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СВЧ ЭНЕРГИИ****DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-145-148**

Рассмотрена модель специальной ЛБВ, представляющей собой двухсекционную конструкцию с автофазной выходной секцией. Представлены результаты численного моделирования режима обратного преобразования в автофазной ЛБВ при многократном вводе СВЧ энергии. Сделаны оценки эффективности работы устройства при различных комбинациях параметров процесса, которые позволяют добиться длительного устойчивого удержания электронного сгустка полем ВЧ волны. Показано, что к.п.д. обратного преобразования может быть существенно увеличен выбором оптимального закона изменения профиля статического потенциала.

Ключевые слова: СВЧ-конвертор, автофазная секция, оптимизация, численное моделирование.

Основные закономерности работы автофазной ЛБВ (АЛБВ) в прямом режиме достаточно подробно описаны в работах [1,2]. Механизм взаимодействия в приборах автофазного типа следующий: сгруппированный электронный пучок встреливается в пространство взаимодействия, где сопротивление связи значительно, например, на порядок больше, чем в группирующей секции. При выполнении определенных условий электронные сгустки захватываются бегущей волной в минимуме ее потенциала и дрейфуют со скоростью, равной фазовой скорости волны, сохраняя при этом устойчивость. Смещая статическим электрическим полем сгусток в тормозящую фазу поля, можно достичь высокого уровня преобразования энергии статического поля в энергию СВЧ-волны [3]. Изменяя знак тянущего статического поля, и смещая сгусток в ускоряющую фазу СВЧ-поля, можно эффективно реализовать режим обратного преобразования [4].

В данной работе методом численного моделирования исследован режим обратного преобразования и общая схема реализации такого режима. Согласно этой схеме на выход группирующей секции подается сигнал, достаточный для группировки электронного сгустка. Сама группирующая секция может быть реализована разными способами. Это может быть, например, отрезок ЛБВ. На вход автофазной секции подается значительная входная СВЧ-мощность. Благодаря методам фазировки влетающие электронные сгустки занимают фазовое положение на дне потенциальной ямы бегущей волны, а смещающее статическое поле обуславливает давление сгустков на стенку ямы со стороны ускоряющего поля. Такая схема реализации предполагает наличие естественных ограничений на преобразуемую СВЧ-мощность и КПД преобразования.

Уровень входной мощности определяется условиями реализации транспортировки протяженного пучка в пространстве взаимодействия. При этом верхний предел СВЧ мощности, преобразуемый в постоянную, определяется условиями сохранения финитного движения сгустка и волны:

$$\frac{|E_{cm}|}{E_0} < \frac{|q|\omega^2 K_0}{|v_0 - u_0|},$$

где E_{cm} – напряженность статического поля, E_0 – напряженность СВЧ-поля, q – заряд электрона, ω – частота, K_0 – сопротивление связи, v_0 – дрейфовая скорость, u_0 – групповая скорость волны [5].

Распаду электронного сгустка также способствует наличие мощных поперечных переменных полей. Электроны, покинувшие сгусток и вылетевшие из потенциальной ямы, будут инфинитно смещаться вдоль пространства взаимодействия, отбирая энергию на ускорение, а также оседать на замедляющую систему. Оба эти явления снижают КПД преобразования. Имеется также нижний предел по СВЧ-мощности, при котором автофазный механизм преобразования прекращается. В случае разового ввода в пространство взаимодействия СВЧ-мощности и последующего ее преобразования в мощность тока, глубина потенциальной ямы уменьшается вдоль пространства взаимодействия. Так что, в конце концов, поле бегущей волны уже не в состоянии удерживать электронный сгусток в заданных фазовых отношениях. Обмеление потенциальной ямы до критического уровня имеет место при значительных остаточных значениях входной СВЧ-мощности. Это остаточная мощность, как показал численный расчет, при однократном вводе энергии может достигать 30%. Специальными методами управления ее можно снизить. Для этого необходимо выполнить замедляющую систему с увеличивающимся к выходному концу сопротивлением связи. Однако при этом необходимо учесть изменение дисперсии замедляющей системы, что обуславливает наличие нарастающих трудностей фазирования пучка и поля.

В целях разрешения указанного противоречия было предложено выполнить в выходной части автофазной ЛБВ несколько вводов СВЧ-мощности, что позволяет продлить длину пространства взаимодействия, на котором выполняется условие удержания электронного сгустка в потенциальной яме бегущей волны. Ввод очередной СВЧ-мощности технически может быть реализован путем использования направляющих устройств связи, например, типа направленный ответвитель. Представляет интерес построение такого метода управления процессом преобразования, чтобы дополнительно вводимая СВЧ-мощность и пучок находились в оптимальных фазовых соотношениях. При этом, однако, дополнительную трудность представляет то, что дополнительные вводы энергии расположены на фиксированных взаимных расстояниях, в то время, как в зависимости от параметра режима необходимость дополнительной подкачки СВЧ-энергии может возникнуть в точке, находящейся до места ввода. Эти затруднения могут быть устранены оптимальным подбором напряженности электростатического тормозящего поля. Указанные выше особенности обуславливают необходимость модельных исследований реализации режима обратного преобразования при различных значениях параметров процесса. Исследования проводились путем численного анализа в рамках трехмерной модели ЛБВ [6].

На рис.1 показаны зависимости безразмерной амплитуды высокочастотного поля в автофазной секции (АС). В точке $\xi = 2$ и $\xi = 3$ введена дополнительная СВЧ-мощность, что позволило продлить процесс обратного преобразования энергии и существенно увеличить КПД преобразования. Дополнительный ввод энергии обеспечивал восстановление амплитуды поля СВЧ волны до исходного уровня $F_{ex} = 2,907$. В результате обобщения большого числа численных расчетов была установлена эмпирическая зависимость оптимального расстояния ξ_1 между первым и вторым вводами энергии с точки зрения максимальной величины преобразуемой входной СВЧ мощности F_{ex} . Эта зависимость имеет линейный вид: $\xi_1 = \alpha F_{cm} + \beta$, где F_{cm} – безразмерная величина напряженности статического поля на данном участке автофазной секции, α и β – коэффициенты, причем $\alpha = (0,5 \div 2)$, $\beta = (3 \div 6)$ и точное значение этих коэффициентов зависит от параметров пучка и величины F_{ex} .

Для продления эффекта взаимодействия электронного потока с СВЧ полем с целью обеспечения максимального преобразования энергии рекомендуется осуществлять число

вводов $n \geq 2$, причем расстояние между n и $n-1$ вводами при одинаковых значения F_{cm} во всех n секциях определяется соотношением: $\xi_n = \xi_{n-1} - \gamma n$, где $\gamma = (0,3 \div 0,6)$ при тех же условиях.

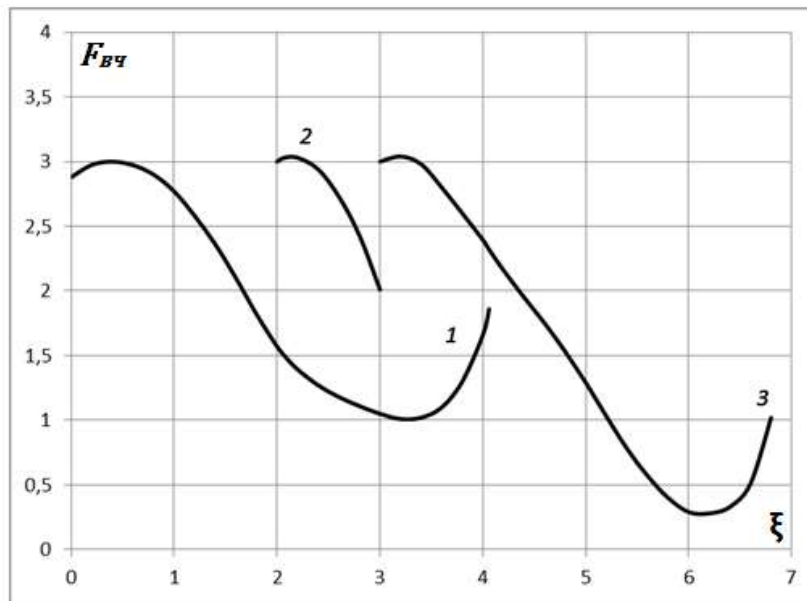


Рис. 1. Зависимость безразмерной амплитуды ВЧ поля от длины АС (1,2,3 – количество вводов энергии)

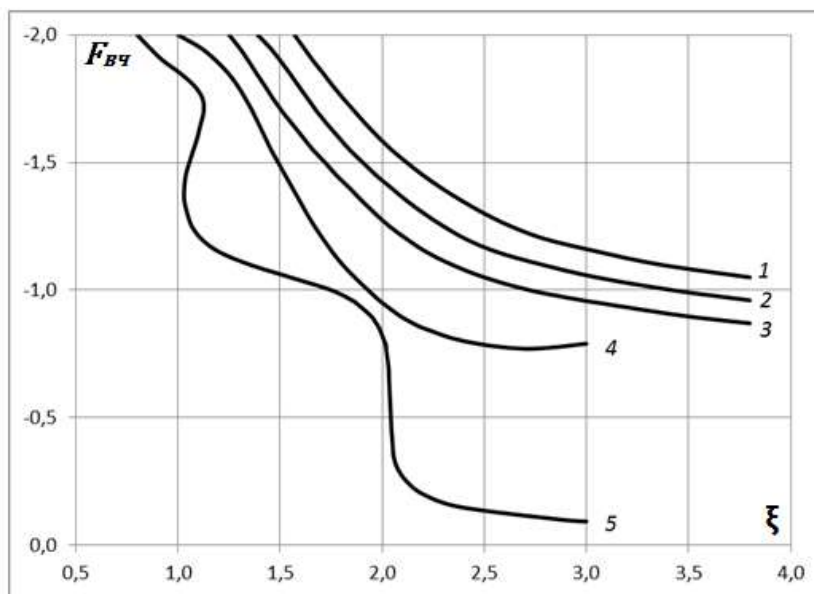


Рис. 2. Зависимость F_{cm2} от длины АС
(1 - $F_{cm1} = 1.0$; 1 - $F_{cm1} = 1.25$; 1 - $F_{cm1} = 1.5$; 1 - $F_{cm1} = 1.75$; 1 - $F_{cm1} = 2.0$)

Представляет особый интерес использование статических полей разной напряженности между отдельными вводами энергии. На рис.2 представлены обобщающие графические зависимости, по которым можно оптимальным образом подобрать параметры статических полей в пространстве взаимодействия между 2-м и 3-м дополнительными вводами энергии при различных значениях напряженности тормозящего поля в начале автофазной секции. Кривые (1-5) различаются значениями напряженности электростатического поля в пространстве взаимодействия между 1-м и 2-м вводами энергии. По оси ординат отложено значение напряженности статического поля между 2-м и 3-м вводами энергии, либо между 2-м и окончанием пространства взаимодействия при котором достигается максимальное преобразование СВЧ энергии (на длине ξ , определяемой по оси абсцисс). Представленные зависимости позволяют при фиксированном расстоянии между вводами энергии оптимальным образом управлять процессом обратного преобразования энергии.

Таким образом, численные расчеты подтверждают, что предложенный способ преобразования энергии действительно позволяет продлить цикл обратного преобразования и построить эффективный конвертор. При невыполнении условий автофазности дополнительный ввод энергии не может предотвратить разрушение сгустка. Анализ результатов расчета позволяет сделать вывод, что скачок сопротивления связи при переходе от группирующей к автофазной секции должен быть достаточно большим, соответствующим коэффициенту перехода ≈ 100 , дополнительный ввод энергии должен осуществляться до нарушения условий захвата при сохранении хорошей группировки, а расстояние между вводами СВЧ-мощности уменьшается по мере увеличения длины автофазной секции.

Список литературы

1. *Белявский Е.Д.* Условия устойчивости захваченных электромагнитной волной электронных сгустков в продольном статическом электрическом поле // Изв. вузов. Сер. Радиофизика. - 1983. - Т.26, № 10. - С. 1312-1314.
2. *Гинзбург Н.С., Манькин И.А., Сергеев А.С. и др.* // Режим захвата частиц синхронной волной как метод повышения к.п.д. приборов СВЧ // Релятивистская высокочастотная электроника. - Горький: ИПФ АН СССР, 1988. - С.7-19.
3. *Folkner A.Y.* Novel travelling-wave energy convertor // IEE Proc. - 1985. - Vol.132, № 1.- P. 1-4.
4. *Воротынцева И.И.* Динамические процессы в автофазной лампе бегущей волны (ЛБВ) в режиме обратного преобразования // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. - 2012.- № 3(23).-С. 9-12.
5. *Воротынцева И.И., Марценюк Н.О.* Оптимизация преобразования энергии в АЛБВ при наложении статических полей // Успехи современной науки и образования. - 2016. - Т. 8. № 12. - С. 117-122.
6. *Воротынцева И.И., Аникин А.В.* Минимизация численных погрешностей в динамических моделях крупных частиц // Вестник МГСУ. - 2011. -№ 4. -С. 294.

05.11.00

К.А. Кузьмин, И.В. Нелин к.т.н., В.А. Скуратов, В.В. Кирдяшкин к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование»,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ АНАЛИЗЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-149-151

В научной работе рассматривается возможность применения искусственных нейронных сетей для распознавания различных визуальных образов на примере определения типа летательных аппаратов при анализе радиолокационного изображения. В статье освещен общий подход к построению и обучению многослойной нейронной сети, проведены моделирование и анализ возможности использования нейросетевых технологий для распознавания образов летательных аппаратов на фоне подстилающей поверхности.

Ключевые слова: *распознавание образов летательных аппаратов, нейронные сети, радиолокационное изображение.*

Искусственные нейронные сети (НС) представляют собой технологию, объединяющую множество дисциплин: биология, математика, статистика, физика, кибернетика и т.д. Они находят свое применение в таких областях, как автоматизация распознавания образов и речи, машинный перевод текстов, обработка сигналов и прочее. Применение нейросетевых технологий в первую очередь обусловлено одним важным свойством – способностью сети к обучению на основе имеющихся данных. Обучение напоминает процесс интеллектуального развития человеческой личности. В стандартном случае НС представляет собой программу, основанную на математической модели функционирования биологических НС и моделирует обработку мозгом конкретной задачи. Как и в биологической НС, базовым элементом искусственной НС является нейрон [1].

Развитие нейронов живых существ представляет собой процесс адаптации нервной системы в соответствии с окружающими условиями. Аналогичные процессы происходят при работе искусственных НС. Как и в мозге, информация поступает в НС из окружающей среды и используется в процессе обучения. Для накопления знаний используются связи между нейронами, так называемые синаптические веса (СВ) [2, 3].

Одной из актуальных задач является распознавание образов летательных аппаратов (ЛА) на фоне подстилающей поверхности, являющейся частным случаем проблематики автоматического распознавания визуальных образов. Существующие на данный момент НС способны успешно распознавать росписи на бумагах, рукописный текст, символы на банковских картах или чеках, чем существенно облегчают человеческий труд и ускоряют рабочий процесс, при этом снижая риск ошибки за счет отсутствия человеческого фактора [4].

Распознавание образов формально определяется как процесс, в результате которого входной образ должен быть отнесен к одному из предопределенных классов (категорий). НС в этом случае должна принимать решение о принадлежности исследуемых объектов к определенным классам. Чтобы НС могла решать задачи распознавания образов, сначала её необходимо обучить, подавая последовательность обучающих примеров, организованных в виде наборов входных данных, связанных с известными выходными значениями. Обучающие входные образы могут быть неполными и зашумленными. Чем больше будет подано разнообразно зашумленных обучающих данных, тем достовернее окажется распознавание образов в условиях случайных помех.

Наиболее подходящими для распознавания образов являются НС следующих типов: многослойный персептрон, самоорганизующаяся карта Кохонена и сеть Хопфилда. В настоящей работе используется НС типа многослойного персептрона с одним скрытым слоем сигмоидных нейронов и одним выходным слоем линейных нейронов, применение остальных НС будет рассмотрено в дальнейшем.

НС типа многослойный персептрон (Рис.1) состоит из множества сенсорных элементов (входных узлов или узлов источника), которые образуют входной слой, одного или нескольких скрытых слоев вычислительных нейронов и одного выходного слоя нейронов. Входной сигнал распространяется по сети в прямом направлении, от слоя к слою.

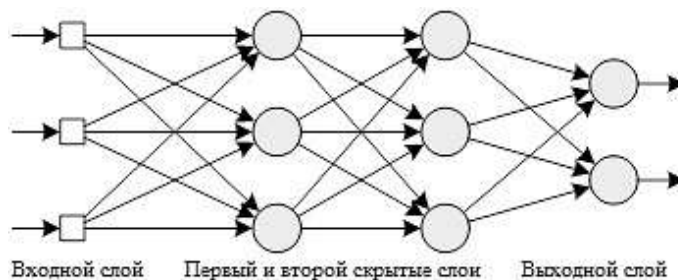


Рис.1 - Многослойный персептрон с двумя скрытыми слоями

Многослойные персептроны успешно применяются для решения разнообразных сложных задач, в том числе и в распознавании образов. При этом обучение с учителем выполняется с помощью такого популярного алгоритма, как алгоритм обратного распространения ошибки. Этот алгоритм основывается на коррекции ошибок и его можно рассматривать как обобщение столь же популярного алгоритма адаптивной фильтрации - алгоритма минимизации среднеквадратической ошибки. Обучение методом обратного распространения ошибки предполагает два прохода по всем слоям сети: прямого и обратного. При прямом проходе образ (входной вектор) подается на сенсорные узлы, после чего распространяется по сети от слоя к слою. В результате генерируется набор выходных сигналов, который и является фактической реакцией сети на данный входной вектор. Во время прямого прохода все СВ НС фиксированы. Во время обратного прохода все СВ настраиваются в соответствии с правилом коррекции ошибок, а именно: фактический выход сети вычитается из желаемого (целевого) отклика, в результате чего формируется сигнал ошибки. Этот сигнал впоследствии распространяется по сети в направлении, обратном направлению синоптических связей. СВ настраиваются с целью максимального приближения выходного сигнала сети к желаемому в статистическом смысле.

Для проведения моделирования была выбрана система Matlab, в которой присутствует инструмент NNTool, имеющий графический интерфейс пользователя, что облегчает работу с НС. Подробно NNTool описан в работах В. Иванников, А. Ланнэ [5], А.И. Шеремет, В.В. Перепелица, А.М. Денисова [6] и др. [7].

В качестве эталонных образов (Рис.2) выступают графические файлы разрешением 11x17 пикселей с изображенными на них ЛА различных типов (вид сверху). Входные данные для НС необходимо представить в виде вектора-столбца размерностью $[N,1]$, где N – число признаков (пикселей). Следовательно, двумерный массив $[N1,N2]$, формируемый при считывании графического файла, необходимо конвертировать в соответствующий вектор-столбец.

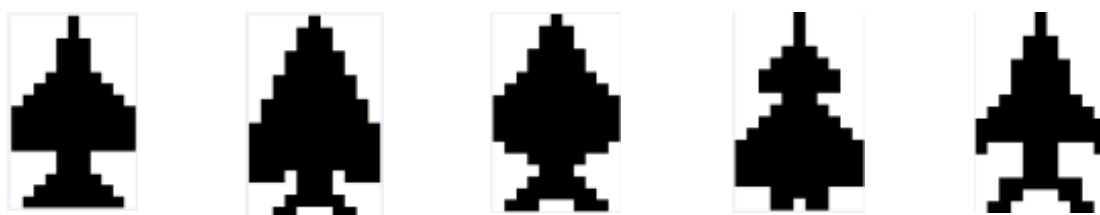


Рис.2 - Эталонные образы

Формирование обучающих образов производилось путем случайного искажения определенного количества пикселей в эталонных образах, считываемых из графических файлов. Обучение осуществлялось на 100 обучающих образах с коэффициентом искажения равным 0,2, так как большее искажение обучающей выборки может привести к переобучению НС. Для проверки работоспособности сети и получения статистики распознавания были сгенерированы тестовые образы с коэффициентом искажения, находящимся в пределах от 0,2 до 0,9 (Рис.3).

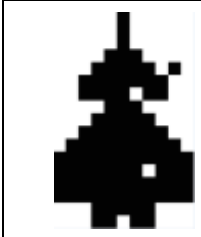
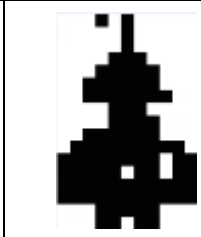
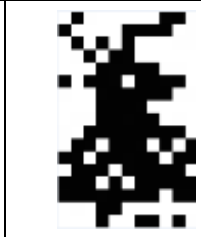
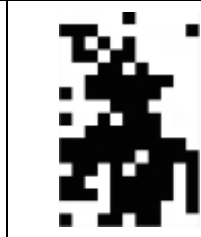
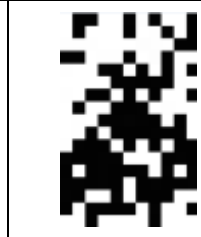
					
0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9
100%	100%	100%	100%	95%	89%

Рис.3–Тестовые образы с указанной степенью искажения и вероятность их успешного распознавания НС (%)

Выбор оптимального количества нейронов в скрытом слое и настройка других параметров НС позволили получить высокий процент успешного распознавания тестовых образов. Как видно из рис.3, спроектированная НС успешно распознает даже сильно зашумленные изображения. Данный факт говорит о том, что применение НС для распознавания образов ЛА на фоне подстилающей поверхности является весьма перспективной технологией и требует дальнейшей проработки. Обращаясь к анализу реальных радиолокационных изображений подстилающей поверхности можно выделить следующие проблемы, которые необходимо решить: 1) большое разрешение реального радиолокационного изображения существенно влияет на скорость работы НС; 2) различные размеры и ориентация ЛА на изображении; 3) наличие шумов и посторонних крупногабаритных предметов в непосредственной близости к ЛА; 4) необходимость распознавания цветного изображения и определение не только типа ЛА, но и принадлежность к определенному государству.

Данные проблемы можно решить применением как более совершенных типов НС, так и различных видов предварительной обработки радиоизображений.

Список литературы

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. : Пер. с англ. -М. : 000 "И.Д. Вильямс", 2006.
2. Widrow B. and S.D. Stearns. Adaptive Signal Processing, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2005.
3. Principe J.C., Euliano N.R., Lefebvre W.C. Neural and Adaptive Systems. Fundamentals Through Simulations. New York. John Wiley & Sons Inc. 2000.
4. Медведев В.С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. 630 с.
5. Иванников В., Ланнэ А. Matlab для DSP. Нейронные сети: графический интерфейс пользователя [Электронный ресурс]. URL: http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/01_08/1.htm
6. Шеремет А.И., Перепелица В.В., Денисова А.М. Проектирование нейронной сети для распознавания символов в программной среде MATLAB [Электронный ресурс]. URL: <http://nauka.zinet.info/13/sheremet.php>
7. Demuth H., Beale M. Neural Network Toolbox. For Use with MATLAB. The MathWorks Inc. 1992-2000.

05.11.15

Г.М. Мучкаева, С.С. Манжиев, П.С. Хотамов, Б.О. Балтыков, К.К. Хамгаев, Н.Н. Левгеев, Д.В. Сангаджиев

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,
инженерно-технологический факультет,
кафедра агроинженерии,
Элиста, galya_2508@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-152-154

Рассмотрены источники погрешностей, оказывающие влияние на точность измерений. Исследованы закон распределения систематической погрешности и оценка смещения среднего при внесении поправок в результаты измерений.

Ключевые слова: точность измерения, систематическая погрешность, метод измерений, среднее квадратическое отклонение, дисперсия, поправка.

Точность измерений показывает качественную характеристику измерений, воспроизводящую близость полученных результатов к истинному значению величины, полученной в процессе измерений. Оценку точности в количественном виде возможно осуществить посредством погрешности выполняемых измерений [1]. Качественная характеристика измерительной информации при этом определяется уровнем метрологического обеспечения технологических процессов.

Каждый измерительный опыт выполняется с определённой погрешностью, которая оказывает непосредственное влияние на окончательный итог измерительного опыта и представляет возможным определить лишь приближенные характеристики измеряемой величины. Систематическая погрешность измерения не изменяется или выполняет закономерно переменяющиеся функции при повторяющихся измерительных опытах одной и той же физической величины. Данный вид погрешности появляется и исключается на всевозможных периодах выполнения измерительных опытов.

Перед тем как приступить к проведению измерительных опытов, устраняют источники возникновения погрешностей. Здесь подразумевается и защита средств, применяемых в измерении и объекта измерений от непосредственного влияния источника возникновения погрешностей, и исключение этого источника. Предупредить возникновение температурной погрешности возможно путем поддержания определённых параметров температуры с пределами колебаний, возможно допускаемыми [2].

Также необходимо учитывать техническую или метрологическую неисправность средства, применяемого в измерении. Здесь привести к снижению величины погрешности возможно посредством проведения ремонта, настройки средства и последующего процесса поверки.

Другой метод повышения точности, содействующий обнаружению, изъятию или уменьшению метрологических отказов в используемых средствах измерения, предполагает наименование «Внедрение способов контроля работоспособного состояния средств измерения в процессе их эксплуатации». «Замена менее точного средства измерений на более точное» применяется в случае наличия составляющих погрешности измерения, вызываемых применяемым измерительным средством и более выраженный эффект осуществляется в случае преобладания основной погрешности средства, используемого в процессе измерения [3]. Здесь необходимо учитывать класс точности средств.

Если же в наибольших объемах находятся дополнительные погрешности средств измерения, которые определяются действительными значениями внешних влияющих

величин, отличающихся от нормальных значений, прописанных в соответствующих нормативных документах, используют другой метод уменьшения погрешности измерений, характеризующийся ограничительными барьерами условий эксплуатации средства, используемых в процессе измерений. Поэтому снижение величин дополнительных погрешностей специфично для зданий центральных пунктов управления производствами. Здесь электромагнитные экраны выполняют функцию предохранения от влияния полей электромагнитного характера, а посредством специальных устройств поддерживаются в нужных интервалах такие параметры, как влажность воздуха и температура.

Изменить параметры точности измерений в нужном русле возможно посредством выполнения градуировки каждого измерительного средства. Такой метод повышения точности применяется в ситуациях, когда статическая характеристика прибора оказывается нелинейной или близкой к нелинейной, но в конкретных интервалах измерения систематическая характеристика погрешности переменяется совершенно случайным образом от средства к средству данного типа так, что настройка не даёт возможности снизить основную характеристику погрешности до ее предельных допускаемых значений.

Изъятие погрешностей, несущих переменный или прогрессирующий характер, в процессе измерительного опыта производят посредством выполнения наблюдений четное количество раз сквозь полупериоды, а систематических погрешностей постоянного характера – методом противопоставления, замещения, компенсации по знаку [2].

Использование поправок при получении окончательного результата измерений является распространённым способом изъятия систематической погрешности Δ_c . Поправка равноценна по величине систематической составляющей погрешности, имеет обратный знак и складывается с итогом измерения

$$q = -\Delta_c \quad (1)$$

Значения Δ_c и q могут характеризоваться как случайным образом, так и детерминированным, и несут прямую связь от условий, в которых выполняется измерительный эксперимент. В случае, если имеет место только погрешность средства измерений, то Δ_c будет нести детерминированный характер. Если имеет место диапазон разных значений Δ_c , то она будет характеризоваться случайной величиной [2].

Для описания случайного характера Δ_c применяют оценки её результата многократных значений $M[\Delta_c]$ и дисперсии $D[\Delta_c]$, по которым определяют заданный закон плотности распределения $f[\Delta_c]$ (рис. 1).

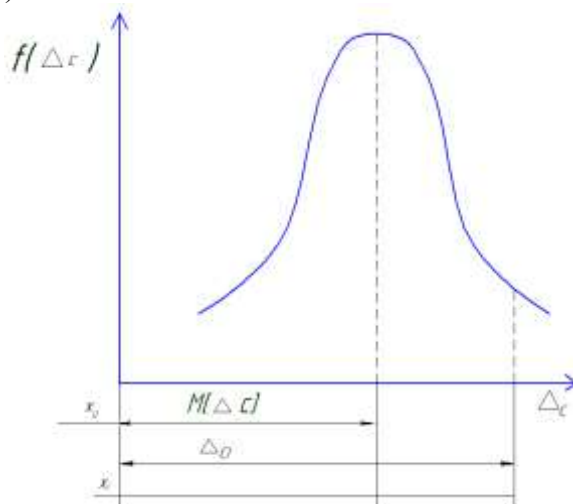


Рис. 1. – Закон распределения систематической погрешности

Значение поправки $q = -M[\Delta_c]$ и ее дисперсии $D[\Delta_c]$ показывают неопределённость составляющей Δ_c систематического характера при применении определенного измерительного средства. При значении $D[q] = 0$ поправка q будет нести детерминированный характер. То есть показаниями для введения поправки будут служить соотношения значений q , дисперсии случайной составляющей $D[\Delta]$ и количества измерений n . Для этих целей

применим вероятностный метод Литвинова [1].

Допустим для определённых обстоятельств измерений определены оценки p , q , $D[q]$, $D[\Delta]$. За значение, полученное в результате опыта, будем считать неисправленное среднее арифметическое $\bar{x}$ ряда $x_1, x_2, \dots, x_n$ со средним квадратическим отклонением

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Если применить значение поправки q , то за действительный результат измеряемой величины считают исправленное среднее значение

$$x_{и.с} = \bar{x} + q \quad (3)$$

Тогда величина дисперсии такого значения $x_{и.с}$ будет равна

$$D[x_{и.с}] = \frac{\bar{\sigma}^2}{n} + D[q] \quad (4)$$

Значения x и $x_{и.с}$ выполняют роль величин случайного характера и снабжены своими функциями плотности $\varphi(\bar{x})$ и $\varphi(x_{и.с})$ (рис. 2).

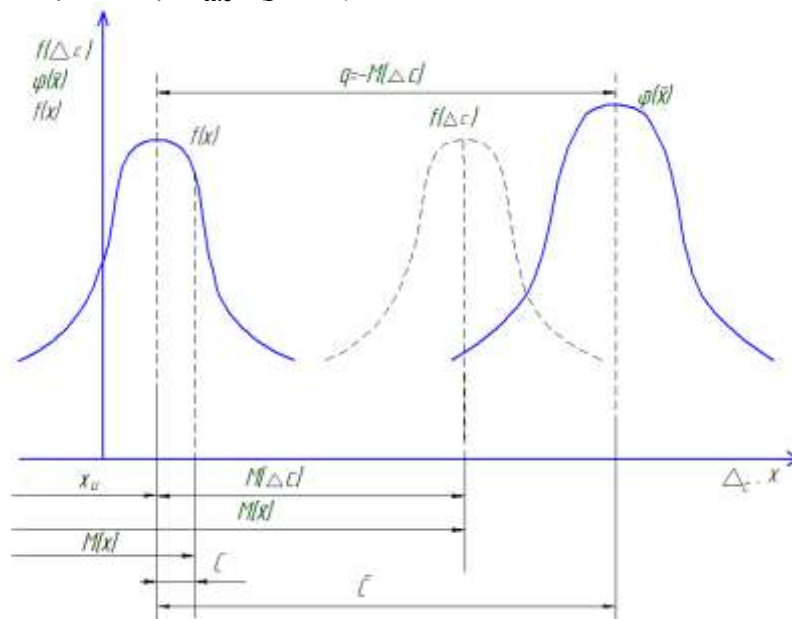


Рис. 2. – Оценка смещения среднего

Оценки x и $x_{и.с}$ смещаются относительно истинного значения $x_{и}$ из-за присутствия погрешности систематического характера и неопределенности значения q :

$$\bar{c} = M[\bar{x}] - x_{и}; \quad c_{и.с} = M[x_{и.с}] - x_{и} \quad (5)$$

В этом случае

$$M[(\bar{x} - x_{и.с})^2] = D[x] + (M[\bar{x}] - x_{и})^2 \quad (6)$$

Для получения оценки более точной рассматривается показатель относительной эффективности:

$$e = \frac{M[(x_{и.с} - x_{и})^2]}{M[(\bar{x} - x_{и})^2]} = \frac{D[x_{и.с}] + c_{и.с}^2}{D[\bar{x}] + \bar{c}^2} \quad (7)$$

Если значение $e < 1$, то оценка $x_{и.с}$ исправленная будет более точной, чем $\bar{x}$, то возникает необходимость учитывать поправку. Если значение $e > 1$, то оценка $\bar{x}$ будет выражаться более точно. Оценки $\bar{x}$ и $x_{и.с}$ по точности будут равны.

Список литературы

1. Мучкаева Г.М. Совершенствование методов повышения точности измерений при наличии случайных погрешностей / Г.М. Мучкаева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – №2. – С. 50-52.
2. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для бакалавров. – 2-е изд. - М.: ИД Юрайт, 2013. - 838 с.
3. РМГ 64-2003. ГСП. Обеспечение эффективности при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений.

05.11.00

А.Р. Насыбуллин, Р.В. Фархутдинов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева – КАИ,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, aydar.nasybullin@mail.ru

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ КОАКСИАЛЬНОЙ БРЭГГОВСКОЙ СВЧ СТРУКТУРЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-155-159

В статье предложен подход к описанию характеристик периодической СВЧ структуры в коаксиальном волноводе, используемой как датчик для определения диэлектрических параметров жидкостей. Описанный метод использует аппарат матричного анализа и описание неоднородностей на основе квазистатического приближения. Неоднородности в виде ячеек в диэлектрике коаксиального волновода характеризуются понятиями «эффективной» диэлектрической проницаемостью и моментами отверстий во внешнем проводнике волновода.

Ключевые слова: СВЧ брэгговская структура, коаксиальный волновод, датчик, матричный метод, метод малых апертур.

Периодические структуры с эффектом возникновения запрещенных зон, обусловленных брэгговским отражением, встречаются во многих областях науки и техники. Наибольшее распространение подобные элементы получили в оптическом диапазоне и именно в оптике впервые создаются измерительные преобразователи на основе волоконных решеток Брэгга и фотонных кристаллов. В радиодиапазоне традиционно эффекты брэгговского рассеяния использовались при создании фильтрующих схем. В последнее время интерес к радиочастотным брэгговским структурам возобновляется в связи с изучением свойств метаматериалов, в том числе для решения измерительных задач [1-4]. Использование электромагнитного поля СВЧ в измерительных задачах имеет особое значение при создании датчиков для контроля параметров технологических процессов, в первую очередь связанных с определением свойств материалов и веществ, зависящих от электрофизических параметров. Существующие методы радиоволнового контроля можно условно разделить на апериодические и резонансные, первые основаны на анализе изменения параметров электромагнитных волн при прохождении или отражении от исследуемого объекта, во втором используется влияние объекта на резонансные характеристики электродинамических структур. Брэгговские структуры в качестве измерительных преобразователей имеют общие свойства как с первыми, так и со вторыми. Специфика задачи технологического контроля накладывает определенные ограничения на структуру СВЧ датчика, вызванные требованиями обеспечения малости габаритов, монолитности конструкции, отсутствия внешнего излучения, что ограничивает выбор направляющих систем для брэгговских элементов. С этих позиций наиболее предпочтительны линии передач СВЧ с поперечными электромагнитными волнами, например, в коаксиальном волноводе [1].

Брэгговская структура в коаксиальном волноводе образуется системой внутренних периодических неоднородностей. Синфазность сложения отраженных от нерегулярностей волн, приводящая к образованию резонанса в характеристике коэффициента отражения структуры, наблюдается при выполнении условия Брэгга, согласно которому резонанс соответствует длине волны в волноводе, равной удвоенному значению пространственного периода следования неоднородностей. Например, для варианта коаксиального кабеля неоднородностями могут выступать периодические ячейки во внутреннем диэлектрике. Коаксиальные брэгговские структуры (КБС) могут быть применены для оценки

диэлектрических параметров жидких сред при заполнении ячеек волновода. Измерительными параметрами будут являться частотные характеристики коэффициентов передачи и отражения брэгговской структуры, поэтому следует рассмотреть вопрос о методе расчета характеристик.

Структуру коаксиальной брэгговской СВЧ структуры можно представить, как чередование участков однородного коаксиального волновода и участков с неоднородностью в виде цилиндрических ячеек во внешнем проводнике и диэлектрическом заполнении. В этом случае для математического описания удобно использовать распространенный в теории цепей с распределенными параметрами метод декомпозиции на подсхемы с использованием матричного анализа.

Значения элементов матрицы рассеяния для участка с неоднородностью можно оценить приближенно, используя понятие «эффективной» комплексной диэлектрической проницаемости в области неоднородности. Подход заключается в замене участка коаксиального волновода с цилиндрической ячейкой участком волновода с однородным диэлектриком, электрические параметры которого являются усредненными величинами и длиной отрезка, равной диаметру ячейки. «Эффективное» значение относительной комплексной диэлектрической проницаемости неоднородности для варианта, соответствующего максимальной глубине ячейки, может быть определено из соотношения для параллельного соединения конденсаторов (рис. 1а) с различными диэлектриками [5]:

$$\epsilon_{\text{эф}} = \frac{\rho}{2(R+r)} \epsilon_1 + \left(1 - \frac{\rho}{2(R+r)}\right) \epsilon_2 \quad (1)$$

где ϵ_1 , ϵ_2 – относительные комплексные диэлектрические проницаемости заполнения ячейки и внутреннего диэлектрика коаксиального волновода, ρ – радиус ячейки, r – радиус внутреннего проводника, R – радиус внешнего проводника.

Для случая произвольной глубины ячейки необходимо прибегнуть к выражениям для последовательно-параллельного соединения емкостей (рис. 1б):

$$\epsilon_{\text{эф}} = \left(1 - \frac{\rho}{2(R+r)}\right) \epsilon_2 + \frac{\rho \epsilon_1 \epsilon_2 (R-r)}{2(R+r)(\epsilon_1(R-r-l) + \epsilon_2 l)} \quad (2)$$

где l – глубина ячейки.

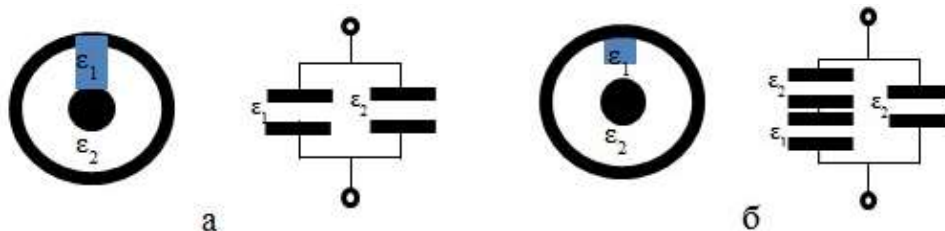


Рис. 1- К методу «эффективных» параметров неоднородности

Для определения общей матрицы передачи КБС в такой постановке необходимы четыре матрицы передачи: отрезка волновода, соответствующего участку с неоднородностью; отрезка волновода, соответствующего основной линии; перехода от основной линии к линии с неоднородностью; перехода от линии с неоднородностью на основную линию.

Вид указанных матриц передачи представляется как

$$\begin{aligned} [T_1] &= \begin{bmatrix} e^{j\gamma_1 l_1} & 0 \\ 0 & e^{-j\gamma_1 l_1} \end{bmatrix}, [T_2] = \begin{bmatrix} e^{j\gamma_2 l_2} & 0 \\ 0 & e^{-j\gamma_2 l_2} \end{bmatrix}, \\ [T_3] &= \begin{bmatrix} \frac{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}{2\sqrt{\dot{Z}_2 \dot{Z}_1}} & \frac{\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2}{2\sqrt{\dot{Z}_2 \dot{Z}_1}} \\ \frac{\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2}{2\sqrt{\dot{Z}_2 \dot{Z}_1}} & \frac{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}{2\sqrt{\dot{Z}_2 \dot{Z}_1}} \end{bmatrix}, [T_4] = \begin{bmatrix} \frac{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}{2\sqrt{\dot{Z}_2 \dot{Z}_1}} & \frac{\dot{Z}_2 - \dot{Z}_1}{2\sqrt{\dot{Z}_2 \dot{Z}_1}} \\ \frac{\dot{Z}_2 - \dot{Z}_1}{2\sqrt{\dot{Z}_2 \dot{Z}_1}} & \frac{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}{2\sqrt{\dot{Z}_2 \dot{Z}_1}} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

где $\dot{Z}_1 = 377/\sqrt{\epsilon_1}$ и $\dot{Z}_2 = 377/\sqrt{\epsilon_2}$ – характеристические сопротивления ТЕМ волны в участке с неоднородностью и в участке основной линии, l_1 и l_2 – длины соответствующих отрезков, $\gamma_1 = \omega\sqrt{\epsilon_a \epsilon_{\text{эф}} \mu_a}$ – коэффициент распространения в участке с неоднородностью, $\gamma_2 = \omega\sqrt{\epsilon_a \epsilon_2 \mu_a}$ – коэффициент распространения в основной линии.

Общая матрица передачи коаксиального волновода с количеством периодических неоднородностей N запишется как:

$$[T] = \{[T_2][T_3][T_1][T_4]\}^N [T_2] \quad (4)$$

Для оценки погрешности, вносимой методом «эффективных» параметров неоднородности результаты вычислительных экспериментов для различных вариантов параметров диэлектрика, заполняющего ячейку, сравнивались с результатами компьютерного моделирования, рассчитанного методом конечных разностей во временной области в программе Microwave CST Studio. Рассматриваемая модель коаксиального волновода обладала внутренним диэлектриком с диаметром 11 мм и диэлектрическими параметрами $\epsilon=2,5$ и $\text{tg}\delta=0.001$ с, диаметр ячейки составлял 6 мм. На рис. 2 показаны частотные зависимости коэффициентов отражения и прохождения КБС для различных случаев заполнения цилиндрической ячейки.

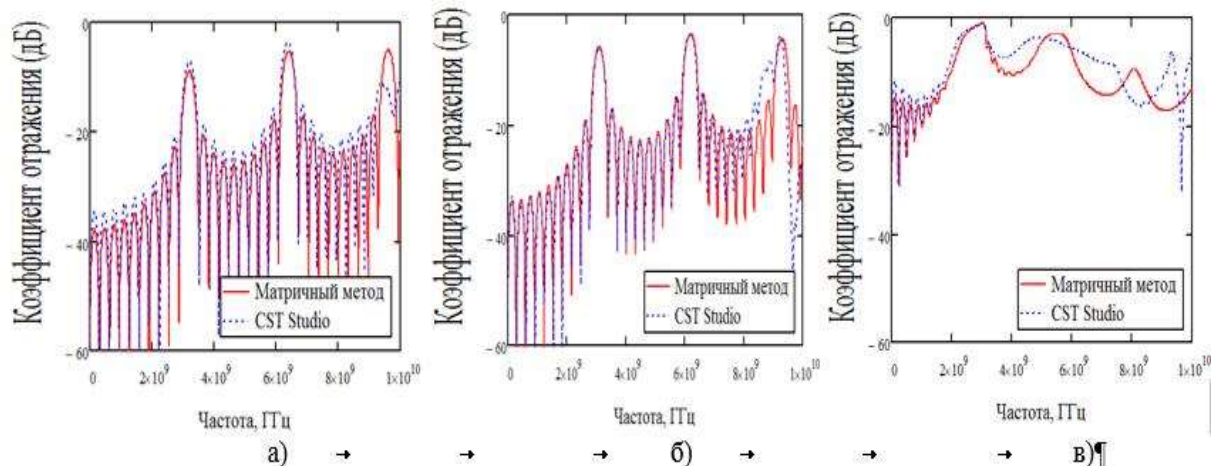


Рис. 2- Результаты вычислительного эксперимента для диэлектрика а) $\epsilon=1$ и $\text{tg}\delta=0$, б) $\epsilon=5$ и $\text{tg}\delta=0.05$, в) $\epsilon=30$ и $\text{tg}\delta=0.3$

Для количественной оценки сходимости двух методов найдены среднеквадратические отклонения двух дискретных функций, соответствующих частотным зависимостям коэффициента отражения (КО) и коэффициента передачи (КП), полученных разными методами (см. табл. 1).

Таблица 1– Влияние на сходимость результатов двух методов расчета БКС диэлектрической проницаемости ячейки

Параметры заполнения ячейки	Значения среднеквадратического отклонения (дБ)			
	Коэффициент отражения		Коэффициент прохождения	
	Частоты от 0 до 5 ГГц	Частоты от 5 ГГц до 10 ГГц	Частоты от 0 до 5 ГГц	Частоты от 5 ГГц до 10 ГГц
$\epsilon=1, \text{tg}\delta=0$	3,741	9,258	0,101	0,59
$\epsilon=5, \text{tg}\delta=0.05$	1,943	7,863	0,061	5,004
$\epsilon=10, \text{tg}\delta=0.1$	1,695	6,885	0,64	16,417
$\epsilon=15, \text{tg}\delta=0.15$	2,21	6,747	3,138	24,994
$\epsilon=20, \text{tg}\delta=0.2$	2,536	7,493	9,854	26,441
$\epsilon=30, \text{tg}\delta=0.3$	2,66	4,682	13,663	20,332

Исходя из представленных в таблице 1 результатов можно сделать следующие заключения:

- При увеличении частоты сходимость ухудшается как для КО, так и КП;
- Увеличение диэлектрической проницаемости ϵ и диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ заполнения ячейки относительно значений ϵ и $\text{tg}\delta$ внутреннего диэлектрика приводит к увеличению отклонения, при этом наиболее чувствительным к резкому увеличению диэлектрических свойств является КП;

• Ухудшение сходимости также наблюдается при уменьшении ε и $\text{tg}\delta$ диэлектрика, заполняющего ячейки, относительно значений ε и $\text{tg}\delta$ внутреннего диэлектрика.

Зависимость точности расчета от частоты во многом определяется соизмеримостью рабочей длины волны с размерами ячейки, поэтому следует провести анализ влияния диаметра ячейки на точность расчета матричного метода «эффективных» параметров неоднородности. Таблица 2 содержит значения среднеквадратических отклонений характеристик КО и КП в диапазоне частот до 5 ГГц. Проводя анализ сходимости результатов видно, что ухудшению точности расчета методом «эффективных» параметров неоднородности при увеличении диаметра ячейки подвержены как КО, так и КП. При этом худшее значение отклонения показывает КО.

Таблица 2 – Влияние на сходимость результатов двух методов расчета БКС диаметра ячейки

Диаметр ячейки, мм	Значения среднеквадратического отклонения (дБ)	
	Коэффициент отражения	Коэффициент прохождения
6	1,532	0,546
7	2,353	1,111
8	3,179	1,963
9	4,042	3,157

В силу малости диаметра отверстий по сравнению с резонансной длиной волны методы, основанные на приближении Гюйгенса-Кирхгофа не работают, поэтому подобные неоднородности в линии передачи могут быть рассмотрены в рамках теории малых апертур Бете [6]. Согласно данной теории отверстия малых электрических размеров произвольной формы в бесконечном экране эквивалентны электрическим и магнитным диполям, действующим по обе стороны экрана.

Электрические моменты диполей в 1 и 2 области будут определяться как:

$$\vec{p}_2 = \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \overline{\alpha}_e (\varepsilon_1 \vec{E}_1^r - \varepsilon_2 \vec{E}_2^r), \vec{p}_1 = -\vec{p}_2, \quad (5)$$

где E_1^r и E_2^r , невозмущенные отверстием векторы напряженности электрического поля в 1 и 2 области, $\overline{\alpha}_e$ – электрическая восприимчивость, являющаяся числовым параметром и зависящая от формы апертуры и экрана, а также металлических объектов, расположенных вблизи.

Аналогичные магнитные моменты запишутся как:

$$\vec{m}_2 = \frac{2\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} \overline{\alpha}_m (\vec{H}_1^r - \vec{H}_2^r), \vec{m}_1 = -\vec{m}_2 \quad (6)$$

Значения электрической $\overline{\alpha}_e$ и магнитной $\overline{\alpha}_m$ восприимчивости рассчитаны для отверстий простой формы. Рассмотрим случай отверстия во внешнем проводнике коаксиального волновода, где область 1 – внутренняя часть волновода, область 2 – внешняя. Электрическое поле в каждой области можно записать как:

$$\vec{E}_1^r = \vec{E}_\rho + \vec{E}_{e1}, \vec{E}_2^r = \vec{E}_{e2} \quad (7)$$

где $\vec{E}_{e1}$ и $\vec{E}_{e2}$ – электрические поля первого и второго диполя.

Аналогично записываются выражения для магнитного поля:

$$\vec{H}_1^r = \vec{H}_\varphi + \vec{H}_{m1}, \vec{H}_2^r = \vec{H}_{m2} \quad (8)$$

где $\vec{E}_\rho$ и $\vec{H}_\varphi$ – определяют поля основного типа волны в коаксиальном волноводе:

$$\vec{E}_\rho = Z_0 \frac{I}{2\sqrt{\varepsilon_1}\pi R} e^{-jk_1 z_0}, \vec{H}_\varphi = \frac{I}{2\pi R} e^{-jk_1 z_0} \quad (9)$$

Для определения полей электрического и магнитного диполя в точке расположения отверстия приходится прибегать к разложению полей в ряд Тейлора и выбирать компоненты, не зависящие от расстояния:

$$\vec{E}_e = \vec{E} e^{-jkr} = \frac{\vec{p}}{4\pi\varepsilon} \left[\frac{k^2}{r} + \frac{2}{r^3} - \frac{2jk^3}{3} - \frac{k^4 r}{3} + \dots \right] \vec{\rho}, \quad (10)$$

$$\vec{H}_m = \frac{\vec{m}}{4\pi\mu} \left[\frac{k^2}{r} + \frac{2}{r^3} - \frac{2jk^3}{3} - \frac{k^4 r}{3} + \dots \right] \vec{\rho} \quad (11)$$

Отсюда следует, что электрические и магнитные диполи будут описываться следующими выражениями для полей:

$$\vec{E}_{e1} = \frac{-j\vec{p}_1 k_1^3}{6\pi\epsilon_1}; \vec{E}_{e2} = \frac{-j\vec{p}_2 k_2^3}{6\pi\epsilon_2}; \vec{H}_{m1} = \frac{-j\vec{m}_1 k_1^3}{6\pi\mu_1}; \vec{H}_{m2} = \frac{-j\vec{m}_2 k_2^3}{6\pi\mu_2} \quad (12)$$

Для учета апертур в матричном методе описания КБС необходимо определить выражения для активной и реактивной проводимости или сопротивления излучающих диполей. Активная составляющая сопротивления, как сопротивление излучения, определяется исходя из изученной мощности электрического и магнитного диполей:

$$P_e = \frac{1}{6}ck_2^4|\vec{p}_2|^2 = \frac{1}{6}ck_2^4 \left| \frac{4l \frac{\epsilon_2 a^3 \sqrt{\epsilon_1} Z_0}{3\pi R(\epsilon_1 + \epsilon_2)} e^{-jk_1 l_0}}{1 - \frac{j}{6\pi}(k_1^3 + k_2^3)} \right|^2, \quad (13)$$

$$P_m = \frac{1}{6}ck_2^4|\vec{m}_2|^2 = \frac{1}{6}ck_2^4 \left| \frac{8l \frac{\mu_1 a^3 \sqrt{\epsilon_1} Z_0}{3\pi R(\mu_1 + \mu_2)} e^{-jk_1 l_0}}{1 - \frac{j}{6\pi}(\frac{k_1^3}{\mu_1} + \frac{k_2^3}{\mu_2})} \right|^2 \quad (14)$$

Исходя из общих выражений для излученной мощности:

$$R_{\Sigma e} = \frac{2P_e}{I^2}, R_{\Sigma m} = \frac{2P_m}{I^2}, R_{\Sigma} = R_{\Sigma e} + R_{\Sigma m} \quad (15)$$

Реактивное сопротивление выразим как:

$$B = -j \frac{2\pi}{\lambda_S} (p_2 E_p E_{e2} + m_2 H_\phi H_{m2}) \quad (16)$$

Используя А-матрицу для последовательного сопротивления, которым является отверстие в экране:

$$[A_a] = \begin{bmatrix} 1 & Z_a \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

находим окончательное выражение для Т-матрицы неоднородного участка линии.

Точность аппроксимации зависит от степени отличия идеальной ситуации в виде круглого отверстия в бесконечном экране от реальной структуры. Коррекция формы реальной апертуры осуществляется расчетом электрической и магнитной восприимчивости отверстия с помощью численных методов. В качестве достоинства рассмотренного метода следует указать, что выражения для элементов матрицы рассеяния СВЧ структуры получаются в аналитическом виде. Данный факт используется в алгоритмическом обеспечении измерительных устройств, функционирующих на основе преобразовательных свойств брэгговских структур.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9.

Список литературы

1. Морозов Г.А. Коаксиальные брэгговские СВЧ-структуры в сенсорных системах / Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Севастьянов А.А., Фахрутдинов Р.В. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2014. Т. 17. № 3. С. 65-70.
2. Насыбуллин А.Р. Преобразовательные элементы на основе полосковых брэгговских структур для СВЧ датчиков параметров технологических процессов // Научно-технический вестник Поволжья Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2016, №3, С.129-131
3. Усанов Д.А. Измерения электрофизических характеристик полупроводниковых структур с использованием СВЧ фотонных кристаллов / Никитов С.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Латышева Е.В. // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2016. Т. 21. № 2. С. 187-194.
4. Усанов Д.А. СВЧ фотонные кристаллы - новый тип функциональных структур, применяемых в радиоэлектронике / Скрипаль А.В., Мерданов М.К., Пономарев Д.В., Евтеев С.Г. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2016. Т. 19. № 3. С. 17-24.
5. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов // М.: Энергия, 1973. – 328 с.
6. Шаров Г.А. Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн // М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 640 с.

05.11.00

И.В. Нелин к.т.н., Д.А. Охотников к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
факультет №4 «Радиоэлектроника летательных аппаратов»,
кафедра 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиолокационное оборудование»,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПОСТОРОННИХ В ДВИЖУЩЕМСЯ ТРАНСПОРТЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-160-163

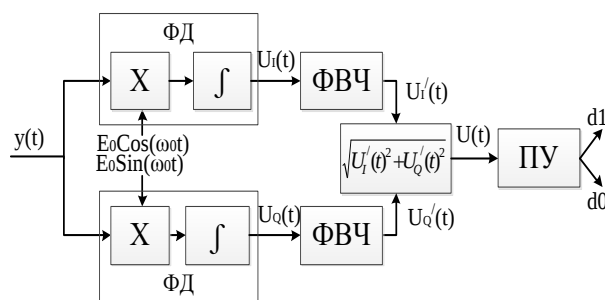
Актуальность обнаружения посторонних лиц в подвижном транспорте не вызывает сомнений при транспортировке особо опасных грузов, ядовитых отходов, дорогостоящих объектов. Современные технические средства позволяют как проникнуть в движущийся транспорт, так и покинуть его с его содержимым. В связи с этим разработка современных средств обнаружения и оповещения о несанкционированном проникновении требует постоянного усовершенствования подходов к проектированию.

Ключевые слова: *транспортировка ценных грузов, обнаружение живого человека, селекция сигналов, местные предметы.*

Основными проблемами при решении задачи обнаружении человека в движущемся транспортном средстве (ТС) являются плотная наполненность обследуемого контейнера грузом, что сильно снижает эффективность оптических систем, а также механическая вибрация кузова при движении, что осложняет работу систем селекции движущейся цели (СДЦ) относительно кузова ТС.

Использование радиосистем со сверхширокой полосой (СШП) излучаемого сигнала в целях обнаружения человека достаточно широко раскрыто в литературе [1]. Такие системы могут позволить решить проблему оптической непроницаемости груза, так как большинство веществ радиопрозрачны. В случае присутствия в контейнере радионепрозрачных материалов, таких как металл, возможно использование свойства переотражения электромагнитной волны, что также позволит обнаружить человека в пространствах не занятых грузом. Проблема наличия большого числа местных предметов (МП) может быть решена подавлением постоянной составляющей [2, 3], однако механические вибрации кузова могут увеличить ложные срабатывания обнаружителя, в связи с чем, вопрос организации фильтра должен быть рассмотрен отдельно. Также необходимо использованием пространственной селекции, что возможно при наличии достаточной ширины частотной полосы используемого сигнала.

Схема обнаружителя СШП радиолокатора приведена на рис.1.



ФД – фазовый детектор, ФВЧ – фильтр высоких частот, ПУ – пороговое устройство

Рис. 1 - Структура селектора движущейся цели с квадратурными каналами

В качестве СШП сигнала в локации используется сверхкороткий импульс с частотным заполнением на частоте f_0 . При движении злоумышленника внутри ТС за счет эффекта Доплера частота отраженного сигнала f_c отличается от частоты излучаемого. Выделение доплеровских частот сигналов, принятых от движущегося человека, производится в обнаружителе. Так как начальная фаза эхосигнала случайна, сигнал на выходе коррелятора может отсутствовать, при наличии его на входе, поэтому в приемнике используются два квадратурных канала. Опорные сигналы квадратурных каналов сдвинуты друг относительно друга на $\pi/2$. На выходе корреляторов фильтры высоких частот выделяют сигнал доплеровской частоты. Далее происходит объединение квадратурных компонент.

Периодическую последовательность зондирующих импульсов с амплитудой E_0 и частотой заполнения ω_0 можно представить в следующем виде:

$$U_0(t) = E_0 \sum_k \exp\left(-\frac{\pi(t-kT_n)^2}{\tau^2}\right) \sin(\omega_0(t - kT_n)).$$

Если объект неподвижен, то отраженный сигнал $U_{\text{вх}}(t)$ вернется к радару с амплитудой E_1 через время $t_R=2R_1/c$ (c - скорость света, R_1 - расстояние до объекта), со случайной фазой отражения φ :

$$U_{\text{вх}}(t) = E_1 \sum_k \exp\left(-\frac{\pi(t-kT_n-2R_1/c)^2}{\tau^2}\right) \sin(\omega_0(t - kT_n - 2R_1/c) + \varphi).$$

В случае если сигнал отразился от нескольких местных предметов, сигнал $U_{\text{вх}}(t)$ является суммой отраженных сигналов от каждого объекта. Примем, что все отражатели в зоне действия РЛС можно считать «точечными» («блестящим точками»). Поскольку на частоте $f_0 = 6500$ МГц импульс длительностью 2...3 нс содержит не менее 15...20 периодов несущей частоты, его форма мало меняется при излучении, распространении, отражении и приеме [4]. Тогда эхосигнал на входе приемника:

$$U_{\text{вх}}(t) = \sum_i E_i \sum_k \exp\left(-\frac{\pi(t-kT_n-2R_i/c)^2}{\tau^2}\right) \sin(\omega_0(t - kT_n - 2R_i/c) + \varphi_i),$$

где: E_i - амплитуда сигнала, отраженного от i -го МП; R_i - расстояние до i -го МП; φ_i - случайная фаза отражения от i -го МП.

Разность фаз $\Delta\varphi_i$ между колебаниями излученного и отраженного от произвольного i -го МП сигналов равна:

$$\Delta\varphi_i = \omega_0(t - kT_n) - \omega_0\left(t - kT_n - \frac{2R_i}{c}\right) - \varphi_i = 2\omega_0 \frac{R_i}{c} - \varphi_i = \left(\frac{4\pi R_i}{\lambda_0}\right) - \varphi_i,$$

где: λ_0 - длина волны излученного сигнала.

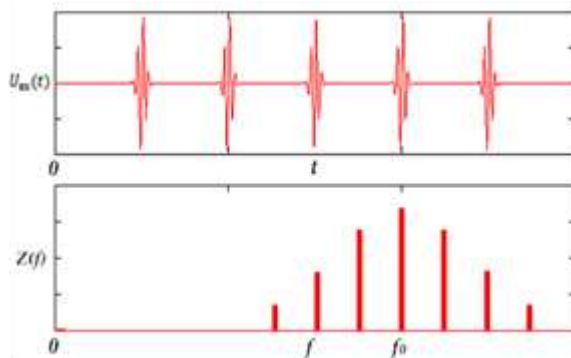


Рис. 2 - Сигнал и его спектр на входе приемника при отражении от МП

В корреляторе сигнал $U_{\text{вх}}(t)$, отраженный от объектов и принятый с задержкой $2R_i/c$, перемножается с опорным сигналом. Полученное произведение сигналов интегрируется в течение времени T ($T \gg T_0$, где T_0 - период несущего колебания) (рис. 2).

Тогда на выходе коррелятора с учетом прихода опорного импульса одновременно с отраженным получаем:

$$U_{\text{корр}}(t) = E_0 \int_t^{t+T} \sum_i E_i \sum_k \exp \left(-\frac{2\pi \left(t - kT_{\Pi} - \frac{2R_1}{c} \right)^2}{\tau^2} \right) \left(\frac{\cos(\Delta\varphi_i)}{2} - \frac{\cos(2\omega_0(t - t - kT_{\Pi} - \Delta\varphi_i))}{2} \right)$$

Так как время интегрирования T много больше периода несущего колебания, то слагаемым с удвоенной частотой $\cos(2\omega_0(t - kT_{\Pi} - \Delta\varphi_i))/2$ можно пренебречь. В результате работы интегратора как фильтра на выходе коррелятора получаем последовательность СШП видеоимпульсов:

$$U_{\text{корр}}(t) = \frac{E_0 T}{2} \sum_i E_i \sum_k \exp \left(-\frac{2\pi \left(t - kT_{\Pi} - \frac{2R_1}{c} \right)^2}{\tau^2} \right) \cos(\Delta\varphi_i)$$

Работа ФНЧ заключается в выделении узкополосного сигнала, пропорционального изменениям максимальных значений последовательности СШП видеоимпульсов: $U_I(t) = \frac{E_0 T}{2} \sum_i E_i \cos(\Delta\varphi_i)$.

Сигнал, отраженный от МП: $U_I(t) = \frac{E_0 T}{2} \sum_i E_i \cos(\Delta\varphi_i) + \frac{EE_0 T}{2} \cos(\Delta\varphi_i)$.

Обозначим слагаемое от МП P_I : $P_I = \frac{E_0 T}{2} \sum_i E_i \cos(\Delta\varphi_i)$.

Тогда: $U_I = \frac{EE_0 T}{2} \cos(\Delta\varphi_i) + P_I$

Выход второго коррелятора $U_Q(t)$ соответственно: $U_I = \frac{EE_0 T}{2} \sin(\Delta\varphi_i) + P_Q$,

где $P_Q = \frac{E_0 T}{2} \sum_i E_i \sin(\Delta\varphi_i)$.



Рис. 3 - Автомобиль «MAN» с тентовым прицепом и радиолокатор

Для подтверждения возможности создания устройства был проведен натурный эксперимент. В качестве ТС использовался автомобиль «MAN» с 8-ми метровым тентовым прицепом (рис.3). Эксперимент проходил при движении автомобиля на разбитой грунтовой дороге для получения максимальных вибраций при езде. СШП радиолокатор крепился на стене прицепа неподвижным креплением.

Во время движения автомобиля по грунтовой дороге человек осуществлял движение вдоль кузова в прямом и обратном направлении. На радиолокаторе был выставлен строб шириной 0.3 метра, который соответствует продолжительности излучаемого импульса – 2 нс. За период наблюдения человек дважды пересекал строб: первый раз при движении вперед и второй раз при обратном движении. Сигнал, полученный из строба соответствующего дистанции 5.5 метра, приведен на рисунке 4

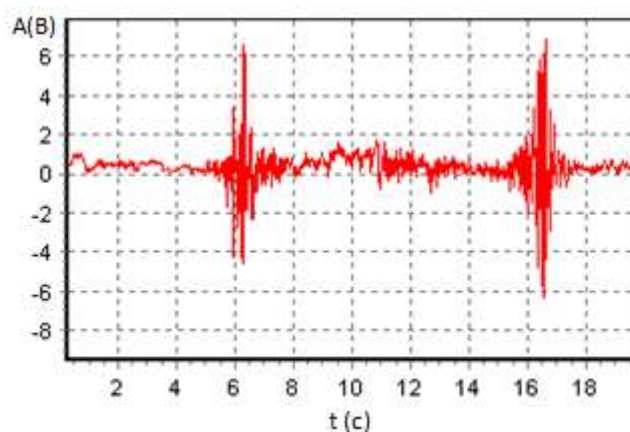


Рис. 4 - Сигнал, полученный из строба соответствующего дистанции 5.5 метра

На графике видны два всплеска на шестой и шестнадцатой секунде. Первый всплеск соответствует пересечению наблюдаемого строба идущим в кузове человеком по направлению к локатору. Второй всплеск соответствует пересечению человеком, идущим в обратном направлении этого же строба. Видно, что только на пересечение одного строба, человек, идущий с небольшой скоростью по кузову, требуется порядка 1 секунды. Также видно, что во время, когда человек находится на дистанциях менее чем положение исследуемого строба (с 8 по 15 секунды) амплитуда сигнала выше чем, когда человек на дистанциях превышающих положение строба (с 1 по 5 секунду). Это происходит из-за того, что сигнал, отразившийся от движущегося человека, переотражается от пола и стен кузова и регистрируется как сигнал, соответствующий исследуемой дистанции. Из двух вышесказанных замечаний можно сделать вывод, что в алгоритме обнаружения человека в движущемся ТС на пороговое устройство должна быть подана сумма амплитуд сигналов как по времени (период должен быть сопоставим со временем нахождения человека в кузове: десятки секунд), так и по всем стробам наблюдения.

Использование СШП радиолокатора для решения обнаружения проникновения внутрь ТС во время его движения позволяет решить две проблемы: оптическая непрозрачность груза не позволяет использовать видеокамеры, механические вибрации кузова ТС увеличивают вероятность ложной тревоги. Для принятия решения о наличии постороннего в кузове ТС на пороговое устройство необходимо подавать интегральное значение амплитуды по всем дистанциям наблюдения и за время сопоставимое с временем нахождения злоумышленника внутри ТС.

Список литературы

1. «Биорадиолокация» под редакцией Бугаева А.С., Ивашова С.И., Иммореева И.Я.
2. П.Н. Герасимов, Я.И. Корнев, И.В. Нелин, Д.А. Охотников. Обработка радиолокационных сигналов, отраженных от грудной клетки человека. Научно-технический вестник Поволжья №5 2012. Стр. 136 – 139.
3. И.Я. Иммореев, И.В. Нелин, Д.А. Охотников. Радиолокационное обнаружение живых объектов на фоне отражений от местных предметов. Научно-технический вестник Поволжья №5 2012. Стр. 194 – 197.
4. Финкельштейн М. И. Основы радиолокации: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1983. – 536 с. Ил.

05.11.00

И.В. Нелин к.т.н., М.К. Седанкин к.т.н., В.А. Скуратов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование»,
ФГБУ «ГНИИЦ РТ» МО РФ,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru, msedankin@yandex.ru

РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-164-166

Статья посвящена исследованиям радиометрических антенн и датчиков на их основе, применяемых в медицинских робототехнических комплексах. В работе приведены общие данные о назначении медицинских робототехнических комплексов и использовании в их составе радиометрических датчиков, а также произведен анализ вариантов конструкций датчиков и методологии их проектирования.

Ключевые слова: медицинская робототехника, радиометрический датчик, радиотермометрия, медицинские робототехнические комплексы.

Стремительное развитие робототехники побуждает исследователей и инженеров к созданию медицинских робототехнических комплексов (МРТК) [1]. Их применение, например, для военных целей, позволит решить ряд важных задач: повысить уровень безопасности медицинского персонала, автоматизировав поиск, эвакуацию и первую помощь раненым; уменьшить количество безвозвратных потерь; обеспечить использование телемедицины, что позволит сократить трудозатраты и риски, связанные с логистикой; обеспечить дистанционный мониторинг витальных функций и переход к персонализированной медицине; создать технологии и медицинские изделия двойного назначения и многое другое.

В общем случае МРТК включают в себя: транспортную базу – шасси или корпус любой конфигурации, предназначенные для применения в различной физической среде; навесное медицинское оборудование; информационно-измерительные средства (средства получения информации об окружающей среде, навигационная система и др.); систему защиты раненых, систему вооружения и пр.; энергетические установки (энергобаза). В составе медицинского оборудования для МРТК могут быть предусмотрены следующие медицинские изделия: аппараты искусственной вентиляции лёгких и наркоза; аспираторы; генераторы кислорода; система нагрева и климат-контроля с применением очистки воздуха; средства иммобилизации и фиксации раненых; бесконтактные устройства для оценки витальных функций раненого; ультразвуковые анализаторы; универсальные шприцы-дозаторы с системой дезинфекции; системы заморозки и купирования ран; устройства купирования повреждений головного мозга; устройства измерения температуры внутренних тканей и кожных покровов на основе микроволновой радиотермометрии (далее МР) и инфракрасной термографии и пр.

МР является пассивным контактным методом, позволяющим проводить функциональную диагностику организма человека на основе регистрации его собственного микроволнового излучения. Медицинским воплощением МР является РТМ-диагностика – медицинская технология, заключающаяся в измерении и экспертном анализе внутренней и кожной температуры тела [1]. Технология может использоваться с целью диагностики, контроля лечения, определения биологической активности, оценки температурных биомаркеров различных заболеваний и патологических состояний, времени смерти и пр. Измерение внутренней температуры осуществляется контактным способом с помощью микроволновых сенсоров (медицинских антенн), установленных на поверхности тела. Далее измеренная мощность пересчитывается в температуру в радиотермометре. Прибор обеспечивает точность измерения внутренней температуры $\pm 0,2-0,3$ °С, а для поверхностной – $\pm 0,15$ °С.

По всему миру выполнено огромное количество исследований [2-5], подтверждающих эффективность МР в различных областях медицины. Чтобы адаптировать МР для применения в военных целях, необходима разработка новых датчиков (сенсоров), являющихся фактическими медицинскими антеннами, конструкция которых позволит встроить их в диагностические средства МРТК. Также необходима миниатюризация всей приёмной аппаратуры. Антенны, используемые в маммологии, имеют большие габариты и не могут использоваться в составе МРТК. Для повышения эргономичности необходимо сократить размеры антенн, сделать их более дешевыми и по возможности из отечественных материалов. Таким образом, необходимо разработать более миниатюрные антенны, предложив новые технические решения в области антенной техники.

Обзор и методика проектирования радиометрических датчиков

В МРТК радиотермометрические системы могут применяться как на поле боя, так и в госпиталях и медицинских центрах. Системы могут быть использованы также как первичная функциональная, дополнительная или уточняющая диагностика, для контроля реанимационных мероприятий и терапии пациентов с поражениями головного мозга, для определения времени смерти военнослужащих [4], для контроля лечения различных заболеваний и последствий ранений, травм и других медицинских целей.

Подобные исследования предполагают разработку антенн, работающих в ближней зоне в среде биологических объектов (далее БО) с большими электрическими потерями. В настоящее время для проектирования медицинских датчиков применяются следующие типы антенн: печатные, волноводные, вибраторные. Волноводные антенны круглого и прямоугольного сечений представляют собой отрезок волновода, контактирующий с БО. Волноводная антенна соединена с входным каскадом радиотермометра с помощью коаксиального кабеля, поэтому на её выходе установлен СВЧ-разъём. В последнее время получили распространение печатные антенны, у которых излучатель напечатан непосредственно на подложке. Печатные антенны легче волноводных, меньше и дешевле, однако имеют высокие электрические потери. Печатную антенну проще зафиксировать на теле пациента и совместить с другими медицинскими приборами. Вибраторные антенны изготавливаются из тонкой пружинной проволоки. Эти антенны имеют хорошее согласование, компактны, имеют хороший контакт с телом, простую конструкцию и низкую стоимость. Основным недостатком этих антенн – низкая помехозащищённость. По сравнению с волноводными, вибраторные антенны имеют меньшую глубину измерения и высокие электрические потери.

При согласовании антенны с БО, температура T_{rad} , измеряемая прибором, определяется следующим соотношением:

$$T_{\text{rad}} = \int_{-\infty}^{\infty} T(r)W(r)dV \quad (1)$$

где $T(r)$ – термодинамическая температура БО, $W(r)$ – радиометрическая весовая функция.

$$W(r) = \frac{\frac{\sigma(r)}{2}|E(r)|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sigma(r)}{2}|E(r)|^2 dV} \quad (2)$$

где $E(r)$ – напряжённость электрического поля, создаваемого антенной в объёме БО, $\sigma(r)$ – электропроводность ткани БО. При радиотермометрическом исследовании происходит усреднение температуры под антенной с $W(r)$, которая определяется полем антенны $E^2(r)$ в ближней зоне и параметрами среды σ .

Исследование параметров антенны состоит из двух этапов. На первом этапе анализируется функция $E^2(r)$, на втором с помощью уравнения (1) рассчитывается внутренняя температура. Для анализа функции $E^2(r)$ необходимо решить краевую задачу для уравнений Максвелла. Они решаются в программе электродинамического моделирования, которая методом конечных разностей во временной области (FDTD) численно решает уравнения Максвелла для БО с учётом конструкции антенны. Сначала задается используемая для расчетов модель БО в виде многослойной структуры, каждый слой которой характеризуется опре-

делёнными параметрами электропроводности и диэлектрической проницаемости. Размер исследуемой области БО и толщина слоёв модели выбираются согласно анатомии исследуемого участка тела. Далее проводится расчёт распределения электрического поля в модели. Его анализ позволяет понять, где измеряется температура и каковы размеры области измерения, а также каков вклад различных слоёв БО в измеряемую температуру, но не позволяет определить насколько повысится ΔT_{rad} на проекции патологии. Для определения ΔT_{rad} на проекции опухоли необходимо рассчитать не только радиометрическую весовую функцию, но и поле физических температур при наличии патологии. Моделирование теплообменных процессов в БО при наличии опухоли и в её отсутствии проводится в программе мультифизического моделирования. Программы такого типа решают уравнение тепломассопереноса с учётом граничных условий методом конечных элементов (Finite Element Method, FEM).

В рамках проведенных исследований были разработаны несколько вариантов волноводных антенн различных размеров: двухдиапазонная $\varnothing 32$ мм и миниатюрные $\varnothing 22$, $\varnothing 15$, $\varnothing 8$ [5] – рис.1а.

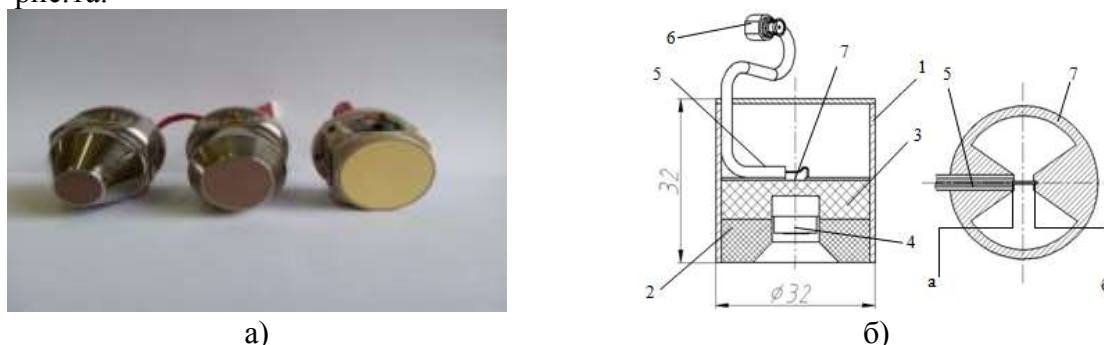


Рис.1. а) антенны $\varnothing 15$ мм, $\varnothing 22$ мм и $\varnothing 32$ мм (слева направо), б) двухдиапазонная антенна.

На рисунке 1.б. показаны: 1 – корпус антенны; 2,3 – диэлектрические шайбы; 4 – ИК-датчик; 5 – коаксиальный кабель; 6 – СВЧ-разъём; 7 – щелевой излучатель. Двухдиапазонная $\varnothing 32$ мм антенна, показанная на рис.1а и рис.1б, представляет собой круглый волновод прямоугольного сечения, заполненный СВЧ-керамикой. Один конец антенны контактирует с БО, на другой нанесён щелевой излучатель, на который запаивается коаксиальный кабель с разъёмом. В целом, эти антенны представляют собой сложные изделия, содержащие систему нагрева, систему детекции касания БО, системы измерения температуры кожи и собственной температуры. Эти данные используются при обработке сигналов от БО. При определённой доработке представленные антенны могут быть применены в составе МРТК.

Представленная методология проектирования, базирующаяся на математическом моделировании собственного микроволнового излучения биологических тканей с помощью численного решения уравнений Максвелла и уравнения тепломассопереноса, позволяет успешно проектировать радиометрические датчики для МРТК. Практическое внедрение данных датчиков позволит интегрировать МР в состав диагностических средств МРТК.

Список литературы

1. Основные направления создания и развития медицинской робототехники в интересах медицинской службы вооруженных сил РФ / *Солдатов. Е. А. [и др.]* // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 2. с. 230-240
2. *Веснин С. Г., Каплан М. А., Авакян Р. С.* Современная микроволновая радиотермометрия молочных желез // Опухоли женской репродуктивной системы: ежеквартальный научно-практический журнал. 2008. № 3. с. 28-33
3. First in vivo application of microwave radiometry in human carotids/ *E.Siores [et al.]* // Journal of the American college of cardiology. 2012. V.59, №18. P.1645-1653.
4. *Al-Alousi L.M., Anderson R.A., Land D.V.* A non-invasive method for postmortem temperature measurements using a microwave probe// Forensic Sci Int. 1994. V.64(1).P.35-46.
5. *Веснин С.Г., Седанкин М.К.* Миниатюрные антенны-аппликаторы для микроволновых радиотермометров медицинского назначения// Биомедицинская радиоэлектроника. 2011, В.10. С. 51-55.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

05.13.05

¹И.К. Алайцев, ²Т.В. Данилова, ²А.О. Мантуров, ³Г.О. Мареев, ³О.В. Мареев

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,

¹Институт электронной техники и машиностроения, кафедра системотехника,²Институт прикладных информационных технологий,

кафедра информационная безопасность автоматизированных систем,

³Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского,

факультет стоматологии,

кафедра оториноларингологии,

Саратов, alaitsev@gmail.com, tvdan521@gmail.com,

manturovao@gmail.com, dr-mareev@mail.ru, ovmareew@mail.ru

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ПОЛОСТНЫХ ОПЕРАТИВНЫХ
ВМЕШАТЕЛЬСТВ С ТАКТИЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ****DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-167-169**

Применение систем виртуальной реальности является одним из современных подходов в образовании. Особую значимость такие системы имеют в обучении хирургов проведению лапароскопических операций. Одним из ключевых аспектов симуляции в этом случае является тактильная обратная связь. Её наличие позволяет развивать моторные навыки работы со сложными инструментами. В работе представлено устройство, позволяющее имитировать работу лапароскопическими инструментами с созданием тактильной обратной связи.

Ключевые слова: *гапстик-устройства, тактильная обратная связь, гироскоп, акселерометр, устройство ввода, устройства управления.*

Симуляционное обучение широко применяется в настоящий момент в медицине. Созданы различного рода программные и аппаратные средства, позволяющие с достаточно большой степенью реализм производить в виртуальном пространстве различные хирургические манипуляции с объектами, имитирующими внутренние органы человека. Большинство таких систем в качестве устройства управления используют обычный джойстик или мышь. В ряде случаев используются специальные приспособления (эйдос), имитирующие рукоятки инструментов, смену инструментов, различного рода приборы из окружения хирурга (аспиратор, коагулятор и т.п.). Подавляющее большинство этих систем не способно создавать при работе с ними тактильные ощущения, необходимые для выработки и закрепления хирургических навыков.

Существуют системы управления с тактильной обратной связью, так называемые гапстик-устройства, которые позволяют вводить координатную информацию в компьютер, и, таким образом, являются координатными манипуляторами. При этом такие устройства могут являться и устройствами вывода, прилагая к руке оператора усилие, направленное в ту или иную сторону. Гапстик-устройства используются для создания тактильного образа какого-либо виртуального предмета и используются в компьютерных играх, различных системах виртуальной реальности, трехмерной компьютерной графики (лепки и моделирования), медицинских системах, а также для управления различными робототехническими устройствами [1]. Для создания таких устройств нередко используются кинематические схемы параллельных механизмов, например, дельта-механизмы [2,3], ввиду того что они устойчивы и стабильны в пространстве, а также позволяют прилагать большую силу и создавать более реалистичные тактильные ощущения.

Для создания симулятора полостных оперативных вмешательств необходимо 6 степеней свободы – требуется знание об ориентации и наклоне инструмента в пространстве, а также данные о положении его рабочего конца. Положение лапароскопического инструмента в пространстве задаётся двумя точками – точкой входа (местом установки троакара на брюшной стенке) и точкой, определяющей рабочий конец инструмента.

Предлагаемое устройство основано на применении гапстик-устройства Novint Falcon, расширенного дополнительными степенями свободы [4]. При этом рабочий конец имитатора лапароскопического инструмента жестко фиксируется в центре вращения карданного механизма, а с другой стороны его шток проходит через троакар, установленный в отверстии, выполненном в эластичном имитаторе передней брюшной стенки, под которым закреплено гапстик-устройство.

Общий вид устройства представлен на Фиг. 1.

Карданный механизм 3 жестко закрепляется на площадке 2 дельта механизма оригинального гапстик-устройства 1. В центр вращения 4 карданного механизма 3 закреплен рабочий конец имитатора лапароскопического инструмента 5. Данное устройство позволяет при движениях, осуществляемых оператором за рукоятку, не стеснять движений оператора в пределах заданного числа степеней свободы карданного механизма 3, при этом данные о положении в пространстве рабочего конца инструмента 5 будут сниматься с датчиков, расположенных в карданном механизме 3 (которые могут иметь различный принцип действия – датчики угла поворота, электронные акселерометры и гироскопы и др.). Это обеспечивает высокую точность данных о положении рабочего конца инструмента 5 в пространстве, включая ее наклоны и повороты вокруг своей оси. Таким образом, основные координаты положения в пространстве будут считаны с оригинального устройства дельта-механизма, и дополнены данными о положении рабочего конца инструмента 5 в пространстве с датчиков карданного механизма 3.

Сила, создаваемая дельта-механизмом гапстик-устройства будет приложена к площадке 2 и за счёт жесткой связи с ней карданного механизма и укрепленной в центре вращения 4 карданного механизма 3 рабочего конца инструмента 5 будет передана на руку оператора, обеспечивая тактильную обратную связь.

Гапстик-устройство 1 установлено внутри рамы 8, по размерам сходной с брюшной полостью человека, верхнюю крышку которой представляет из себя имитатор передней брюшной стенки 7, выполненный из эластичного материала (силикона, резины и др.). В стандартном месте проведения лапароскопической процедуры в имитаторе передней брюшной стенки 7 установлен пенетрирующий ее троакар 6, через который проходит имитатор лапароскопического инструмента 5. Имитатор лапароскопического инструмента 5 проходит внутри троакара 6 таким образом, что возможны свободные движения его внутри трубки троакара 6 – линейные перемещения по оси троакара 6 и вращение в нем.

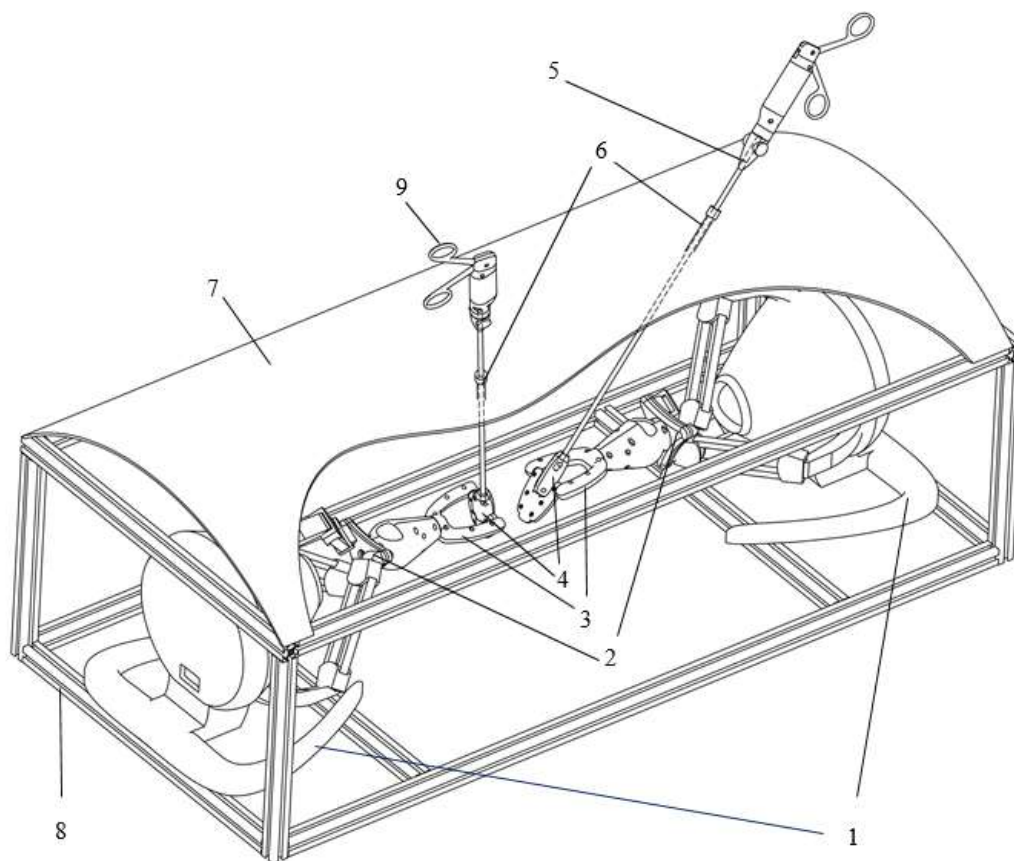


Рис 1. Увеличенное изображение насадки для дельта-механизма с дополнительными степенями свободы.

1 – гаптик-устройство на основе дельта-механизма, 2 – площадка дельта-механизма, 3 – карданный механизм, 4 – центр вращения карданного механизма, 5 – имитатор лапароскопического инструмента, 6 – троакар, 7 – имитация передней брюшной стенки, 8 – рама (корпус) устройства, 9 – рукоятка имитатора лапароскопического инструмента

Таким образом, обучающийся, управляя с помощью рукоятки 9 имитатором лапароскопического инструмента 5 одновременно указывает координаты рабочего конца и ориентацию инструмента в виртуальном пространстве симулятора, а также получает тактильные ощущения от гаптик-устройства. Установленный в имитатор передней брюшной стенки 7 троакар 6 создает точку входа и точку вращения лапароскопического инструмента, что создает реалистичность проводимой симуляции оперативного вмешательства

Благодаря применению описанного устройства, значительно расширяются возможности создания хирургических симуляторов полостных оперативных вмешательств с использованием гаптик-устройств на основе дельта-механизмов, создающих реалистичную обратную связь и имитирующие основные условия проведения полостных операций.

Список литературы

1. Coles T.R., Meglan D., John N.W. The Role of Haptics in Medical Training Simulators: A Survey of the State of the Art // IEEE Trans. Haptics. IEEE, 2011. Vol. 4, № 1. P. 51–66.
2. Karbasizadeh N. et al. Dynamic identification of the Novint Falcon Haptic device // 2016 4th International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM). IEEE, 2016. P. 518–523.
3. Martin S., Hillier N. Characterisation of the Novint Falcon haptic device for application as a robot manipulator // Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA). 2009. P. 291–292.
4. Алайцев И.К. et al. Устройство ввода с тактильной обратной связью с дополнительными степенями свободы // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 6 (36). P. 102–105.

05.13.19

И.А. Андреев, М.М. Калабишка, Е.А. Солдатова

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий механики и оптики,
Факультет безопасных информационных технологий,
Кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем,
Санкт-Петербург, greentea_04@mail.ru, kalabishka@yandex.ru, Elena_Sold@bk.ru

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-170-172

В статье рассмотрены общедоступные методы защиты персональных данных при передаче и хранении на рабочей станции, наиболее эффективные методы шифрования данных на персональных компьютерах, методы обеспечения безопасности передачи данных через сеть интернет.

Ключевые слова: *информация, безопасность, защита информации, интернет, уязвимости, передача данных, атаки.*

В наши дни человек регулярно пользуется интернетом, передавая персональную и личную информацию, через открытые источники и интернет.

Использование современных механизмов защиты информации не дает сто процентной гарантии, что ваши данные не будут украдены, так как в любом алгоритме шифрования и системе защиты информации есть уязвимости, которыми может воспользоваться злоумышленник.

Вы подумаете: «Как же так? Ведь сейчас же информационный скачок интернет технологий». Именно из-за того, что на наш век выпал огромный рывок IT-сферы, в которую на прямую входит интернет технологии, пользователи забывают о такой немаловажной, первоначальной задаче, как информационная безопасность. Если конкретней, то безопасность личной жизни и персональных данных в сети интернет.

Какие методы можно предпринять, чтобы обезопасить себя от целого списка сетевых угроз. Можно использовать стороннее программное обеспечение, которое будет шифровать всю передаваемую информацию между отправителем и получателем.

Помимо стороннего программного обеспечения, можно настроить политики безопасности на своей рабочей машине, так что любая информация, которая поступает на компьютер будет автоматически кодироваться сквозным шифрованием. Например, вы- пользователь ПК. Сможете получать доступ к любой информации без каких-либо проблем, но вот если кто-то украдет эту информацию, то злоумышленнику придется изрядно попотеть, над тем чтобы дешифровать украденные данные.

Давайте рассмотрим методы и средства защиты информации через открытые каналы передачи данных и сеть интернет.

Для начала рассмотрим области, где можно украсть информацию при передаче:

1. Станция отправителя;
2. Роутер (маршрутизатор) отправителя;
3. Роутер (маршрутизатор) приема;
4. Станция приема.

Станция отправителя и станция приема наименее уязвимые точки, с которых можно украсть информацию, хотя на самом деле все зависит от количества, а главное качества уровня знаний пользователя.

Роутеры более подвержены атакам, так как имеют ряд уязвимостей, которые либо специально внедрены разработчиками, либо имеют не качественную прошивку системы.

Начнем со станций, на рабочей машине можно защитить информацию несколькими способами:

1. Шифрование жёсткого диска сквозным шифрованием;
2. Использование специализированного программного обеспечения;
3. Использование специализированных плат, подключаемых к материнской плате в системном блоке;
4. Шифрование на уровне ядра (для UNIX-систем, такие как Ubuntu, Debian).

Рассмотрим шифрование жесткого диска сквозным шифрованием. Как ранее писалось, сквозное шифрование - тип кодирования информации на рабочей машине. Пользователь при работе с файлами на данном компьютере не испытывает дискомфорта.

Для сквозного шифрования в операционных системах семейства Windows есть встроенный софт под названием BitLocker, а для Unix-систем есть такие скрипты как: Dm-crypt/luks (контейнер с крипто алгоритмом создаваемый с помощью device-mapper и CryptoAPI (часть ядра криптографического шифрования), eCryptfs- шифрование на уровне файловых систем, EncFS – шифрование на уровне файловых систем без загрузки дополнительных модулей ядра.

Итак, мы рассмотрели методы защиты информации на персональных станциях, теперь рассмотрим вектор атак на роутеры(маршрутизаторы) и основные методы защиты от них.

Для того, чтобы сохранить Ваши электронные устройства в безопасности, важно не только знать про кибер-атаки, которые распространяются через электронные письма или вредоносные сайты. Вам необходимо обращать внимание на Ваш роутер, который предоставляет Вам доступ в Интернет, т.к. он может быть атакован кибер-преступниками.

В последнее время подобное оборудование все чаще и чаще используется для распространения атак. В подтверждении этих слов заключения двух испанских организаций – Института национальной кибер-безопасности (INCIBE) и Бюро по вопросам безопасности Интернета (OSI).

Они основывают свои предупреждения на информации, полученной INCIBE за последние несколько недель. Эксперты этой организации обнаружили, что количество ежедневных атак на роутеры существенно возросло, достигнув 5000. Кибер-преступники пытаются установить на устройство определенный тип вредоносных программ и сделать его составной частью бот-сети, благодаря которой они выполняют свои DDoS-атаки.

DDoS-атаки используют группу компьютеров и других устройств с доступом в Интернет, чтобы «завалить» запросами интересующий сервер, на веб-страницах которого хранятся какие-нибудь файлы. В результате такой атаки сервер перестает работать и становится недоступным для других.

Каждый взломанный роутер активировал опцию удаленного администрирования, которая разрешает к нему доступ пользователей, находящихся за пределами сети, и позволяет контролировать его настройки с любого IP-адреса.

Кроме этого, INCIBE указала на то, что владельцы таких устройств не меняли регистрационные доступы, которые были установлены по умолчанию (имя пользователя и пароль). Сохранив первоначальные настройки по умолчанию, для хакеров не составило никакого труда удаленно подключиться к ним.

Эти факторы позволяют кибер-преступникам изменять рабочие параметры роутера и устанавливать доступ к локальной сети. Позже им достаточно только установить вредоносную программу, которая заставит роутер работать в качестве бота, осуществляя массовые атаки.

Во избежание атак на Ваш роутер OSI предлагает изменить регистрационные данные для доступа к роутеру и использовать более сложные пароли. Также не рекомендуется активировать опцию удаленного администрирования, если нет такой необходимости. Если же потребность в этом возникает, то следует активировать эту опцию на максимально

короткий период времени, чтобы не давать хакерам возможность его обнаружить.

Каждый роутер настраивается примерно одинаково, хотя интерфейс роутера и опции доступа могут различаться в зависимости от производителя. Чтобы сделать изменения, необходимо открыть веб-браузер и в адресной строке набрать IP-адрес роутера (его адрес может быть указан в руководстве пользователя, на наклейках на корпусе устройства, или Вы можете найти его в настройках подключения в Панели управления).

Если Вы узнали о наших советах поздно и Ваше устройство уже заражено, то самый простой вариант – это переустановить прошивку роутера (прошивка – это программа, которая управляет роутером), взяв ее, например, с сайта производителя роутера.

Количество уязвимостей и механизмов защиты постоянно растет, все представленные методы защиты являются базовыми и служат опорной частью для дальнейшего изучения информационной безопасности и защиты персональных данных в IT-сфере.

Список литературы

1. Электронные ресурсы -http://m.comss.info/page.php?al=Kak_nastroit_svoj_domashnij_router_dlya_zashchity_ot_atak
2. *Линус Торвальдс, Дэвид Даймонд*, Just for fun, 2002 г.
3. *Джеймс Армстронг*, Секреты Unix, 2000 г., 2-е издание.
4. *Даниэл Дж. Баррет*, Linux. Основные команды. Карманный справочник, 2005 г.
5. *Alan Konheim*, Computer security and cryptography, 2014 г.

05.13.19

А.Д. Бондарева, Е.Н. Созинова, К.А. Фаязов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,
Санкт-Петербург, Bondareva.AD@yandex.ru, S.ekaterina-nik@mail.ru, kobil93@mail.ru

МОДЕЛЬ ЗАЩИЩАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ТИПА "УМНЫЙ ДОМ"**DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-173-175**

В работе исследована структура системы "Умный дом", на основе этого разработана модель автоматизированной системы управления зданием "Умный дом". Исследована информация, обрабатываемая в данной системе и поставлена задача по обеспечению информационной безопасности "Умного дома".

Ключевые слова: *Умный дом; информационная безопасность; автоматизированная система управления зданием.*

В настоящее время повсеместно возрастает использование различных систем типа "Умный дом" (УД). Они предназначены для автоматизации процессов бытового назначения, таких как: управление работой домашней техники, контроль и изменение температуры и климата в помещении, управление работой осветительных электроприборов и розеток, а также множества других задач. Цель создания таких систем - облегчение жизни человека посредством исключения его вмешательства в данный процессы.

Общая проблема всех таких систем - недостаточный уровень безопасности. В случае нарушении правильности функционирования "Умного дома" возможны различные чрезвычайные ситуации, к примеру: короткие замыкания в электросети, возгорания, несанкционированное открытие дверей и окон, несанкционированный доступ к информации личного характера, такой как: данные банковских карт, пароли, а также личная информация, хранящаяся в системе.

Исследование законодательной и нормативно-правовой базы РФ в области защиты информации (ЗИ) выявило отсутствие общего регламента по обеспечению информационной безопасности (ИБ) в решениях задач в системах типа "Умный дом".

Отсутствие четкого и ясного представления о структуре таких систем, составе и содержании обрабатываемой в них информации создает проблематику эффективного обеспечения ИБ "Умного дома" и определяет необходимость разработки модели защищаемой информации УД.

Под Умным домом подразумевают инженерную систему, которая в соответствии с [1] определяется как система здания, предназначенная для жизнеобеспечения, выполнения процессов, поддержания комфорта, энерго- и ресурсосбережения или обеспечения безопасности.

Умный дом по своему принципу функционирования является автоматизированной системой управления зданием (АСУЗ). Как и любая автоматизированная система (АС), УД состоит из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности [2]. В качестве персонала выступает человек, который координирует деятельность АСУЗ, т.е. оператор, а также технические специалисты, устанавливающие и настраивающие оборудование "Умного дома".

В общем случае комплекс средств автоматизации для автоматизированных систем управления (АСУ) включает три уровня устройств:

- верхний уровень - операторского управления: включает панели оператора, серверные компьютеры, телекоммуникационное оборудование и каналы связи;
- средний уровень - автоматического управления: включает управляющее устройство - логический контроллер, и промышленную сеть передачи данных;

- нижний уровень - исполнительных устройств - управляемые приборы, датчики и инженерные системы [3].

Исходя из этого, модель “Умного дома” можно представить в следующем виде:

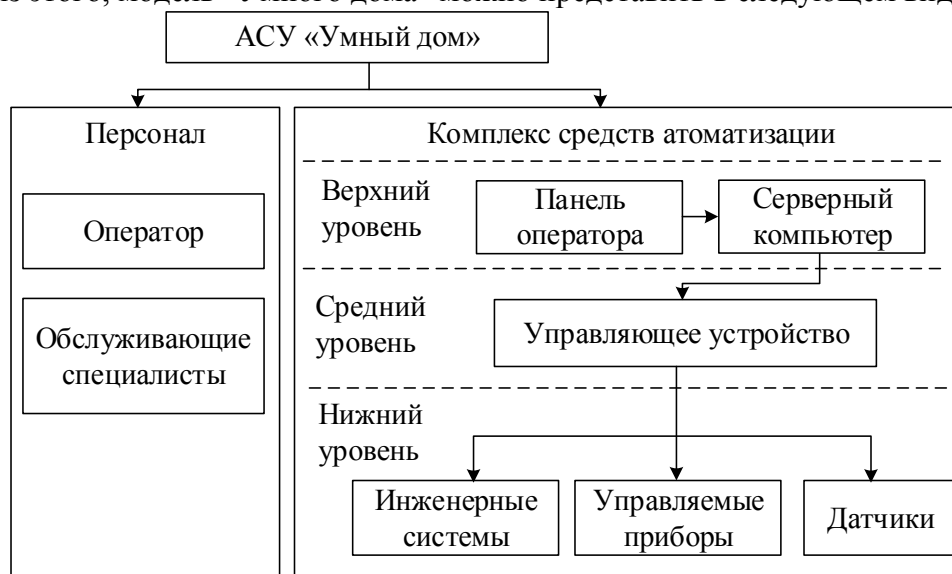


Рис. 1 - Модель АСУЗ “Умный дом”

Для решения поставленной задачи представляется целесообразным исследовать понятие защищаемой информации, обрабатываемой в АСУ данного типа.

Для решения поставленной задачи представляется целесообразным исследовать понятие защищаемой информации, обрабатываемой в АСУ данного типа. В качестве структурного базиса модели защищаемой информации возможно использование разработанной модели АСУЗ “Умный дом”.

В соответствии с [3] информация о параметрах управляемого объекта или процесса в АСУ классифицируется как:

- входная (выходная) информация,
- управляющая информация,
- контрольно-измерительная информация,
- критически важная (технологическая) информация;

Исходя из этого модель защищаемой информации УД возможно сформировать по составляющим структурного базиса, классификации информации и содержательной составляющей в виде таблицы 1.

Таблица 1 - Модель информации в АСУЗ “Умный дом”

Уровень	Устройство	Информация	Пример
Операторского управления	Панель оператора	Входная (выходная) информация	Пароли; персональные данные; личная и семейная тайна; программное обеспечение; log-файлы и meta-данные
	Серверный компьютер	Критически важная технологическая информация; личная информация пользователя	

Автоматического управления	Управляющее устройство	Управляющая информация	Команды и запросы; данные о состоянии управляемых элементов
Исполнительных устройств	Датчики	Контрольно-измерительная информация	Телеметрия; информация о состоянии объекта
	Инженерные системы		
	Управляемые приборы		

На основании представленной модели следует сделать вывод о том, что обрабатываемая в АСУ информация в соответствии с законодательством РФ не относится к категории ограниченного доступа. Однако, нарушение конфиденциальности данной информации будет являться нарушением конституции РФ в области неприкосновенности частной жизни, личной и семейной тайны, тайны переписки и иных сообщений.

Также нарушение доступности и целостности данной информации может привести к нарушению или прерыванию функционирования всей системы УД, что в свою очередь может повлечь создание опасности для жизни и здоровья человека.

Исходя из этого, основными направлениями ЗИ в системе УД являются защита информации от несанкционированного доступа и несанкционированных воздействий. Защита информации от разглашения в данном случае неактуальна в силу личного характера информации, передача которой третьим лицам не может быть выгодной для собственника информации.

Заключение:

1. Исследована структура “Умного дома” и на этом основании разработана модель АСУЗ “Умный дом”.
2. Предложена модель защищаемой информации в АСУЗ “Умный дом” и поставлена задача по обеспечению ИБ в системах типа “Умный дом”.

Список литературы

1. ГОСТ 55060-2012. Системы управления зданий и сооружений автоматизированные. Термины и определения // Электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200102409> (дата обращения 07.11.2017)
2. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения // Каталог национальных стандартов – Росстандарт. 2017. URL: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&month=-1&year=-1&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=129578> (дата обращения 03.11.2017)
3. Приказ ФСТЭК от «14» марта 2014 г. №31 «Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды» URL: <http://fstec.ru/rss-lenta/110-tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/prikazy/864-prikaz-fstek-rossii-ot-14-marta-2014-g-n-31> (дата обращения 10.11.2017)

05.13.00

Р.Р. Валиахметов, Р.Р. Зиятдинов, А.А. Шабаев

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета,
отделение информационных технологий и энергетических систем,
кафедра автоматизации и управления,
Набережные Челны, RRValiahmetov@kpfu.ru

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ИЛИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-176-179

В работе предложено использование системы поддержки принятия решения с использованием базы знаний аналогов изделия, оснастки, опыта разработки, для уменьшения сроков ввода в производство за счет применения уже существующей оснастки применяемой при обработке изделия-аналога, обработке отдельных элементов изделия с применением других приспособлений и сокращение сроков разработки новой оснастки за счет полноты технического задания и использования опыта разработчиков аналогичной оснастки.

Ключевые слова: система поддержки принятия решения, разработка оснастки технологического процесса.

Выпуск различных модификаций изделий, введение новой продукции ведет за собой изменение номенклатуры выпускаемых на предприятии деталей. Увеличение номенклатуры выпускаемой продукции и установка жестких сроков ее выпуска требует от технологической и конструкторской служб ускорение создания оснастки, с учетом экономического обоснования методов производства, расчета, проектирования, изготовления и внедрения приспособлений и инструмента в технологический процесс обеспечивающих постоянное сокращение сроков подготовки производства. Системы сборно-разборных (СРП), универсально-наладочных (УНП) и универсально-сборных приспособлений (УСП) позволяют в некоторой степени решать поставленную задачу. Но их применение не всегда возможно при изготовлении сложной и массовой продукции, здесь необходима разработка уникальных и специализированных приспособлений [1].

Внедрение новой детали в производство неразрывно связано с такими процессами как выбор заготовки, подбор оборудования, приспособлений и инструментов.

При этом внедряемая деталь может незначительно отличаться от уже существующей в производстве. И не всегда технолог, берущийся за проработку нового технологического процесса имеет представление о уже существующем ТП.

Первое с чего начинается ТП это получение заготовки для детали, исходя из её геометрической формы принимаются базы для первичных и окончательных операций, определяющих точность получаемых размеров и выполнение требований к качеству обрабатываемых поверхностей. Получаемая в результате обработки деталь может быть разбита на группы геометрических элементов, получаемых в результате различных операций. Эти элементы характеризуются размерами, точностью и шероховатостью поверхности, исходя из этих параметров выбирается метод обработки и инструмент. [2]

Имея информацию об аналогах детали можно в автоматическом режиме подобрать варианты уже существующей оснастки к схожим элементам новой детали.

Исходя из этого в банк данных оснастки, необходимо вносить информацию о приспособлениях с привязкой не только к детали, но и к её геометрическим элементам, а соответственно операциям и используемым инструментам. На предприятиях ОАО КАМАЗ

изготовлением одних и тех же или схожих деталей могут заниматься, как разные цеха, так и разные заводы. Соответственно разработка новой оснастки конструкторами осуществляется по различным техническим заданиям. Отследить которые может лишь человек, отдающий их на разработку – начальник конструкторской службы, лишь исходя из собственного опыта и хорошей памяти. При хорошем исходе проектирование новой оснастки достанется, тому же конструктору, который разрабатывал предыдущую, аналогичную конструкцию, что позволит сократить время разработки, за счет унификации приспособления и применения уже существующих элементов (деталей) аналога. В противном случае другой конструктор будет разрабатывать новую конструкцию исходя из собственного опыта и возможно предложенных технологом аналогов (рисунок 1).



Рис. 1 – Организация работ по разработке и внедрению в производство новой детали

Информационная система оснастки позволит подбирать не только аналоги, но и предложит конструктора имеющего опыт создания подобных приспособлений. Имея аналог можно не разрабатывать техническую документацию полностью, а унифицировать отдельные детали и узлы, заимствовать их из других разработок. Полное описание назначения, размеров и прочих признаков деталей входящих в различные приспособления, позволит упростить поиск и применение их в новых конструкциях. Возможны случаи применения приспособления в производстве на различных участках, и изменение одной из операций требует доработки конструкции. Однако доработка может быть как полезной для других участков, где применения приспособления так и отрицательной. Поэтому изменение конструкции приспособления требует ознакомления со всеми вариантами его применения, что должно быть отображено в сопроводительной информации к приспособлению.

Таким образом информационная система оснастки объединяет таких пользователей как: инженер-конструктор изделия, инженер-технолог разрабатывающий техпроцесс и сопровождающий производство конкретного изделия и инженер-конструктор проектирующий оснастку для оснащения технологического процесса (рисунок 2).

Введение в систему нового изделия (детали) инициируется разработчиком изделия и в его же обязанности входит описание этой детали, незначительную часть в это описание вносит технолог исходя из его видения процесса обработки – последовательность операций и базирование.

При наличии оснастки на схожие детали она может быть предложена информационной системой технологу как уже существующее оснащение или как аналог.

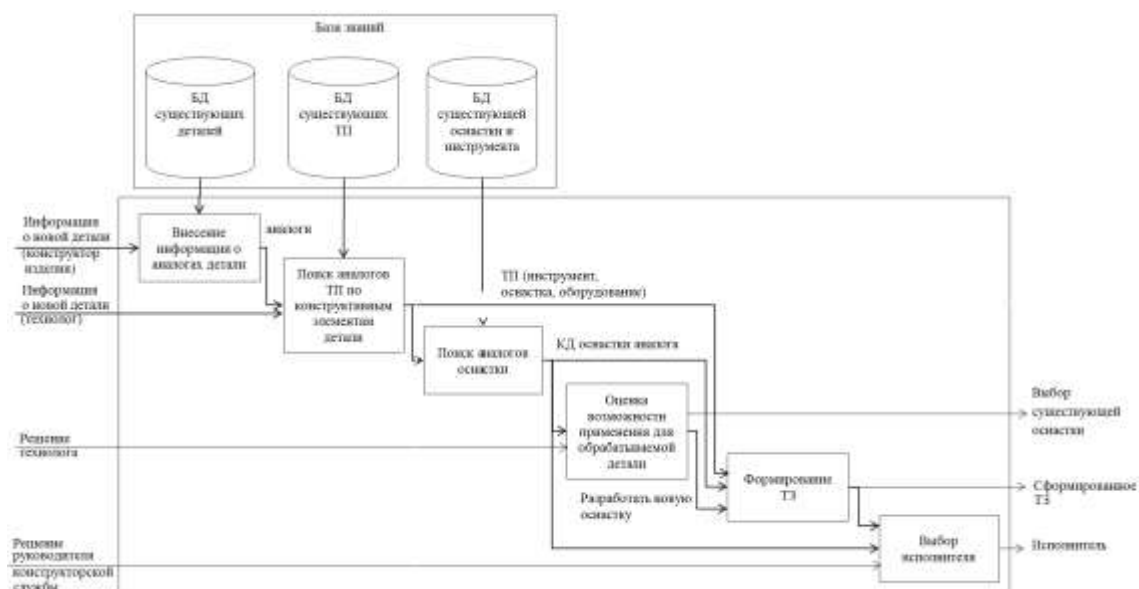


Рис.2 – Схема работы системы поддержки принятия решения

Следующая стадия работ это выпуск технического задания на проектирование недостающей оснастки, технолог определяет оборудование на котором будет применено данное приспособление, для обработки каких элементов оно будет применяться (выполнение каких операций), рекомендует конструктору аналоги и базирование для выполнения операции.

Начальник конструкторской службы согласует выданное задание. В случае наличия аналога разрабатываемого приспособления необходимо уточнить его конструктора-разработчика, для рассмотрения возможности передачи ему на разработку нового технического задания, учитывая его опыт полученный при разработке предыдущего приспособления и возможности унификации отдельных узлов и деталей или создания универсального приспособления, рассмотреть вариант использования уже существующего приспособления на предлагаемом оборудовании, тем самым сокращая сроки формирования конструкторской документации. Либо при отсутствии данного разработчика рассмотреть альтернативные варианты, непосредственный начальник или другой конструктор каким либо образом связанный с исходным приспособлением или аналогичной деталью. [3]

Информационная система включает базу знаний содержащую информацию о сущностях: приспособление, детали, станок, инструмент, оснастка, детали приспособления, технологический процесс и техническое задание (рисунки 3).

Детали	Приспособление
- наименование	- обозначение
- группа	- наименование
- номер чертежа	- назначение (Обрабатываемая деталь)
- исполнение	- назначение (Станок)
- изменение	- назначение (Вид обработки)
- семейство (однотипные по конфигурации детали)	- назначение (Обработка геометрических элементов детали)
- геометрические элементы (для обработки)	- тип установки (вертикально, горизонтально, на приспособление, в шпиндель, прочее)
- базовые элементы	- размеры стыкуемой поверхности (на станок)
- порядок операций	- размеры под базируемую деталь
	- количество баз
	- типы баз
Технологический процесс	- вид крепления (механическое-ручное, пневматическое, гидравлическое)
- обрабатываемая деталь	- детали приспособления
- оборудование	- предприятие проектировщик
- инструмент	- конструктор
- оснастка	- предприятие изготовитель
- технолог	- используемый совместно инструмент
	- используемая совместно оснастка
	- инвентарный номер
Станок	Детали приспособления
- модель	- наименование
- модификация	- номер чертежа
- габариты рабочей области	- исполнение
- тип крепления на рабочем столе.	- изменение
	- назначение
Инструмент	- уникальность
- наименование	- габаритные размеры
- обозначение	- определяющие размеры
- определяющие размеры	- материал
	- обработка
Оснастка	- точность размеров (калитет)
- наименование	- точность поверхностей (допуски)
- обозначение	- качество поверхности (шероховатость)
- назначение	
- габариты	
- определяющие размеры	
Техническое задание	
-назначение (Обрабатываемая деталь)	
-назначение (Станок)	
-назначение (Вид обработки)	
-назначение (Обработка геометрических элементов детали)	
-тип установки (вертикально, горизонтально, на приспособление, в шпиндель, прочее)	
-аналоги	
-технолог	

Рис. 3 – Сущности базы данных

Заключение

Используя технологию СППР технолог получает возможность подбора существующей оснастки для изготовления нового изделия, а в случае отсутствия приемлемых вариантов автоматизировать формирования технического задания на разработку, с возможностью привлечения к работе опытных специалистов, предоставив им полную информацию о наличии применяемой оснастки, оборудовании и наличии аналогов.

Список литературы

1. Бунаков П.Ю. Широких Э.В. Высокоинтегрированные технологии в металлообработке. – М.: ДМК Пресс, 2011., 27 с.
2. Черепашков А.А., Носов Н.В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. — Волгоград: Издательский Дом «Ин-Фолио», 2009., 48 с.
3. Малюх В. Н. Введение в современные САПР. – М.: ДМК Пресс, 2016., 42 с.

05.13.10

¹Д.В. Веерпалу, ²А.В. Иващенко¹Научно-исследовательский институт радио, Москва,²Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
Самара, anton.ivashenko@gmail.com

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВОМ ОБЪЕКТОВ СЕТИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-180-182

В работе представлены результаты построение интеллектуальной системы поддержки принятия решений по рациональному управлению строительством объектов сети цифрового телерадиовещания в России.

Ключевые слова: *цифровое телерадиовещание, управление строительством, рациональное управление.*

Построение и развитие сети цифрового телерадиовещания (ЦТВ) предусматривает комплекс мероприятий, при реализации которых необходимо учитывать взаимосвязь процессов планирования, мониторинга, уточнения и корректировки целевых показателей, их перечня и выделяемых на их реализацию объемов финансирования [1]. В России данные работы выполняются в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 – 2015 гг», продленной до 2018 года.

Одной из актуальных научно-технических задач в этой области является реализация эффективного управления строительством объектов сети ЦТВ, позволяющего оперативно модернизировать и вводить в эксплуатацию новые радиотелевизионные передающие станции и ускорять рост количества телевизионных каналов. Комплексный характер развития сети ЦТВ при относительной автономности отдельных строящихся объектов определяет сложность прогнозирования фактического расходования денежных средств. Привлечение множества подрядчиков разной специализации обуславливает необходимость применения современной теории управления сложными социально-экономическими системами [2], обеспечивающей возможности децентрализации и самоорганизации.

Для планирования бюджетов и сроков, а также мониторинга их исполнения необходимо реализовать систему рационального управления строительством объектов сети ЦТВ с возможностью интеллектуальной поддержки принятия решений. Такие проблемы, как существенное опоздание по одному из проектов или недостаточное освоение денежных средств, должны быть заблаговременно идентифицированы и проанализированы с учетом возникающих рисков и тесной взаимосвязи объектов сети ЦТВ. В результате должно быть выработано управленческое воздействие, выражающееся в корректировке объемов выделяемых денежных средств и сроков с учетом отраслевой специфики.

Решение этой проблемы целесообразно производить с использованием современных методов и программных средств статистического анализа случайных процессов [3] и технологий управления в многоакторной интегрированной информационной среде предприятия. Таким образом, актуальной научно-технической задачей является повышение эффективности распределения финансовых и материально-технических ресурсов при реализации мероприятий по строительству цифровых передающих станций, ретрансляторов и других объектов сети ЦТВ с учетом комбинированного влияния фактора времени и человеческого фактора.

Строительство объектов сети ЦТВ предполагает необходимость проведения комплекса взаимосогласованных по ресурсам и срокам многоэтапных мероприятий одновременно во

многих регионах России, обуславливает наличие множества факторов, неоднородно влияющих на её выполнение в зависимости от региональных особенностей. Так, существенное влияние на темпы построения сети ЦТВ оказывают особенности социально-экономического развития различных регионов, в части уровня благосостояния населения, степени развития инфраструктуры (дорожно-транспортной, магистральной электросвязи, протяженности линий электропередач, газификации и т.д.).

В результате анализа применимости современных методов, технологий и средств управления (см. Рис. 1) были выявлены требования и критерии реализации финансового управления, позволяющие проводить набор мероприятий для обеспечения достижения индикаторов и показателей результатов строительства объектов сети ЦТВ.



Рис. 1. Генезис методов управления строительством объектов сети ЦТВ

При этом проектное управление предусматривает достижение баланса между объёмом работ, ресурсами, сроками, качеством и рисками. Развитие сети ЦТВ требует решения комплекса задач по разработке системных проектов, строительству отдельных объектов и наземных сетей, их оснащению, вводу и поддержке эксплуатации. Управление строительством объектов сети ЦТВ включает планирование, финансирование, реализацию и мониторинг выполнения мероприятий в условиях временных и ресурсных ограничений. При этом основным инструментом финансового управления является выделение определенных объемов денежных средств, необходимых и достаточных для достижения поставленных целей.

Предложенная модель рационального управления строительством объектов сети ЦТВ [4, 5] содержит временной ряд событий оценки временных и финансовых ресурсов, необходимых для реализации предусмотренных мероприятий. Рациональный характер принятия решений состоит в формировании проектных оценок с учетом индикаторов риска и связанности отдельных мероприятий.

В качестве основной проблемы проектного управления строительством объектов сети ЦТВ можно выделить так называемую «петлю вовлеченности» [5] выделяемые средства являются одновременно и механизмом, и ресурсом управления. В связи с этим, при управлении строительством объектов ЦТВ, существует ограничение по прямому применению механизмов бюджетного управления. В случае, когда необходимо дать ответ на вопрос: «нужно ли выделять бюджетные средства на продолжение (завершение) строительства объекта при неполном освоении выделенных средств в предыдущем отчетном периоде», необходимо производить анализ выделенных индикаторов, учитывающих специфику развития ЦТВ.

Данная проблема свойственна многим ФЦП, однако большая продолжительность проектов и мероприятий по строительству объектов сети ЦТВ и их взаимосвязанность при высокой автономности организаций-подрядчиков делает эту проблему особенно актуальной в рамках решаемой задачи. Для решения этой задачи была разработана интеллектуальная

система поддержки принятия решений. Система реализует метод рационального управления строительством объектов сети ЦТВ, основанный на реализации процедуры мониторинга и анализа карт стойкости. С помощью карты определяют предел стойкости плана к внешним воздействиям – когда необходимо перейти от адаптации и составления нагонных графиков к существенным изменениям. В результате анализа индикаторов может быть произведено управленческое воздействие: ожидание (мониторинг – контроль), увеличение бюджета, сокращение бюджета, замена исполнителя и т.д.

Базовым элементом механизма управления строительством объектов сети ЦТВ является прогнозирование достижения показателей и освоения денежных средств. Для наблюдения за проектами выделены критерии управления строительством, позволяющие проводить набор мероприятий для обеспечения достижения индикаторов и показателей результатов развития сети ЦТВ. Полученная модель зависимости затраченных средств на развитие сети ЦТВ позволяет прогнозировать коэффициент освоения бюджетных средств при запуске в эксплуатацию новых объектов связи в регионах.

Наличие расчетных данных о минимальной и максимальной производственной мощности каждого субъекта позволило представить два сценария развития событий: оптимистический и пессимистический. Пессимистический сценарий предусматривает прогнозный прирост станций ЦТВ, введенных в эксплуатацию на уровне минимальной производственной мощности субъекта. Оптимистический сценарий предусматривает прогнозный прирост станций ЦТВ, введенных в эксплуатацию на уровне максимальной производственной мощности субъекта.

Для обеспечения возможности эффективного контроля развития сети ЦТВ, разработана иерархическая система индикаторов и показателей, позволяющая отслеживать и анализировать реализацию отдельных мероприятий, определены агрегированные показатели, позволяющие судить об эффективности ее реализации. Описанные разработки позволили сэкономить бюджетные средства (капитальные вложения) в размере до 15% при оптимизации планирования строительства объектов ЦТВ для обеспечения требуемого ФЦП покрытия в Магаданской области.

Полученные результаты позволяют обеспечивать качественное планирование и мониторинг хода реализации ФЦП ЦТВ за счет прогнозирования потенциальных отклонений и возможности оценки влияния этих отклонений на основные показатели Программы. Разработанный программный инструментарий можно использовать для решения аналогичных задач при реализации других государственных и федеральных целевых программ.

Список литературы

1. *Володина Е.Е., Веерпалу Д.В.* Анализ развития цифрового телевидения в мире и в России // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – № 12. – с. 23 – 26
2. *Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А.* Математические модели организаций: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
3. *Прохоров С.А.* Прикладной анализ случайных процессов / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2007. – 582 с.
4. *Веерпалу Д.В.* Разработка математического обеспечения информационно-аналитической модели мониторинга реализации ФЦП «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 - 2015 годы» // Труды НИИР, 2015. – № 3. – с. 55 – 61
5. *Веерпалу Д.В., Иващенко А.В.* Метод рационального управления строительством объектов сети цифрового телерадиовещания // Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2016. – № 9. – с. 114 – 118

05.13.15

А.П. Даденкова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра автоматики и телемеханики,
Пермь, DadenkovaA@yandex.ru

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ФАЙЛООБМЕННОЙ СЕТИ С ПРОТОКОЛОМ DHT

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-183-186

В работе анализируется построение модели децентрализованной файлообменной сети с протоколом DHT. Представлены результаты изучения принципов функционирования исследуемого поискового протокола и предложены фрагменты программной реализации разрабатываемой модели в распространенной системе имитационного моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: *имитационное моделирование, протоколы поиска данных, децентрализованные файлообменные сети, AnyLogic, DHT, P2P.*

Современный этап построения инфокоммуникационных сетей связи характеризуется широким применением peer-to-peer (P2P) технологий. Одной из распространённых областей применения технологии является построение файлообменных сетей. С увеличением числа пользователей сети, ростом объёмов хранимой и передаваемой по сети информации снижается эффективность организации централизованных сетей. При этом возникают проблемы отказоустойчивости, недостаточности пропускной способности каналов связи. В связи с этим распространённость получают децентрализованные файлообменные сети и протоколы распределения и поиска данных. Одним из распространённых является исследуемый в работе протокол DHT (Distributed Hash Table) [1, 2], получивший применение в таких сетях как BitTorrent, I2P, OREnet и других. Недостаточность исследования протокола, влияния его параметров на результативность поиска данных не позволяют создавать и поддерживать эффективность функционирования децентрализованных файлообменных сетей. Это актуализирует проработку вопросов построения имитационной модели файлообменной сети с протоколом DHT и исследования влияния его параметров на результативность поиска и нагрузку на каналы связи.

DHT представляет собой протокол, предназначенный для организации поиска данных в P2P-сетях путем создания распределенного индекса всех имеющихся файлов. Особенность протокола заключается в возможности распределения информации среди некоторого набора узлов P2P-сети [2, 3] таким образом, что каждый участвующий узел, имея специальную хеш-таблицу ассоциативных записей идентификаторов (ключей) и адресов других узлов сети смог бы найти искомые данные, связанные с ключами сети (идентификаторами других узлов). Ответственность за поддержание связей распределяется между узлами, что обеспечивает простое масштабирование сети.

Алгоритм работы протокола поиска DHT описывает подключение пользователя, поиск, размещение и распространение информации в сети.

Подключение нового пользователя к сети включает [2]: 1) выбор уникального 160-битного идентификатора *hashID* (используется хеш-функция SHA-1); 2) заполнение и сортировка (по возрастанию) DHT-таблицы случайными существующими в сети идентификаторами узлов и соответствующими адресами (IP:port). Заполнение DHT-таблицы выполняется в несколько итераций, до формирования в ней минимального числа *v* записей. Итерация представляет собой запрос к DHT-таблице случайного узла сети на получение случайного набора сделанных

k записей (корзины таблицы, первый элемент которой представляет ключ корзины) и добавление полученных идентификаторов в заполняемую таблицу. В рамках первой итерации производится запрос к серверу-координатору, а последующие адресуются вновь добавленным в таблицу узлам.

Размещение и поиск данных в сети осуществляется на основе уникального идентификатора информационной раздачи *infoHash*. Процедура размещения владельцем данных в сети предполагает осуществление поиска m «представителей» его данных, которые будут знать о наличии у него определённой информации. Цель поиска состоит в нахождении в сети узлов с идентификаторами *hashID* с наиболее близкими к искомому *infoHash*, чтобы в дальнейшем пользователи сети могли «выйти» на владельца данных через представителей. Поиск представителей производится за определённое число q итераций. Итерации аналогичны этапам заполнения DHT-таблицы, но отличаются адресатом запроса и искомой информацией. Каждая итерация включает [2]: 1) поиск (по ключу) в DHT-таблице узла корзины идентификаторов наиболее близкой (наименьшее расстояние) к искомому *infoHash*; 2) формирование запроса к узлам корзины на получение от каждого из них k наиболее близких DHT-записей корзины к искомому *infoHash*; 3) добавление новых записей в таблицу и сортировка. Процедура завершается выбором из таблицы ближайшей корзины узлов представителей и передачи им идентификатора узла раздающего данные и *infoHash* его данных.

Процедура поиска данных в сети аналогична процедуре размещения и сводится к итеративному поиску данных на узлах и заполнению DHT-таблицы потенциально новыми записями об *hashID* узлов, чьи адреса ближе всего к искомому *infoHash*.

Построение имитационной модели файлообменной сети выполняется в системе объектного дискретно-событийного моделирования AnyLogic. Система моделирования позволяет учесть значимые параметры узлов сети, что обеспечивает корректность результатов моделирования.

Архитектура разрабатываемой модели сети имеет иерархическую структуру. Объектом верхнего уровня является сеть «DHTnetwork», а вложенными: узлы класса «Node», сервер «Server». Элементами объекта «Сеть» являются: *numberNodes* (int) – количество узлов в сети; *nodees* (ArrayList<Node>) – популяция узлов сети; *server* (Server) – сервер файлообменной сети; *sizeBucket* (int) – размер корзины DHT-таблицы; *nodeInfo* (Node) – узел сети, раздающий данные; *infoHash* (String) – хэш искомого в сети данных; *depthSearch* (int) – глубина (число итераций) поиска *infoHash*; *createNodesAndHashID*() – функция создания узлов сети, назначения им уникальных *hashID* и заполнения их DHT-таблиц; *createInfoHash*() – функция выбора *infoHash* искомого данных, узлов раздающего и выполняющего поиск данных; *searchIndexBucket(node, infoHash):int* – функция поиска индекса корзины DHT-таблицы узла *node*, ближайшей к *infoHash*; *setDelegates*() – функция назначения узлов-представителей *infoHash* в сети; *searchData*() – функция поиска. Элементами объекта «Узел» сети являются: *hashID* (String) – хэш узла; *infoHash* (String) – хэш данных узла; *minNumberEntries* (Static int) – минимальное число записей в таблице DHT; *DHT_Table* (ArrayList<String>) – таблица хэш'эй узлов сети. Сервер содержит только коллекцию *arrayIDs* (LinkedHashMap<String, Node>) ассоциативных записей *hashID* и индексов соответствующих узлов сети.

Реализация алгоритма хеширования SHA-1 в модели осуществляется методами библиотеки `org.apache.commons.codec.digest.DigestUtils` подключенного распространённого пакета `commons-codec-1.10.jar`.

В ходе построения модели разработаны описанные функции создания структуры сети и DHT-таблиц узлов, а также функции назначения представителей раздаваемых файлов и поиска их согласно алгоритму DHT. На рисунках 1-4 представлены листинги программ созданных функций с развёрнутыми комментариями, что позволяет при необходимости воссоздать и исследовать модель читателем. Вызов функций в модели выполняется с помощью интерактивных элементов управления «кнопка».

```

Random random = new Random(); //создание объекта Random
TreeSet<String> setID = new TreeSet<String>(); //создание коллекции для хранения hashID
while (setID.size() < numberNodes) { //цикл создания hashID
    String newID = DigestUtils.sha1Hex(Integer.toString(random.nextInt())); //генерация случ. hashID
    setID.add(newID); //добавление созданного hashID в коллекцию
}
Iterator<String> iterator = setID.iterator(); //получение итератора по коллекции hashID
while (iterator.hasNext()) { //цикл по элементам коллекции hashID
    NODE node = add_arrayNodes(); //создание и добавление узлов в коллекцию arrayNodes
    String current = iterator.next(); //получение следующего элемента hashID
    node.hashID = current; //назначение узлу уникального hashID
    server.arrayIDs.put(node.hashID, node.getIndex()); //добавление в колл. записи hashID:индекс узла
}
int numNodes = numberNodes-1; //получение индекса последнего узла в коллекции
for (NODE node : arrayNodes) { //цикл по коллекции узлов
    ArrayList<String> DHT = node.DHT_Table; //получение DHT-таблицы узла
    TreeSet<String> set = new TreeSet<String>(); //создание временной DHT-таблицы узла для сортировки
    while (set.size() < NODE.minNumberEntries) { //цикл заполнения временной DHT-таблицы
        Integer randIndex = random.nextInt(numNodes); //получение случайного индекса узла из коллекции
        String randID = arrayNodes.get(randIndex).hashID; //получение hashID случайного узла
        set.add(randID); //добавление hashID во временную DHT-таблицу
    }
    DHT.clear(); //очистка DHT-таблицы узла
    DHT.addAll(set); //добавление отсортированных hashID в DHT-таблицу узла из временной таблицы
}

```

Рис. 1 – Листинг функции создания узлов, hashID, DHT-таблиц

```

Random random = new Random(); //создание объекта Random
Integer randIndex = random.nextInt(numberNodes-1); //получение случайного индекса колл. узлов
nodeInfo = arrayNodes.get(randIndex); //получение выбранного узла
String newHash = DigestUtils.sha1Hex(Integer.toString(randIndex)); //создание случ. infoHash
nodeInfo.infoHash = newHash; //назначение infoHash для выбранного узла
infoHash = newHash; //сохранение искомого infoHash для сети

```

Рис. 2 – Листинг функции создания и назначения искомого infoHash

```

ArrayList<String> DHT = nodeInfo.DHT_Table; //получение DHT-таблицы узла nodeInfo
BigInteger infoHashB = new BigInteger(infoHash, 16); //перевод infoHash в BigInteger
String max = "ffffffffffffffffffffffffffffffff"; //максимальный 16-ый hash
BigInteger minDist = new BigInteger(max, 16); //минимальное расстояние устанавливается в максимум
BigInteger distBaket = new BigInteger(max, 16); //текущее расстояние infoHash и hashBaket в максимум
int indexBaket = 0; //искомый индекс корзины ближайшей к infoHash
for (int indBack=0; indBack<DHT.size(); indBack+=8) { //цикл поиска ближ. к infoHash корзины в таблице
    BigInteger indB = new BigInteger(DHT.get(indBack), 16); //перевод hashID в тип BigInteger
    distBaket = (BigInteger)(infoHashB.subtract(indB)); //расстояние между infoHash и hashID корзины
    if (distBaket.abs().compareTo(minDist)<0) { //текущее расстояние infoHash и hashID меньше
        minDist=distBaket; //сохранение минимального расстояния infoHash и hashID
        indexBaket = indBack; //сохранение индекса корзины ближайшей к infoHash
        int pos = distBaket.signum(); //положение infoHash относительно текущей корзины
        if (pos == -1) //корзина находится "ниже" infoHash
            indexBaket = indBack-1; //коррекция индекса ближайшей к infoHash корзины
    }
}
return indexBaket; //возвращение результата функции - индекса ближайшей корзины

```

Рис. 3 – Листинг функции поиска индекса корзины ближайшей к infoHash

```

int indexBaket=searchIndexBaket(nodeInfo, infoHash); //получение индекса ближайшей корзины nodeInfo
ArrayList<String> DHT = nodeInfo.DHT_Table; //получение DHT-таблицы узла nodeInfo
for (int iter=0; iter<depthSearch; iter++) { //цикл поиска ближайших hashID
    TreeSet<String> set = new TreeSet<String>(); //создание временной DHT-таблицы узла
    for (int iterator=0; iterator<sizeBaket; iterator++) { //цикл поиска ближайших к infoHash 8 узлов
        int indexID = server.arrayIDs.get(DHT.get(indexBaket+iterator)); //получение индекса узла
        NODE node = arrayNodes.get(indexID); //получение узла node по индексу
        int indexB=searchIndexBaket(node, infoHash); //получение индекса ближайшей корзины узла node
        for (int iterator1=0; iterator1<sizeBaket; iterator1++) //цикл поиска ближайших hashID node
            //Добавление новых узлов-представителей во временную DHT-таблицу
            set.add(node.DHT_Table.get(indexB+iterator1));
        set.addAll(DHT); //добавление записей DHT-таблицы для сортировки
        DHT.clear(); //очистка DHT-таблицы узла nodeInfo
        DHT.addAll(set); //добавление отсортированных hashID в DHT Table
    }
    indexBaket=searchIndexBaket(nodeInfo, infoHash); //поиск узлов-представителей в обновленной таблице
    traceln("Хэш данных: " + infoHash); //вывод infoHash искомого узла
    traceln("Хэш корзины: " + DHT.get(indexBaket)); //вывод hashID ближайшей корзины
    for (int iterator=0; iterator<sizeBaket; iterator++) { //цикл по элементам корзины
        String hashID = DHT.get(indexBaket+iterator); //получение hashID представителя
        int indexID = server.arrayIDs.get(hashID); //получение индекса узла-представителя
        NODE node = arrayNodes.get(indexID); //получение узла-представителя
        node.infoHash = infoHash; //сохранение для узла infoHash
        traceln("Индекс и хэш элемента корзины: " + node); //вывод инд., hashID и infoHash представителя
    }
}

```

Рис. 4 – Листинг функции поиска и назначения представителей infoHash

Дальнейшее исследование поискового протокола DHT предполагает выполнение количественной оценки результативности поиска информации в сети с различным числом узлов и записей DHT-таблицы, глубиной поиска. Конечной целью анализа является оптимизация характеристик поискового протокола для заданных параметров сети и ограничений.

Список литературы

1. Loewenstern A. DHT Protocol. URL: http://www.bittorrent.org/beps/bep_0005.html (дата обращения 03.12.2017)
2. Рабинович В.Е., Шестаков А.А. Способ управления трафиком в BitTorrent-сетях с помощью протокола DHT// Вестник СибГУТИ. – 2012. – №3. – С. 3-10
3. Сиващенко Д. Распределённые хэш-таблицы на примере NoSQL. URL: <http://seminar.at.ispras.ru/wp-content/uploads/2010/11/Cassandra-and-DHT.pdf> (дата обращения 03.12.2017)

05.13.01

Ю.П. Емельянова

Арзамасский политехнический институт НГТУ им. Р. Е. Алексеева,
кафедра прикладной математики,
Арзамас, emelianovajulia@gmail.com

МЕТОД ВЕКТОРНОЙ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА СЛАБОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДИСКРЕТНЫХ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ПРОЦЕССОВ¹

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-187-189

В данной работе метод векторной функции Ляпунова используется для получения достаточных условий слабой устойчивости дискретных повторяющихся процессов. Это новая форма устойчивости мотивирована конечной длительностью каждого повторения, тогда как экспоненциальная устойчивость накладывает ограничения на бесконечном интервале времени.

Ключевые слова: *слабая устойчивость, 2D системы, повторяющиеся процессы, метод векторной функции Ляпунова.*

Рассмотрим нелинейный дискретный повторяющийся процесс, описываемый следующей моделью в пространстве состояний

$$\begin{aligned}x_{k+1}(p+1) &= f_1(x_{k+1}(p), y_k(p)), \quad 0 \leq p \leq T-1, \\y_{k+1}(p) &= f_2(x_{k+1}(p), y_k(p)), \quad k = 0, 1, 2, \dots,\end{aligned}\tag{1}$$

где T – длительность каждого повторения, p – текущее время на каждом повторении, $x_k(p) \in \mathbb{R}^{n_x}$ – вектор состояния на k -м повторении, $y_k(p) \in \mathbb{R}^{n_y}$ – вектор профиля повторения, f_1 и f_2 – нелинейные функции такие, что $f_1(0,0)=0$, $f_2(0,0)=0$, этим условием обеспечивается состояние равновесия в начале координат. Граничные условия заданы в виде последовательности начальных значений вектора состояния и начального профиля повторения и имеют следующий вид

$$\begin{aligned}x_{k+1}(0) &= d_{k+1}, \quad k \geq 0, \\y_0(p) &= f(p), \quad 0 \leq p \leq T-1,\end{aligned}\tag{2}$$

где элементы $d_{k+1} \in \mathbb{R}^{n_x}$ – известные константы и элементы $f(p) \in \mathbb{R}^{n_y}$ – известные функции от p . Предполагается, что существуют вещественные числа $M_f > 0$, $\kappa_d > 0$ и $0 < \lambda_d < 1$ такие, что d_{k+1} и $f(p)$ удовлетворяют соотношениям

$$|f(p)|^2 \leq M_f, \quad |d_{k+1}|^2 \leq \kappa_d \lambda_d^{k+1}, \quad k \geq 0.\tag{3}$$

Универсальным методом для исследования устойчивости является метод функций Ляпунова. Однако в случае 2D-систем его непосредственное применение оказывается невозможным, поскольку уравнения 2D-систем не разрешены относительно полных приращений переменных и получить полное приращение функции Ляпунова можно только зная решение системы. В связи с этим предлагается использовать векторные функции Ляпунова и пытаться сделать заключение об устойчивости на основе изучения свойств аналога дивергенции этих функций [1].

В случае линейной динамики, известное понятие устойчивости вдоль повторений требует равномерной ограниченности переменных для всех p и k [2] но на практике процессы имеют лишь конечное число повторений и конечную длительность повторения. Это привело к развитию понятия строгой практической устойчивости таких процессов, где требование

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00192 мол_а

равномерной ограниченности при неограниченном возрастании k и p снимается [3]. Понятие слабой устойчивости, которое вводится в данной статье, является нелинейным обобщением понятия строгой практической устойчивости и дает более «мягкие» условия для синтеза закона управления в задачах стабилизации.

Введем следующее понятие слабой устойчивости.

Определение 1 *Нелинейный дискретный повторяющийся процесс (1) с граничными условиями (2), (3) называется слабо устойчивым, если для любых $T < \infty$*

$$\sum_{p=0}^{T-1} |y_k(p)|^2 \rightarrow 0 \text{ при } k \rightarrow \infty. \quad (4)$$

Дальнейший анализ основан на использовании функции Ляпунова следующего векторного вида

$$V(x_{k+1}(p), y_k(p)) = \begin{bmatrix} V_1(x_{k+1}(p)) \\ V_2(y_k(p)) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $V_1(x) \geq 0, V_2(y) \geq 0$. Дискретный аналог оператора дивергенции этой векторной функции вдоль траекторий системы (1) имеет вид

$$D_d V(x_{k+1}(p), y_k(p)) = \Delta_p V_1(x_{k+1}(p)) + \Delta_k V_2(y_k(p)), \quad (6)$$

где

$$\Delta_p V_1(x_{k+1}(p)) = V_1(x_{k+1}(p+1)) - V_1(x_{k+1}(p)),$$

$$\Delta_k V_2(y_k(p)) = V_2(y_{k+1}(p)) - V_2(y_k(p)).$$

Теорема 1 *Предположим, что существует векторная функция (5) и положительные скаляры κ, c_1, c_2 и c_3 такие, что*

$$V_1(x_{k+1}(0)) \leq \kappa |x_{k+1}(0)|^2, \quad (7)$$

$$c_1 |y|^2 \leq V_2(y) \leq c_2 |y|^2, \quad (8)$$

$$D_d V(x_{k+1}(p), y_k(p)) \leq -c_3 |y_k(p)|^2. \quad (9)$$

Тогда повторяющийся процесс (1) с граничными условиями (2), (3) слабо устойчив.

Доказательство. Из (9) следует, существование достаточно малого $\bar{c}_3$ такого, что $\bar{c}_3 < c_3$ и

$$D_d V(x_{k+1}(p), y_k(p)) \leq -c_3 |y_k(p)|^2 \leq -\bar{c}_3 |y_k(p)|^2. \quad (10)$$

С учетом (8) и (9), неравенство (10) может быть записано в виде

$$V_1(x_{k+1}(p+1)) - V_1(x_{k+1}(p)) + V_2(y_{k+1}(p)) - V_2(y_k(p)) \leq -\bar{c}_3 |y_k(p)|^2 \leq -\frac{\bar{c}_3}{c_2} V_2(y_k(p)), \quad (11)$$

или

$$V_1(x_{k+1}(p+1)) + V_2(y_{k+1}(p)) \leq V_1(x_{k+1}(p)) + \left(1 - \frac{\bar{c}_3}{c_2}\right) V_2(y_k(p)). \quad (12)$$

Обозначим $\lambda = 1 - \frac{\bar{c}_3}{c_2}$. Из последнего неравенства следует, что $\bar{c}_3$ можно выбрать из условия

$$\lambda^{\frac{1}{d}} < \lambda < 1, \quad (13)$$

выполнение которого гарантирует сходимость, как будет показано в конце доказательства.

Перепишем (12) в виде

$$V_1(x_{k+1}(p+1)) \leq V_1(x_{k+1}(p)) + \lambda V_2(y_k(p)) - V_2(y_{k+1}(p)). \quad (14)$$

Решая (14) относительно $V_1(x_{k+1}(p))$ получим следующее выражение:

$$V_1(x_{k+1}(p)) \leq V_1(x_{k+1}(0)) + \sum_{h=0}^{p-1} [\lambda V_2(y_k(h)) - V_2(y_{k+1}(h))] \quad (15)$$

и обозначая $H_k(p) = \sum_{h=0}^{p-1} V_2(y_k(h))$, из (15) получим, что

$$H_{k+1}(p) \leq \lambda H_k(p) + V_1(x_{k+1}(0)) - V_1(x_{k+1}(p)). \quad (16)$$

Решая (16) имеем

$$H_k(p) \leq \lambda^k H_0(p) + \sum_{n=0}^{k-1} \lambda^{k-1-n} [V_1(x_{n+1}(0)) - V_1(x_{n+1}(p))], \quad (17)$$

или

$$\sum_{n=0}^{k-1} \lambda^{k-1-n} V_1(x_{n+1}(p)) + \sum_{h=0}^{p-1} \lambda^{p-1-h} V_2(y_k(h)) \leq \sum_{n=0}^{k-1} \lambda^{k-1-n} V_1(x_{n+1}(0)) + \lambda^k \sum_{h=0}^{p-1} \lambda^{p-1-h} V_2(y_0(h)). \quad (18)$$

Последнее неравенство эквивалентно следующему:

$$\lambda^{-(p-1)} \sum_{n=0}^{k-1} \lambda^{-n} V_1(x_{n+1}(p)) + \lambda^{-(k-1)} \sum_{h=0}^{p-1} \lambda^{-h} V_2(y_k(h)) \leq \lambda^{-(k-1)} \lambda^{-(p-1)} \sum_{n=0}^{k-1} \lambda^{k-1-n} V_1(x_{n+1}(0)) + \lambda^{-(p-1)} \sum_{h=0}^{p-1} \lambda^{p-1-h} V_2(y_0(h)) \quad (19)$$

Оценивая слагаемые правой части (19), с учетом (3) (7), (8) и (13) последовательно получим

$$\begin{aligned} & \lambda^{-(k-1)} \lambda^{-(p-1)} \sum_{n=0}^{k-1} \lambda^{k-1-n} V_1(x_{n+1}(0)) + \lambda^{-(p-1)} \sum_{h=0}^{p-1} \lambda^{p-1-h} V_2(y_0(h)) \leq \\ & \leq \kappa \kappa_d \lambda^{-(T-1)} \sum_{n=0}^{\infty} \lambda^n + c_2 M_f \sum_{h=0}^T \lambda^{-h} = \frac{\kappa \kappa_d \lambda^{-(T-1)}}{1-\lambda} + \frac{c_2 M_f (\lambda^{-T} - 1)}{\lambda^{-1} - 1} = C(T). \end{aligned} \quad (20)$$

Для всех k и $p \leq T$. Также из левой части неравенства (19) следует, что

$$C(T) \geq \lambda^{-(k-1)} \sum_{h=0}^{p-1} \lambda^{-h} V_2(y_k(h)) \geq (c_2 \lambda) \lambda^{-k} \sum_{h=0}^{p-1} |y_k(h)|^2 \quad (21)$$

и

$$\sum_{h=0}^{p-1} |y_k(h)|^2 \leq \bar{C}(T) \lambda^k. \quad (22)$$

для всех k и $p \leq T$, где $\bar{C}(T) = \frac{C(T)}{c_2 \lambda}$. Поскольку $C(T) < \infty$ для всех $T < \infty$, из (22)

следует, что повторяющийся процесс (1), (3) слабо устойчив, что и требовалось доказать.

Следствие 1 Из условий Теоремы 1 следует, что вектор профиля повторения $y_k(p)$ стремится к равновесию в начале координат экспоненциально, т.е.

$$|y_k(p)|^2 \leq \bar{C}(T) \lambda^k, \quad (23)$$

где $\bar{C}(T) < \infty$ для всех $T < \infty$ и $0 < \lambda < \infty$.

В самом деле, из (22) следует, что $C(T) \geq (c_2 \lambda) \lambda^{-k} |y_k(p-1)|^2$, для всех $p \leq T < \infty$ и выполняется (23) при $\bar{C}(T) = \frac{C(T)}{c_2 \lambda}$.

Заключение. В данной работе на базе метода векторных функций Ляпунова получены достаточные условия слабой устойчивости нелинейных дискретных и дифференциальных повторяющихся процессов. Этот тип устойчивости интересен тем, что дает более «мягкие» условия для синтеза закона управления, чем экспоненциальная устойчивость, условия которой могут быть слишком сильными в случае практических приложений. В связи с этим, работа имеет серьезные перспективы дальнейшего применения результатов к задачам управления с итеративным обучением.

Список литературы

1. Emelianova J., Pakshin P., Galkowski K., Rogers E. Vector Lyapunov Function Based Stability of a Class of Applications Relevant 2D Nonlinear Systems // IFAC Proceedings Volumes (IFAC PapersOnline) – Vol. 47, Issue 3. – 2014. – P. 8247–8252.
2. Rogers E., Galkowski K., Owens D. H. Control Systems Theory and Applications for Linear Repetitive Processes // Lecture Notes in Control and Inform. Sci. – 2007 – Vol. 349. – 466 p.
3. Paszke W., Dabkowski P., Rogers E., K. Galkowski, New results on strong practical stability and stabilization of discrete linear repetitive processes // Systems & Control Letters. – 2015. – Vol. 75. – P. 22–29.

05.13.18

¹С.В. Ерохин, ²С.В. Семенов, ¹О.О. Рошка¹Национальный исследовательский московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной математики,²Первый государственный медицинский университета им. И.М. Сеченова,
кафедра медицинской и биологической физики,
Москва, ErokhinSV@mgsu.ru, sem-sv56@mail.ru**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДНЫХ ДРОБНОГО ПОРЯДКА****DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-190-192**

В работе для моделирования релаксации вязкоупругих материалов предлагается обобщенная модель Максвелла, использующая производную дробного порядка. Установлена адекватность модели и предложена методика определения порядка дробной производной по экспериментальным данным.

Ключевые слова: *релаксация, вязкоупругость, производная дробного порядка.*

Явление релаксации представляет собой свойство материалов (полимеров, грунтов, металлов, бетонов и др.) снижать внутреннее напряжение при неизменной начальной деформации. При этом предполагается, что деформация жестко зафиксирована.

Основной и самой распространенной идеей для математического моделирования релаксации является схема Максвелла которая порождает экспоненциальный закон релаксации:

$$\sigma(t) = \sigma(0)e^{-\gamma t}, \quad (1)$$

Экспоненциальное затухание типично для некоторых задач, но простая формула (1) не подходит для многих реальных случаев, так что исследования неэкспоненциальной релаксации представляет большой интерес и число публикаций по данной теме велико. Экспериментальные исследования многих вязкоупругих материалов: стекол, полимеров, кристаллов, грунтов и др. также свидетельствуют о расхождении с экспоненциальным законом релаксации [1-4].

Для описания неэкспоненциальной релаксации используют различные подходы. Одним из наиболее перспективных является использование в математическом моделировании производных дробного порядка. Этот подход позволяет учесть фрактальную природу материала и получил значительное развитие в последние годы.

Для корректного описания релаксации может быть использована обобщенная схема Максвелла, в которой вязкий элемент заменяется вязкоупругим (рис. 1).

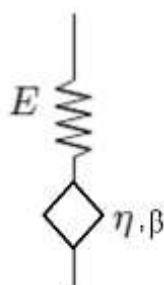


Рис. 1 - Обобщенная схема Максвелла

Для обобщенной схемы Максвелла обычная производная заменяется дробной:

$$\frac{1}{E} D^\beta \sigma(t) + \frac{1}{\eta} \sigma(t) = 0$$

$$\sigma(0) = E \varepsilon_0,$$
(2)

где

$$D^\beta f(x) = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_a^x \frac{f'(\tau) d\tau}{(x-\tau)^\beta}.$$
(3)

дробная производная порядка $0 < \beta < 1$. [5]

Решение задачи (2), согласно теореме существования и единственности решения задачи Коши для дифференциального уравнения дробного порядка выражается через функцию Миттаг-Леффлера:

$$\sigma(t) = \sigma(0) E_\beta(-\gamma t^\beta),$$
(4)

где $\gamma = \frac{\eta}{E}$.

Функция Миттаг-Леффлера имеет асимптотику [6]:

$$E_\beta(-\gamma t^\beta) \sim \begin{cases} 1 - \frac{\gamma t^\beta}{\Gamma(1+\beta)}, & t \rightarrow 0 + \\ \frac{1}{\gamma \Gamma(1-\beta)} t^{-\beta}, & t \rightarrow \infty. \end{cases}$$
(5)

Эта асимптотика хорошо согласуется с наблюдаемыми экспериментально сингулярностью в начальный момент времени и последующим степенным законом релаксации напряжения [3].

По аналогии с [7], рассмотрим обратную задачу параметрической идентификации обобщенной схемы Максвелла (2) по экспериментальным данным (кривым релаксации). Значения параметров имеют большое значение для прогнозирования.

Для определения параметров моделирования воспользуемся асимптотическими формулами (5). Так, при $t \sim 0$ можно записать:

$$\sigma(t) \sim \sigma(0) \left(1 - \frac{\gamma t^\beta}{\Gamma(1+\beta)} \right),$$
(6)

Если в ходе эксперимента помимо значения начального напряжения $\sigma(0) = \sigma_0 = E_0 \varepsilon_0$ известны еще хотя бы два близких к нему значения $\sigma(t_1) = \sigma_1$ и $\sigma(t_2) = \sigma_2$, то имеем систему уравнений:

$$\begin{cases} \sigma_1 \sim \sigma_0 \left(1 - \frac{\gamma t_1^\beta}{\Gamma(1+\beta)} \right) \\ \sigma_2 \sim \sigma_0 \left(1 - \frac{\gamma t_2^\beta}{\Gamma(1+\beta)} \right) \end{cases}$$
(7)

откуда ключевой параметр β определяется по формуле

$$\beta_0 \sim \log_{\frac{t_1}{t_2}} \frac{\sigma_0 - \sigma_1}{\sigma_0 - \sigma_2}.$$
(8)

При последующем течении эксперимента напряжение в образце можно аппроксимировать выражением:

$$\sigma(t) \sim \sigma(0) \left(\frac{1}{\gamma \Gamma(1-\beta)} t^{-\beta} \right).$$
(9)

Для уточнения значения параметра, вычисленного по формуле (8) необходимо взять еще два значения напряжения $\sigma(t_3) = \sigma_3$ и $\sigma(t_4) = \sigma_4$, причем $t_3, t_4 \gg t_1, t_2$. После аналогичных преобразований из получим вторую формулу для параметра β :

$$\beta_\infty \sim \log_{\frac{t_3}{t_4}} \frac{\sigma_4}{\sigma_3}.$$
(10)

Соответствие результатов, полученных по формулам (8) и (10) будет свидетельствовать о

точности параметрической идентификации. Использование дополнительных объемов экспериментальных данных позволяет повысить точность расчетов.

Следует отметить, что при найденных параметрах соотношение (9) будет описывать кривую релаксации для любой не экстремальной начальной деформации, и на всем отрезке наблюдения. Этот факт следует из инвариантности параметров моделирования.

Для апробации методики обработаны кривые релаксации образцов полимера (нефракционизированный полиизобутилен) (рис. 2) [8].

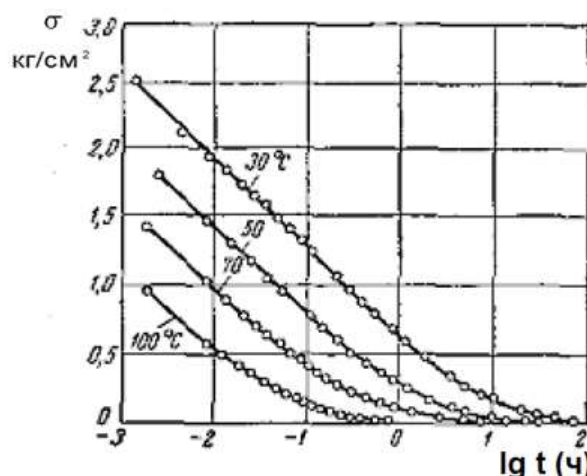


Рис. 2 - Кривые релаксации напряжения нефракционизированного полиизобутилена при 50% растяжении и различных температурах

Для кривой релаксации нефракционизированного полиизобутилена при температуре 30 °С получено по (8), (10)

$$\beta_0 \approx 0,30, \beta_\infty \approx 0,32, \quad (11)$$

что свидетельствует о хорошей точности методики. Расхождения в значениях обусловлены ошибками измерений и погрешностью аппроксимации (7). Параметр β является безразмерным. Формулы (8) и (10) используют отношения величин напряжения и времени, следовательно, значение параметра не зависит от их размерностей.

Список литературы

1. Башаров А. М. О стохастическом обосновании описании кинетики нано-частиц дифференциальными уравнениями с дробными производными. Наносистемы: физика, химия, математика, 2012, 3(6), с. 47-63.
2. Chamberlin R.F. Experiments and theory of the nonexponential relaxation in liquids, glasses, polymers, and crystals, Phase Transitions 1998. — V.65, N.1-4. — P.169-209.
3. Lakes R. Viscoelastic Materials. CUP, 2009. 167 p.
4. Phillips J.C. Stretched exponential relaxation in molecular and electronic glasses // Rep.Progr. Phys. — 1996. — V. 59. — P.1133–1207.
5. Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск, изд - во "Наука и техника", 1987, 688 стр.
6. Алероев Т. С., Киране М, Йи-Фа Т. Краевые задачи для дифференциальных уравнений дробного порядка. Украинский математический вестник. 2013, т. 10, №2, с. 158-175.
7. Ерохин С. В., Гачаев А. М. Модель деформаций вязкоупругих материалов. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. №1. Москва. 2011. — с. 36-39.
8. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. — М. Издательство «Химия», 1968. — 536 с.

05.13.18

С.В. Ерохин, Л.Ю. Фриштер, В.Д. Петелина, Н.М. Чиганова

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной математики,
Москва, ErokhinSV@mgsu.ru

РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-193-195

В работе построены разностные схемы для дифференциальных уравнений с производной дробного порядка. Подобные уравнения возникают при моделировании высокоэластичной деформации вязкоупругих материалов. Показана устойчивость и сходимость численного метода.

Ключевые слова: вязкоупругость, производная дробного порядка, разностная схема.

Во многих исследованиях, например, [1-3] установлено, что высокоэластичная деформация полимеров может быть описана при помощи производных дробного порядка. Возникающие при этом дифференциальные уравнения требуют специальных разностных схем для численного решения.

Согласно [2] зависимость между напряжением и деформацией для эластомеров (ТХД, диан и др.) в одномерном случае может быть описана

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= ED^\beta \varepsilon(t) \\ \varepsilon(0) &= 0.\end{aligned}\tag{1}$$

Здесь

$$D^\beta f(x) = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_a^x \frac{f'(\tau) d\tau}{(x-\tau)^\beta}.\tag{2}$$

дробная производная порядка $0 < \beta < 1$. [4]

Определение параметра β для конкретного материала по экспериментальным данным является важной и сложной задачей, которая рассматривалась, например, в работах [3,5].

Поставим задачу определения неизвестной функции деформации $\varepsilon(t)$, если функция нагрузки $\sigma(t)$ известна. Составим разностную схему для ее численного решения на отрезке $[0, T]$, где T – любой наперед заданный отрезок времени. Разобьем отрезок на N частей стандартным образом с шагом разбиения $\Delta = \frac{T}{N}$. Обозначим $t_i = i\Delta$, $\sigma_i = \sigma(t_i)$, $\varepsilon_i = \varepsilon(t_i)$.

Запишем дробную производную из (1) согласно определению (2) в виде

$$D^\beta \varepsilon(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \left(\frac{\varepsilon(0)}{t^\beta} + \int_0^t \varepsilon'(\tau) (t-\tau)^{-\beta} d\tau \right).\tag{3}$$

Аппроксимируем первую производную разностным аналогом

$$\varepsilon'(t) = \frac{\Delta \varepsilon_{k-1}}{h} = \frac{\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1}}{h}, \forall t \in [t_{k-1}, t_k]\tag{4}$$

Для дробной производной, учитывая (3) и начальные условия, можно записать разностное выражение в узлах сетки:

$$D^\beta \varepsilon(t_i) = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \left(\sum_{k=1}^i \int_{t_k}^{t_{k+1}} \frac{\Delta \varepsilon_{k-1}}{h} (t_i - \tau)^{-\beta} d\tau \right) =\tag{5}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{h\Gamma(2-\beta)} \sum_{k=1}^i \Delta \varepsilon_{k-1} (t_{i-k+1}^{1-\beta} - t_{i-k}^{1-\beta}) = \\
&= \frac{h^{-\beta}}{\Gamma(2-\beta)} \sum_{k=1}^i \Delta \varepsilon_{k-1} \Delta S_{i-k}^{\beta},
\end{aligned}$$

где $\Delta S_{i-k}^{\beta} = t_{i-k+1}^{\beta} - t_{i-k}^{\beta}$.

Таким образом, разностный аналог задачи (1) записывается в виде системы линейных уравнений

$$\begin{aligned}
&\frac{h^{-\beta}}{\Gamma(2-\beta)} \sum_{k=1}^i \Delta \varepsilon_{k-1} \Delta S_{i-k}^{\beta} = \sigma_i, \\
&i = 1, \dots, N-1
\end{aligned} \quad (6)$$

Преобразуем систему (6) к классической форме, группируя слагаемые вокруг неизвестных значений ε_i

$$\begin{aligned}
&\frac{h^{-\beta}}{\Gamma(2-\beta)} \sum_{k=1}^i (\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1}) \Delta S_{i-k}^{\beta} + E \varepsilon_i = \sigma_i - \frac{\sigma(0)}{\Gamma(1-\beta) E t_i^{\beta}}, \\
&\frac{h^{-\beta}}{\Gamma(2-\beta)} \sum_{k=1}^{i-1} \varepsilon_k (\Delta S_{i-k}^{\beta} - \Delta S_{i-k-1}^{\beta}) + \varepsilon_i \left(\frac{h^{-\beta} \Delta S_0^{\beta}}{\Gamma(2-\beta)} \right) = \sigma_i,
\end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, матрица K системы (7) имеет простую треугольную форму, что значительно упрощает вычисление значений функции $\varepsilon(t)$ в узлах сетки

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 & \dots & 0 \\ K_{21} & K_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Элементы матрицы K определяются по формуле

$$K_{ik} = \begin{cases} \frac{h^{-\beta} \Delta S_0^{\beta}}{\Gamma(2-\beta)}, i = k; \\ \frac{h^{-\beta}}{\Gamma(2-\beta)} (\Delta S_{i-k}^{\beta} - \Delta S_{i-k-1}^{\beta}), i > k; \\ 0, i < k. \end{cases} \quad (9)$$

Матрица K определена однозначно, поскольку параметр β известен.

Для апробации метода рассмотрим решение уравнения (1) при линейной функции напряжения $\sigma(t) = mt$. В этом случае, согласно формуле дробной производной от степенной функции [4] точное решение известно и описывается формулой

$$\varepsilon(t) = \frac{m}{E \cdot \Gamma(2+\beta)} t^{1+\beta}. \quad (10)$$

На рис. 1 представлено сравнение аналитического и численного решения уравнения при следующих параметрах: $\beta = 0,5$; $h = 0,1$; $T = 40$; $m = 1$; $E = 1$.

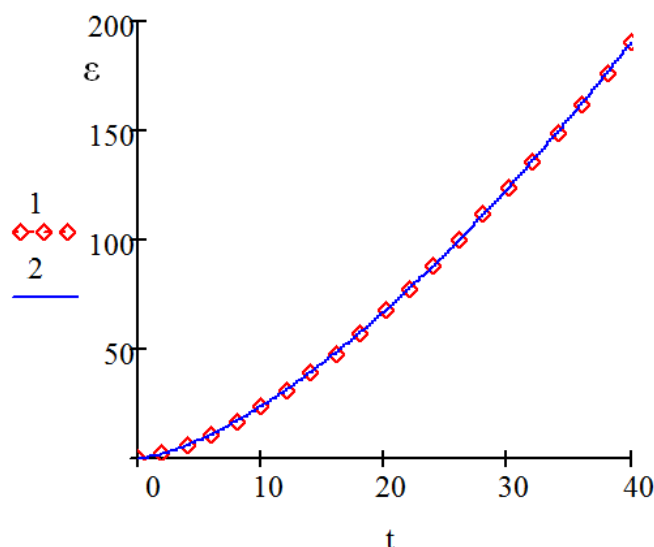


Рис. 1 - Сравнение аналитического и численного решения задачи (1):
1 - численное решение по схеме (7); 2 – точное решение (10).

Сравнение точного решения с численным свидетельствует, что предложенная разностная схема достаточно точна и может быть использована для решения дифференциальных уравнений вида (1).

Список литературы

1. Bagley R. L., Torvik P. J. Fractional calculus - a different approach to the analysis of viscoelastically damped structures. *AIAA Journal*, v. 21, №5, 1983, 741 – 748 pp.
2. Кехарсаева Э.Р., Алероев Т. С. Модель деформационно-прочностных характеристик хлоросодержащих полиэфиров на основе производных дробного порядка.// Пластические массы, 2001, №3, стр. 35.
3. Ерохин С. В., Гачаев А. М. Модель деформаций вязкоупругих материалов. *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. №1. Москва. 2011. – с. 36-39.
4. Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск, изд - во "Наука и техника", 1987, 688 стр.
5. Ерохин С. В., Алероев Т. С., Фриштер Л. Ю., Колесниченко А. В. Параметрическая идентификация математической модели вязкоупругих материалов с использованием производных дробного порядка. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering* Volume 11, Issue 3, 2015, стр. 82-85.

05.13.18

В.А. Калитвин

Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
институт естественных, математических и технических наук,
кафедра математики и физики,
Липецк, kalitvin@gmail.com

О МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-196-199

Рассматриваются линейные уравнения с частными интегралами. Эти уравнения являются обобщениями интегрального уравнения Романовского марковских цепей с двусторонней связью. Изучается фредгольмовость этих уравнений. Рассматривается применение метода механических квадратур к решению интегрального уравнения Романовского.

Ключевые слова: *интегральное уравнение, частные интегралы, метод механических квадратур, оператор Романовского*

1. Постановка задачи

Пусть $D = [a, b] \times [a, b]$ и $C(D)$ — пространство непрерывных на D функций.

В пространстве $C(D)$ изучаются линейные уравнения с частными интегралами

$$x(t, s) = (Kx)(t, s) + f(t, s) \equiv \int_a^t l(t, \tau)x(\tau, s)d\tau + \int_a^b n(t, s, \sigma)x(\sigma, t)d\sigma + f(t, s), \quad (1)$$

$$x(t, s) = (K_1x)(t, s) + f(t, s) \equiv \int_a^s m(s, \sigma)x(t, \sigma)d\sigma + \int_a^b n(t, s, \sigma)x(\sigma, t)d\sigma + f(t, s), \quad (2)$$

в которых $t, s \in [a, b]$, l, m и n — заданные функции, а функция $f \in C(D)$.

При $l(t, \tau) \equiv 0$ и $m(s, \sigma) \equiv 0$ уравнения (1) и (2) совпадают с интегральным уравнением марковских цепей с двусторонней связью, полученным В.И. Романовским [2]. Свойства интегральных уравнений с частными интегралами исследовались в [1, 3-5], а интегральные уравнения Романовского и более общие классы их — интегральные уравнения типа Романовского с частными интегралами, изучались в [6]. Оператор K запишем в виде $K = L + N$, где операторы L и N определяются равенствами

$$(Lx)(t, s) = \int_a^t l(t, \tau)x(\tau, s)d\tau, \quad (Nx)(t, s) = \int_a^b n(t, s, \sigma)x(\sigma, t)d\sigma.$$

Аналогично, оператор K_1 записывается в виде $K_1 = M + N$, где

$$(Mx)(t, s) = \int_a^s m(s, \tau)x(t, \tau)d\tau.$$

Операторы $I - K$ и $I - K_1$ будем называть фредгольмовыми, если множества их значений $R(I - K)$ и $R(I - K_1)$ замкнуты, а размерности ядер $n(I - K), n(I - K_1)$ и коядер $d(I - K), d(I - K_1)$ конечны и равны.

Уравнения (1) и (2) с фредгольмовым операторами $I - K$ и $I - K_1$ будем называть фредгольмовыми.

Всюду в дальнейшем предполагается, что заданные в уравнениях (1) и (2) функции непрерывны по совокупности переменных и специально это не оговаривается.

2. Фредгольмовость уравнений (1) и (2)

Уравнение (1) запишем в виде

$$(I - L)x = Nx + f. \quad (3)$$

Так как спектральный радиус оператора L в $C(D)$ равен нулю [4, 5], то оператор $I - L$ обратим в $C(D)$. Тогда уравнение (3) эквивалентно в $C(D)$ уравнению

$$x = (I - L)^{-1}Nx + (I - L)^{-1}f. \quad (4)$$

В силу [4-6] оператор $(I - L)^{-1}$ можно записать в виде

$$(I - L)^{-1}x(t, s) = x(t, s) + \int_a^t r(t, \tau)x(\tau, s)d\tau, \quad (5)$$

где $r(t, \tau)$ — непрерывное резольвентное ядро интегрального оператора Вольтерра

$$(\tilde{L}x)(t) = \int_a^t l(t, \tau)x(\tau)d\tau$$

С учетом равенства (5) уравнение (4) может быть записано в виде

$$x(t, s) = (Nx)(t, s) + \int_a^t \int_a^b r(t, \tau)n(\tau, s, \sigma)x(\sigma, \tau)d\sigma d\tau + ((I - L)^{-1}f)(t, s). \quad (6)$$

Так как второе слагаемое в (6) есть вполне непрерывный оператор в $C(D)$ [6], то в силу устойчивости фредгольмовости относительно компактных возмущений [7] фредгольмовость уравнения (6) равносильна фредгольмовости уравнения

$$x(t, s) = (Nx)(t, s) + g(t, s), \quad g \in C(D). \quad (7)$$

Уравнение (7) фредгольмово в $C(D)$, так как оператор N^2 вполне непрерывен в $C(D)$ [6]. Таким образом, уравнение (1) фредгольмово в $C(D)$.

Аналогично, уравнение (2) записывается в виде

$$x(t, s) = (Nx)(t, s) + \int_a^s \int_a^b r_1(s, \sigma_1)n(\sigma_1, t, \sigma)x(\sigma, \sigma_1)d\sigma d\sigma_1 + ((I - M)^{-1}f)(t, s). \quad (8)$$

где $r_1(s, \sigma)$ - непрерывное резольвентное ядро интегрального оператора Вольтерра

$$(\tilde{M}x)(s) = \int_a^s m(s, \sigma)x(\sigma)d\sigma.$$

Так как второе слагаемое в (8) есть вполне непрерывный оператор в $C(D)$ [6], то фредгольмовость уравнения (8) равносильна фредгольмовости уравнения (7). Следовательно, уравнение (2) фредгольмово в $C(D)$.

3. Численное решение уравнения Романовского

Уравнения (1) и (2) при $l(t, \tau) \equiv 0$ и $m(s, \sigma) \equiv 0$ совпадают с интегральным уравнением Романовского

$$x(t, s) = (Nx)(t, s) + f(t, s) \equiv \int_a^b n(t, s, \sigma)x(\sigma, t)d\sigma + f(t, s), \quad (9)$$

Хорошо известно, что метод механических квадратур решения интегральных уравнений применяется обычно к уравнениям с вполне непрерывными операторами. Оператор N в уравнении (9) не является вполне непрерывным в пространстве $C(D)$. Поэтому уравнение (9) преобразуется к интегральному уравнению с вполне непрерывным оператором в $C(D)$ и для численного решения полученного уравнения применяется метод механических квадратур.

Предположим, что 1 не является точкой спектра оператора N^2 . Тогда уравнение (9) эквивалентно обратимому в $C(D)$ уравнению

$$x(t, s) = (N^2 x)(t, s) + (Nf)(t, s) + f(t, s) \quad (10)$$

с вполне непрерывным интегральным оператором N^2 . Уравнение (10) далее решается методом механических квадратур. При этом используется формула

$$\int_a^b \int_a^b z(t, s) dt ds = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q \gamma_{ijPQ} z(t_i, s_j) + r_{PQ}(z), \quad (11)$$

где $a \leq t_1 < t_2 < \dots < t_P \leq b, a \leq s_1 < s_2 < \dots < s_Q \leq b$. Предполагается, что квадратурный процесс (11) сходится, т.е. для любой непрерывной функции $f \in C(D)$ выполняется условие

$$r_{PQ}(z) = \int_a^b \int_a^b z(t, s) dt ds - \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q \gamma_{ijPQ} z(t_i, s_j) \rightarrow 0 \text{ при } P, Q \rightarrow \infty.$$

Уравнение (10) запишем в виде

$$x(t, s) = \int_a^b \int_a^b k(t, s, \sigma, \sigma_1) x(\sigma_1, \sigma) d\sigma_1 d\sigma + g(t, s), \quad (12)$$

где $k(t, s, \sigma, \sigma_1) = n(t, s, \sigma) n(\sigma, t, \sigma_1)$, а функция $g(t, s)$ определяется равенством

$$g(t, s) = \int_a^b n(t, s, \sigma) f(\sigma, t) d\sigma + f(t, s).$$

Полагая в (12) $t = t_p, s = s_q$ и заменяя интеграл по формуле

$$\int_a^b \int_a^b k(t_p, s_q, \sigma, \sigma_1) x(\sigma_1, \sigma) d\sigma_1 d\sigma = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q \gamma_{ijPQ} k_{pqij} x(t_i, s_j) + r_{pqPQ},$$

где $k_{pqij} = k(t_p, s_q, t_i, s_j)$, а r_{pqPQ} — остаток, получим систему, после отбрасывания остатков в уравнениях которой будем иметь систему уравнений для приближенных значений x_{pq} функции x в точках (t_p, s_q) ($p = 1, \dots, P; q = 1, \dots, Q$):

$$x_{pq} = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q \gamma_{ijPQ} k_{pqij} x_{ij} + g(t_p, s_q) \quad (p = 1, \dots, P; q = 1, \dots, Q), \quad (13)$$

где $x_{ij} = x(t_i, s_j)$. В силу [8] справедлива

Теорема 1. Пусть выполнены условия:

- 1) при каждом P и Q коэффициенты γ_{ijPQ} формулы (11) положительны и существует такое число G , что $\gamma_{ijPQ} \leq G$;
- 2) процесс (11) сходится;
- 3) $x_0 \in C(D)$ — решение уравнения (12).

Тогда при достаточно больших P и Q система (13) имеет решение x_{pq} ($p = 1, \dots, P; q = 1, \dots, Q$), $\max_{1 \leq p \leq P, 1 \leq q \leq Q} |x_{pq} - x_0(t_p, s_q)| \rightarrow 0$ при $P, Q \rightarrow \infty$, а скорость сходимости оценивается неравенствами $c_1 R_{PQ} \leq \max_{1 \leq p \leq P, 1 \leq q \leq Q} |x_{pq} - x_0(t_p, s_q)| \leq c_2 R_{PQ}$, где c_1 и c_2 — положительные постоянные,

$$R_{PQ} = \max_{1 \leq p \leq P, 1 \leq q \leq Q} |r_{pqPQ}(z_{pqPQ})|, \quad z_{pqPQ}(t, s) = k(t_p, s_q, t, s) x_0(t, s).$$

Аналитическое приближение $x_{pq}(t, s)$ к решению уравнения (12) естественно определить

$$\text{равенством } x_{pq}(t, s) = hg \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q \gamma_{ijPQ} k(t, s, t_i, s_j) x_{ij} + g(t, s).$$

Список литературы

1. Appell J.M., Kalitvin A.S., Zabrejko P.P. Partial Integral Operators and Integro-Differential Equations. New York-Basel: Marcel Dekker, 2000. 560 pp.
2. Romanovskij V.I. Sur une classe d'equations integrales lineares// Acta Math. 1932. Vol. 59, pp. 99-208.
3. Калитвин А.С. Линейные операторы с частными интегралами. Воронеж: ЦЧКИ, 2000. 252 с.
4. Калитвин А.С., Калитвин В.А. Интегральные уравнения Вольтерра и Вольтерра-Фредгольма с частными интегралами. Липецк, ЛГПУ, 2013. 177 с.
5. Калитвин А.С., Фролова Е.В. Линейные уравнения с частными интегралами. С-теория. Липецк, ЛГПУ, 2015. 195 с.
6. Калитвин А.С. Интегральные уравнения типа Романовского с частными интегралами. Липецк, ЛГПУ, 2014. 196 с.
7. Крейн С.Г. Линейные уравнения в банаховом пространстве. М.: Наука, 1971. 104с.
8. Вайникко Г.М. Возмущенный метод Галёркина и общая теория приближённых методов для нелинейных уравнений// Журнал вычислительной математики и математической физики, 1967, т. 7, № 4, с. 723-751.

05.13.00

И.Г. Кольцов, Е.Н. ЧернопрудоваГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»,
ikoltcov@yandex.ru**ТРИАНГУЛЯЦИЯ МНОГОУГОЛЬНИКОВ В ЗАДАЧЕ ТРЕХМЕРНОЙ НАВИГАЦИИ
В МНОГОЭТАЖНЫХ КОРПУСАХ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МОБИЛЬНОГО
ПРИЛОЖЕНИЯ****DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-200-203**

В работе предложен алгоритм триангуляции на основе метода «отрезания ушей», позволяющий визуализировать без ошибок помещения сложной формы в многоэтажных корпусах предприятия для последующего применения в мобильной трехмерной навигации.

Ключевые слова: *триангуляция, разбиение многоугольников, навигация, метод «отрезания ушей».*

При автоматизации проектирования карт на основе поэтажных планов предприятия для мобильного навигационного приложения, появляется проблема уникальности размеров и границ каждого помещения. Не все помещения имеют 4 стены и 4 угла – в современных зданиях основание комнаты может принимать форму любого многоугольника. При этом этот многоугольник может быть **вогнутым**. Но компьютерные средства позволяют правильно визуализировать только выпуклые многоугольники. На рисунке 1 представлены два многоугольника, каждый из которых был визуализирован как полигон. Разделение первого многоугольника графическим интерфейсом не вызвало никаких проблем (рисунок 1а). Второй многоугольник графический интерфейс разделил так, что появилась лишняя область, нарушающая заданную форму фигуры из-за того что он является вогнутым.

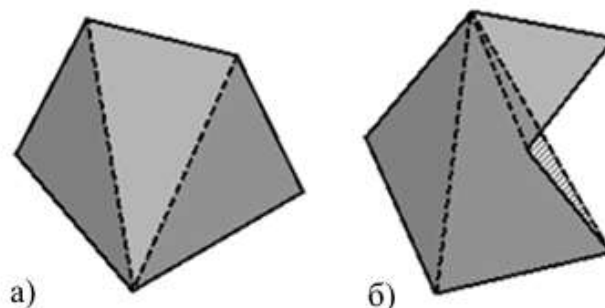


Рис. 1 – Пример разбиения выпуклого и вогнутого многоугольника

Таким образом, необходимо разбить вогнутый многоугольник на треугольники, то есть осуществить триангуляцию[1, 2]. Учитывая специфику разрабатываемого программного средства триангуляция осуществляется средствами OpenGL ES 2.0 – графического интерфейса для встраиваемых систем, используемого для визуализации на мобильных телефонах, смартфонах, КПК и игровых консолях. Недостатком используемого интерфейса является отсутствие многих высокоуровневых функций, в том числе и триангуляции.

Одним из алгоритмов триангуляции является метод «Отрезание ушей»[2, 3]. Пусть P – многоугольник, состоящий из множества вершин v_n . Тогда вершина v_i называется ухом, если диагональ $v_{i+1}v_{i-1}$ лежит строго во внутренней области многоугольника P . Теорема «О существовании двух ушей многоугольника» – у любого просто n -вершинного многоугольника всегда есть два непересекающихся между собой уха. Рассматриваемые случаи представлены на рисунке 2.

В данной работе для реализации триангуляции предложен подход, включающий следующие шаги:

- 1) если количество вершин равно 3, то выходим из цикла.
- 2) если вершина v_i является ухом, то исключаем её из множества вершин.
- 3) переходим к следующей вершине, то есть $i = i + 1$

Уточним, что вершина v_i будет являться ухом, если диагональ $v_{i+1}v_{i-1}$ не пересекает другие грани v_jv_{j+1} , где $j \neq i-1, j \neq i$, и нет вершин v_k , где $k \neq i, k \neq i+1, k \neq i-1$, внутри треугольника $v_iv_{i+1}v_{i-1}$.

Из данного уточнения следует, что сложность алгоритма $O(n^3)$.

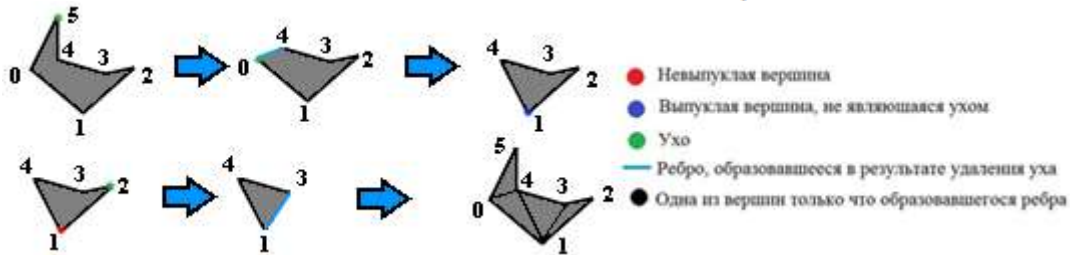


Рис. 2 – Алгоритм триангуляции методом «отрезания ушей»

Предлагается снизить объем вычислений до $O(n^2)$, рассчитывая ориентацию тройки векторов [4] для каждой трех последовательно заданных вершин при определении уха (схема представлена на рисунке 2):

- Если многоугольник задан **по часовой стрелке** и ориентация тройки векторов $\vec{v_i}\vec{v_{i+1}}\vec{v_{i+2}}$ **положительна** [5], то диагональ v_iv_{i+2} находится во внутренней области многоугольника Р и тогда v_{i+1} – ухо, если нет никаких других вершин в области треугольника $v_iv_{i+1}v_{i+2}$.
- Если многоугольник задан **против часовой стрелки** и ориентация тройки векторов $\vec{v_i}\vec{v_{i+1}}\vec{v_{i+2}}$ **отрицательна** [5], то диагональ v_iv_{i+2} находится во внутренней области многоугольника Р и тогда v_{i+1} – ухо, если нет никаких других вершин в области треугольника $v_iv_{i+1}v_{i+2}$.

В статье предложены рекомендации в реализации следующих шагов, позволяющих полностью произвести триангуляцию данным методом:

1. Определение направления задания вершин многоугольника.
2. Нахождение ориентации упорядоченной тройки векторов.
3. Проверка нахождения точки во внутренней области треугольника.

Определение направления задания вершин многоугольника. Чтобы определить в какую сторону заданы вершины многоугольника (по часовой или против часовой стрелки) необходимо посчитать ориентированную площадь этого многоугольника [6]. Для этого нужно разбить его на треугольники ϵv_iv_{i+1} , где ϵ – вектор(0, 0), то есть общая вершина для всех треугольников. Таким образом, ориентированная площадь одного треугольника будет рассчитываться по следующему виду [1, 4]:

$$S_{\epsilon v_iv_{i+1}} = \frac{(v_{ix} - \epsilon_x) * (v_{i+1y} - \epsilon_y) - (v_{i+1x} - \epsilon_x) * (v_{iy} - \epsilon_y)}{2}.$$

Сумма ориентированных площадей всех этих треугольников будет являться ориентированной площадью всего многоугольника:

$$S_p = \sum_{i=0}^n \frac{(v_{ix} - \epsilon_x) * (v_{i+1y} - \epsilon_y) - (v_{i+1x} - \epsilon_x) * (v_{iy} - \epsilon_y)}{2}.$$

Рассчитанная ориентированная площадь многоугольника позволяет определить, в какую сторону заданы вершины многоугольника – если площадь положительна, то вершины заданы

по часовой стрелке, если отрицательна, то вершины заданы против часовой стрелки [6].

Примечание. Для оптимизации можно рассчитывать удвоенную площадь (не производить деление на 2) и полностью исключить из уравнения (при условии что $\vec{E}(0,0)$).

Нахождение ориентации упорядоченной тройки векторов. Упорядоченная тройка векторов $\vec{a}\vec{b}\vec{c}$ будет называться **правой** (ориентация положительна) при истинности данного выражения[4, 7]:

$$(b_x - a_x) * (c_y - a_y) - (c_x - a_x) * (b_y - a_y) > 0$$

Упорядоченная тройка векторов $\vec{a}\vec{b}\vec{c}$ будет называться **левой** (ориентация отрицательна) при истинности данного выражения[4, 7]:

$$(b_x - a_x) * (c_y - a_y) - (c_x - a_x) * (b_y - a_y) < 0$$

Проверка нахождения точки во внутренней области треугольника.

Треугольник задан тремя точками abc , необходимо проверить находится ли внутри этого треугольника точка k , представленная на рисунке 3. Для этого необходимо вычислить псевдоскалярное произведение (ориентированную площадь) треугольников abk , ack , bck [4].

– Если все рассчитанные площади имеют один и тот же знак (все либо больше, либо меньше нуля), то точка k лежит во внутренней области треугольника abc .

– Если одна из площадей равна 0, то точка k лежит на границе треугольника abc .

Тогда условие принадлежности точки k внутренней области треугольника abc примет вид[4]:

$$((S_{abk} > 0) \wedge (S_{ack} > 0) \wedge (S_{bck} > 0)) \vee ((S_{abk} < 0) \wedge (S_{ack} < 0) \wedge (S_{bck} < 0)), \text{ где}$$

$$S_{abk} = (a_x - k_x) * (b_y - a_y) - (b_x - a_x) * (a_y - k_y),$$

$$S_{bck} = (b_x - k_x) * (c_y - b_y) - (c_x - b_x) * (b_y - k_y),$$

$$S_{ack} = (c_x - k_x) * (a_y - c_y) - (a_x - c_x) * (c_y - k_y).$$

С помощью приведенного алгоритма триангуляции методом «отрезания ушей» разработан прототип системы, позволяющий проектировать многоэтажные планы корпусов учреждений с помещениями сложной формы. Для правильной визуализации пола и потолка этих помещений использовалась предварительная триангуляция. Скорость работы алгоритма позволило внедрить его в мобильные системы. Примеры таких помещений представлены на рисунке 3.

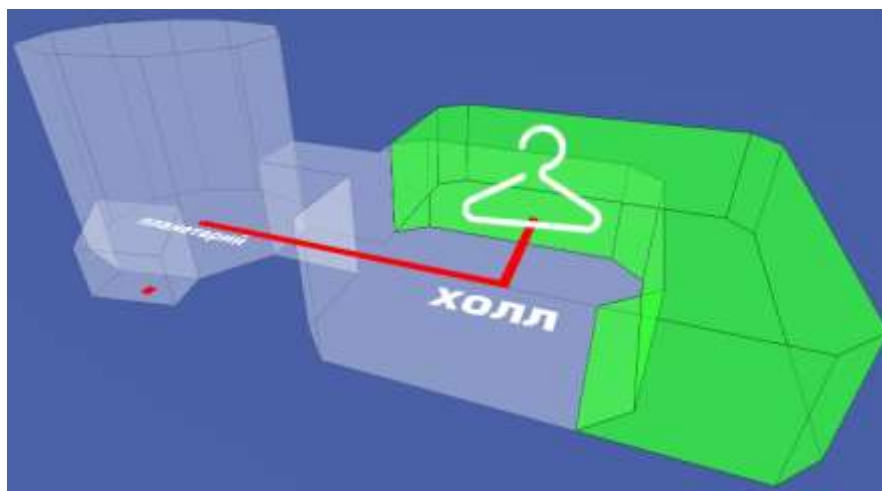


Рис. 3 – Пример помещений различной формы

Таким образом, рекомендованная методика реализации триангуляции методом «отрезания ушей» позволяет визуализировать без ошибок помещения сложной формы в многоэтажных корпусах предприятия для последующего применения в мобильной трехмерной навигации.

Список литературы

1. Лопшиц, А. М. Вычисление площадей ориентированных фигур / А. М. Лопшиц. – Москва: Гостехиздат, 1956. – 60 с.
2. Скворцов, А. В. Алгоритмы построения и анализа триангуляции / А. В. Скворцов, Н. С. Мирза. – Томск : Томский гос. ун-т, 2006. – 168 с. – Библиогр.: с. 164. – ISBN 5-7511-2028-5.
3. Триангуляция полигонов (ушная + монотонная) [Электронный ресурс] / Университет ИТМО. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург, 2017. – Режим доступа: [http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Триангуляция_полигонов_\(ушная_%2B_монотонная\)](http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Триангуляция_полигонов_(ушная_%2B_монотонная)) . – Загл. с экрана (дата обращения: 14.10.2017).
4. Вычислительная геометрия, или как я стал заниматься олимпиадным программированием [Электронный ресурс] / TechMedia : издательство Интернет-проектов для специалистов. – Электрон. дан. – Москва, 2006-2017. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/147691/> . – Загл. с экрана (дата обращения: 17.10.2017).
5. Правая и левая тройки векторов [Электронный ресурс] / SolverBook - онлайн сервисы для учебы. – Электрон. дан. – 2015. – Режим доступа: <http://ru.solverbook.com/spravochnik/vektory/pravaya-i-levaya-trojki-vektorov/> . – Загл. с экрана (дата обращения: 09.11.2017).
6. Определение выпуклости многоугольника [Электронный ресурс] / Baumanki.Net. – Электрон. дан. – 2010-2015. – Режим доступа: <http://baumanki.net/lectures/10-informatika-i-programmirovaniye/278-algoritmy-kompyuternoy-grafiki/3520-33-opredelenie-vypuklosti-mnogougolnika.html> . – Загл. с экрана (дата обращения: 23.10.2017)
7. Башмаков, М. Что такое вектор? / М. Башмаков // Квант. – 1976. – № 4. – С. 2-5.

05.13.15

А.С. Коржавина, В.С. Князьков

Вятский государственный университет,
институт математики и информационных систем,
кафедра электронных вычислительных машин,
Киров, as_korzhavina@vyatsu.ru

МЕТОД РАСШИРЕНИЯ БАЗИСА СИСТЕМ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ СЧИСЛЕНИЯ СО СМЕШАННЫМИ ОСНОВАНИЯМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-204-207

В работе представлен новый эффективный метод выполнения операции расширения базиса, позволяющий конвертировать число в СОК с другим набором оснований, а также расширять диапазон представления чисел. Произведена оценка временной и аппаратной сложности. Разработанный метод имеет как временную, так и аппаратную сложность $O(n)$, и является эффективным с точки зрения соотношения скорости выполнения и аппаратных затрат.

Ключевые слова: *система остаточных классов, расширение базиса, система счисления со смешанными основаниями.*

Система остаточных классов (СОК) – это непозиционная система счисления, которая позволяет заменить последовательные методы выполнения арифметических операций над «длинными» целыми числами в позиционных системах счисления на параллельные методы выполнения арифметических операций над наборами «коротких» целых чисел [1-2]. Преимуществом СОК является простота выполнения операций сложения, вычитания, умножения, а также более простая аппаратно-техническая реализация вычислительных устройств и, как следствие, их более низкое энергопотребление. Существенным недостатком является сложность выполнения немодульных операций, таких как операции масштабирования, деления, определения знака, сравнения и определения переполнения диапазона представления чисел и т.д. Одной из важных и сложно реализуемых операций является операция расширения базиса СОК, которая необходима для выполнения операций деления и масштабирования, контроля ошибок вычислений [3], расширения диапазона представления чисел, например, при реализации алгоритма Монтгомери в приложениях криптографии [4].

Система остаточных классов является непозиционной системой счисления, в которой значения позиционного числа A число представлено набором n остатков $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ от деления числа A на каждый из n модулей $p_i \in \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ [1-2]:

$$x_i = |A|_{p_i} = A - \left\lfloor \frac{A}{p_i} \right\rfloor \cdot p_i, i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где $\lfloor A/p_i \rfloor$ – целая часть частного A/p_i , $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – набор оснований или базис СОК, произведение $P = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n$ определяет диапазон представления чисел $A \in [0; P)$ в СОК.

Расширение базиса, или смена базиса – это процедура, в которой осуществляется поиск значения $(x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m})$ числа в СОК с новыми основаниями $\{p_{n+1}, p_{n+2}, \dots, p_{n+m}\}$, представленного изначально в виде $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в СОК с основаниями $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. Для вычисления остатка от деления x_{n+j} числа, представленного в СОК, по новому основанию p_{n+j} , $j \in [1, m]$ используются коэффициенты системы счисления со смешанными

основаниями [2, 5]:

$$x = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 \cdot p_1 + \dots + \bar{x}_n \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_{n-1} \quad (2)$$

где $\langle p_1, p_2, \dots, p_n \rangle$ – упорядоченный набор оснований СОК, $\langle 1, p_1, p_1 \cdot p_2, \dots, p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_{n-1} \rangle$ – базис системы счисления со смешанными основаниями с коэффициентами $\langle \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n \rangle$, которые вычисляются следующим образом [2]:

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= x_1, \\ \bar{x}_2 &= \left| (x_2 - \bar{x}_1) \cdot |p_1^{-1}|_{p_2} \right|_{p_2}, \\ \bar{x}_3 &= \left| \left((x_3 - \bar{x}_1) \cdot |p_1^{-1}|_{p_3} - \bar{x}_2 \right) \cdot |p_2^{-1}|_{p_3} \right|_{p_3} \text{ и т.д.} \end{aligned} \quad (3)$$

Точный метод определения остатка от деления по новому модулю, основанный на преобразовании числа в систему счисления со смешанными основаниями, был предложен Сабо и Танакой [2]:

$$|x|_{p_{n+1}} = \left| |\bar{x}_1|_{p_{n+1}} + |\bar{x}_2 \cdot p_1|_{p_{n+1}} + \dots + |\bar{x}_n \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_{n-1}|_{p_{n+1}} \right|_{p_{n+1}} = \left| \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \cdot |\tilde{P}_i|_{p_{n+1}} \right|_{p_{n+1}} \quad (4)$$

Как видно из уравнений (3), процесс получения коэффициентов СС со смешанными основаниями последовательный, при этом на каждом шаге вычисляется очередной разряд СС со смешанными основаниями $\langle \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n \rangle$, который может сразу же использоваться для вычисления остатка по формуле (4). Таким образом, можно совместить во времени процесс получения коэффициентов $\langle \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n \rangle$ и вычисления остатков от деления.

Обозначим $\langle \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n \rangle$ – коэффициенты системы счисления со смешанными основаниями $x_{p_{n+j}}^k$ – промежуточные значения остатков от деления по модулям p_{n+j} , $j \in [1, m]$ на шаге k , $|\tilde{P}_k|_{p_{n+j}}$ – значение $\left| \prod_{i=1}^k p_i \right|_{p_{n+j}}$. Тогда процесс получения остатков $(x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m})$ по модулям $\{p_{n+1}, p_{n+2}, \dots, p_{n+m}\}$, будет состоять из следующих шагов.

Шаг 1. На первом шаге известно значение коэффициента $\bar{x}_1 = x_1$. Данное значение может быть использовано для начала вычисления остатков по модулям $\{p_{n+1}, p_{n+2}, \dots, p_{n+m}\}$, а также для начала вычисления остальных коэффициентов:

$$\bar{x}_2 = \left| (x_2 - \bar{x}_1) \cdot |p_1^{-1}|_{p_2} \right|_{p_2}; \bar{x}_i = \left| (x_i - \bar{x}_1) \cdot |p_1^{-1}|_{p_i} \right|_{p_i}; i \in [3, n];$$

$$x_{p_{n+j}}^1 = |\bar{x}_1|_{p_{n+j}}; |\tilde{P}_1|_{p_{n+j}} = |p_1|_{p_{n+j}}; j \in [1, m];$$

вычисления всех значений $\bar{x}_2, \bar{x}_i, x_{p_{n+j}}^1, |\tilde{P}_1|_{p_{n+j}}$ производятся параллельно.

$$\text{Шаг 2. } \bar{x}_3 = \left| (\bar{x}_2 - \bar{x}_1) \cdot |p_2^{-1}|_{p_3} \right|_{p_3}; \bar{x}_i^2 = \left| (x_i^1 - \bar{x}_2) \cdot |p_2^{-1}|_{p_i} \right|_{p_i}, i \in [4, n];$$

$$x_{p_{n+j}}^2 = \left| x_{p_{n+j}}^1 + |\bar{x}_2 \cdot \tilde{P}_1|_{p_{n+j}} \right|_{p_{n+j}}; |\tilde{P}_2|_{p_{n+j}} = \left| |\tilde{P}_1|_{p_{n+j}} \cdot p_2 \right|_{p_{n+j}}; j \in [1, m];$$

вычисления всех значений $\bar{x}_3, \bar{x}_i^2, x_{p_{n+j}}^2, |\tilde{P}_2|_{p_{n+j}}$ выполняются параллельно.

...

$$\text{Шаг } k. \bar{x}_{k+1} = \left| (\bar{x}_{k+1}^{k-1} - \bar{x}_k) \cdot |p_k^{-1}|_{p_{k+1}} \right|_{p_{k+1}}; \bar{x}_i^k = \left| (\bar{x}_i^{k-1} - \bar{x}_k) \cdot |p_k^{-1}|_{p_i} \right|_{p_i}; i \in [k+2, n]$$

$$x_{p_{n+j}}^k = \left| x_{p_{n+j}}^{k-1} + \left| \tilde{x}_k \cdot \left| \tilde{P}_{k-1} \right|_{p_{n+j}} \right|_{p_{n+j}} \right|_{p_{n+j}} ; \left| \tilde{P}_k \right|_{p_{n+j}} = \left| \tilde{P}_{k-1} \right|_{p_{n+j}} \cdot p_k \Big|_{p_{n+j}} ; j \in [1, m];$$

вычисления всех значений $\tilde{x}_{k+1}$, $\tilde{x}_i^k$, $x_{p_{n+j}}^k$, $\left| \tilde{P}_k \right|_{p_{n+j}}$ выполняются параллельно.

...

Шаг $n-1$. На предпоследнем шаге вычисляется значение последнего коэффициента $\tilde{x}_n$.

$$\tilde{x}_n = \left| (\tilde{x}_n^{n-2} - \tilde{x}_{n-1}) \cdot \left| p_{n-1}^{-1} \right|_{p_n} \right|_{p_n} ;$$

$$x_{p_{n+j}}^{n-1} = \left| x_{p_{n+j}}^{n-2} + \left| \tilde{x}_{n-1} \cdot \left| \tilde{P}_{n-2} \right|_{p_{n+j}} \right|_{p_{n+j}} \right|_{p_{n+j}} ; \left| \tilde{P}_{n-1} \right|_{p_{n+j}} = \left| \tilde{P}_{n-2} \right|_{p_{n+j}} \cdot p_k \Big|_{p_{n+j}} ; j \in [1, m];$$

вычисления всех значений $\tilde{x}_n$, $x_{p_{n+j}}^{n-1}$, $\left| \tilde{P}_{n-1} \right|_{p_{n+j}}$ выполняются параллельно.

Шаг n . На последнем шаге заканчивается вычисление остатков:

$$x_{p_{n+j}}^n = \left| x_{p_{n+j}}^{n-1} + \left| \tilde{x}_n \cdot \left| \tilde{P}_{n-1} \right|_{p_{n+j}} \right|_{p_{n+j}} \right|_{p_{n+j}} ; j \in [1, m].$$

вычисления всех значений $x_{p_{n+j}}^n$ выполняются параллельно.

Полученные значения $x_{p_{n+j}}^n$ равны остаткам $(x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m})$ по модулям $\{p_{n+1}, p_{n+2}, \dots, p_{n+m}\}$.

Пример. Пусть число $X = (1, 4, 2)$ (позиционное представление числа $A = 79$) представлено в СОК с базисом $\{3, 5, 7\}$. Необходимо найти представление этого числа в СОК с базисом $\{3, 5, 7, 11, 13\}$, то есть расширить существующий базис модулями $\{11, 13\}$.

Шаг 1. $\tilde{x}_1 = x_1 = 1$.

$$\tilde{x}_2 = \left| (x_2 - \tilde{x}_1) \cdot \left| p_1^{-1} \right|_{p_2} \right|_{p_2} = \left| (4 - 1) \cdot \left| 3^{-1} \right|_{5|_5} \right|_{5} = 1; \tilde{x}_3 = \left| (x_3 - \tilde{x}_1) \cdot \left| p_1^{-1} \right|_{p_3} \right|_{p_3} = \left| (2 - 1) \cdot \left| 3^{-1} \right|_{7|_7} \right|_{7} = 5;$$

$$x_{p_4}^1 = \left| \tilde{x}_1 \right|_{p_4} = \left| 1 \right|_{11} = 1; x_{p_5}^1 = \left| \tilde{x}_1 \right|_{p_5} = \left| 1 \right|_{13} = 1; \left| \tilde{P}_1 \right|_{p_4} = \left| p_1 \right|_{p_4} = \left| 3 \right|_{11} = 3; \left| \tilde{P}_1 \right|_{p_5} = \left| p_1 \right|_{p_5} = \left| 3 \right|_{13} = 3.$$

Шаг 2. $\tilde{x}_2 = 1$.

$$\tilde{x}_3 = \left| (\tilde{x}_3^1 - \tilde{x}_2) \cdot \left| p_2^{-1} \right|_{p_3} \right|_{p_3} = \left| (5 - 1) \cdot \left| 5^{-1} \right|_{7|_7} \right|_{7} = 5;$$

$$x_{p_4}^2 = \left| x_{p_4}^1 + \left| \tilde{x}_2 \cdot \left| \tilde{P}_1 \right|_{p_4} \right|_{p_4} \right|_{p_4} = \left| 1 + \left| 1 \cdot 3 \right|_{11|_{11}} \right|_{11} = 4; x_{p_5}^2 = \left| x_{p_5}^1 + \left| \tilde{x}_2 \cdot \left| \tilde{P}_1 \right|_{p_5} \right|_{p_5} \right|_{p_5} = \left| 1 + \left| 1 \cdot 3 \right|_{13|_{13}} \right|_{13} = 4;$$

$$\left| \tilde{P}_2 \right|_{p_4} = \left| \left| \tilde{P}_1 \right|_{p_4} \cdot p_2 \right|_{p_4} = \left| 3 \cdot 5 \right|_{11} = 4; \left| \tilde{P}_2 \right|_{p_5} = \left| \left| \tilde{P}_1 \right|_{p_5} \cdot p_2 \right|_{p_5} = \left| 3 \cdot 5 \right|_{13} = 2.$$

Шаг 3. $\tilde{x}_3 = 5$

$$x_{p_4}^3 = \left| x_{p_4}^2 + \left| \tilde{x}_3 \cdot \left| \tilde{P}_2 \right|_{p_4} \right|_{p_4} \right|_{p_4} = \left| 4 + \left| 5 \cdot 4 \right|_{11|_{11}} \right|_{11} = 2; x_{p_5}^3 = \left| x_{p_5}^2 + \left| \tilde{x}_3 \cdot \left| \tilde{P}_2 \right|_{p_5} \right|_{p_5} \right|_{p_5} = \left| 4 + \left| 5 \cdot 2 \right|_{13|_{13}} \right|_{13} = 1.$$

Таким образом, число $X = (1, 4, 2)$, представленное в СОК с базисом $\{3, 5, 7\}$, будет иметь представление $X^* = (1, 4, 2, 2, 1)$ в СОК с базисом $\{3, 5, 7, 11, 13\}$.

Разработанный метод позволяет полностью сменить модулярное представление за n шагов, при этом время выполнения составляет $t = n \cdot (t_A + t_M)$, где t_A - время выполнения операции модулярного сложения/ вычитания, t_M - время выполнения операции модулярного умножения. Для реализации метода потребуется $(n-1)$ модулярных вычитателей, $(n+m-1)$ модулярных умножителей, m модулярных сумматоров, $(n+m+1)$ регистров для хранения промежуточных результатов. Данный метод имеет сложность $O(n)$ как временную, так и аппаратную, и является крайне эффективным с точки зрения соотношения скорости выполнения и аппаратных затрат. Разработанный метод наиболее целесообразно использовать для расширения базиса, полной или частичной смены базиса в процессе вычислений над большими объемами данных.

Список литературы

1. Акушский И. Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий. – М.: Советское радио, 1968. – 440 с.
2. Szabo N., Tanaka R. Residue Arithmetic and Its Applications to Computer Technology. New York, NY, USA: McGraw Hill, 1967, 236p.
3. Czyżak M., Smyk R., Ulman Z. Pipelined scaling of signed residue numbers with the mixed-radix conversion in the programmable gate array. Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, no. 8, 2013, pp. 89-99.
4. Bajard J. C., Eynard J., Merkiche N. Montgomery reduction within the context of residue number system arithmetic. Journal of Cryptographic Engineering, 2017, pp. 1-12.
5. Hitz M., Kaltofen E. Integer division in Residue Number Systems. /IEEE Trans. on Computers, 1995, vol. 44(8), pp. 983–989.

05.13.10

С.И. Мельников

Учебно-производственный центр –филиал ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»,
Арзамас, serg_m84@list.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НЕПРЕРЫВНОГО КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-208-210

Наличие ряда существенных ограничений и требований к информационной системе ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» в силу состояние инфраструктуры информационных технологий делает невозможным использование онлайн доступа к единой базе данных и использование двухфазных транзакций. В данной работе представлена разработка оригинального механизма синхронизации распределенных баз данных на основе метода асинхронной доставки журнала транзакций.

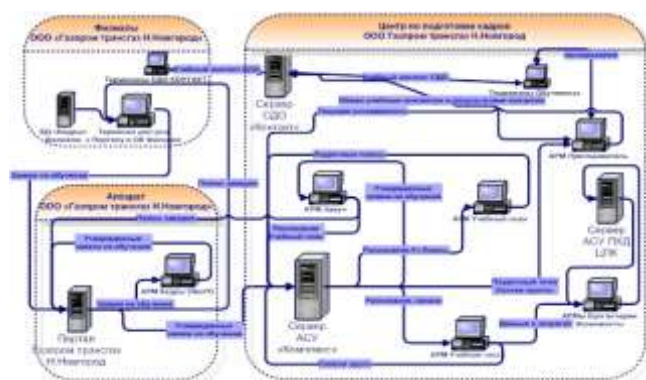
Ключевые слова: *многоуровневые системы, распределенные системы, базы данных, управление, локальные ресурсы, система сопровождения процесса обучения.*

Современные организации, начиная от крупнейших международных корпораций и заканчивая мелкими частными компаниями, функционируют в сложной социально-экономической среде.

Одной из локальных задач является развитие собственного персонала, которое обеспечивает внутренние условия для устойчивого развития компании. Таким образом, управление развитием персонала – одна из основных задач работодателя, заинтересованного в динамичном развитии предприятия с постоянным повышением эффективности и качества реализуемых бизнес-процесса, ориентированного на принципы делового партнерства и социальной ответственности перед своими работниками.

Анализ бизнес-процесса «Обучение» в ООО «Газпром трансгаз Н.Новгород», проведенный методами системного анализа [2] с целью минимизации затрат и привлечением предметных специалистов, отвечающих за подготовку кадров предприятия, показал необходимость создания системы управления процессом корпоративного обучения.

Применение программно-технических комплексов при решении большинства типовых задач позволяет повысить качество обучения в совокупности с достижением некоторых иных положительных результатов, например, разгрузка преподавателя от рутинной работы. Очевидно, что внедрение автоматизированных систем в данной сфере нужно проводить весьма осторожно, так как излишняя автоматизация может сделать систему неудобной в работе и недостаточно гибкой [3].



а) Многоуровневая архитектура процесса управления системой непрерывного образования



б) Общая модель взаимодействия модулей

Рис. 1 – Многоуровневая система управления процессом образования

Описываемая схема представляет собой сложный многоуровневый процесс (Рис 1), который должен обеспечивать информационную поддержку для участников бизнес-процесса в условиях курсового обучения, характеризующегося краткосрочностью, высокой интенсивностью обучения и территориальной удаленностью филиалов Общества [4]. Очевидной является и необходимость функционирования системы в едином информационном пространстве.

Объект управления и обоснование разработки системы репликаций

Состояние инфраструктуры информационных технологий ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» в настоящее время имеет следующие характеристики - используемая операционная система – Microsoft Windows (в локальном и серверном варианте), пропускная способность каналов связи между Аппаратом управления и филиалами – минимум 56 кбит (для ряда филиалов).

Требования информационной безопасности, и соответственно таблицы маршрутизации на коммуникационном оборудовании, запрещают прямой доступ к объектам «чужого» филиала. Обмен данными между филиалами возможен только через общие информационные ресурсы. На предприятии развернута АСУ ПХД использующая в качестве СУБД MS SQL Server 2005 (2008, 2008R2) SE, серверы которой расположены в филиалах и Аппарате управления.

На предприятии имеется значительное количество разнородных автоматизированных систем по различным направлениям деятельности, в том числе морально устаревших базирующийся на «плоских» [5] таблицах (последствия «лоскутной» автоматизации), причем ИТ-персонал филиалов имеет различный уровень компетентности, однако, достаточный для обслуживания серверов АСУ ПХД в штатном режиме.

Исходя из описания бизнес-процесса, состояния ИТ-инфраструктуры сформулирован ряд требований предъявляемых к разрабатываемой системе, в части выбора инструментальных средств при реализации проекта определяется наличием лицензий на используемое программное обеспечение, а также возможности использования существующей инфраструктуры и возможность интеграции с эксплуатируемыми информационными системами автоматизации производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Указанная прикладная система должна обеспечивать ведение корпоративных справочников и консолидацию данных на уровне предприятия.

В процессе функционирования должна обеспечиваться работа в сложной сетевой топологии взаимодействующих баз данных, с возможными циклами и условиями работы экземпляра базы данных одновременно в роли подписчика и публикатора, максимальная независимость от редакции используемой СУБД, возможность реплицировать метаданные.

Синхронизация распределенных баз данных на основе метода асинхронной доставки журнала транзакций

Описанные в предыдущем разделе ограничения привели к необходимости разработки оригинального механизма синхронизации распределенных баз данных на основе метода асинхронной доставки журнала транзакций, который в настоящее время практически используется и в других вертикально интегрированных системах предприятия.

Основная задача систем управления распределенными базами данных состоит в обеспечении средства интеграции локальных баз данных, располагающихся в некоторых узлах вычислительной сети, с тем, чтобы пользователь, работающий в любом узле сети, имел доступ ко всем этим базам данных как к единой базе данных. При этом должна обеспечиваться простота использования системы, возможность автономного функционирования при нарушениях связности сети или при административных потребностях, высокая степень эффективности.

С точки зрения реализации система состоит из 2-х частей серверная и внешняя.

Серверная часть содержит таблицы со списками подписчиков и публикаторов для текущей базы данных, описание тиражируемых таблиц, изменяемые данные и метаданные в виде SQL операторов), автоматически создаваемые триггеры (по шаблонам) на реплицируемых таблицах, обеспечивающих формирование очередей реплик в одной

транзакции с модификацией данных и генерацию уникальных устойчивых идентификаторов строк в заданном для БД диапазоне.

Внешняя часть представляет собой исполняемый модуль, который обеспечивает работу в пакетном и пользовательском режиме, считывание очереди изменений из БД и формирование внешнего файла с применением методов компрессии на лету (и при необходимости шифрование данных), чтение входящего файла, применимости для текущей БД, декомпрессия и последовательное выполнение SQL команд.

Указанный принцип построения системы минимизирует работы по настройке БД на удаленных узлах, т.к. все объекты сразу включаются в скрипт генерации БД и она готова принимать DDL пакеты из агрегированной БД без участия администратора СУБД.

Также этот механизм позволяет помещать в очередь DDL-пакеты, выполнять их без участия администратора удаленной базы данных и контролировать их выполнения на удаленных БД, что исключает ситуацию рассогласованности операторов манипулирования данными со структурой базы данных.

Ручное создание триггеров привело к разработке механизмов автоматической генерации триггеров на основании метаданных.

В целом, за счет использования стандарта ANSI SQL-92 возможно использование системы для интеграции внутри гетерогенной системы.

Этот механизм позволяет помещать в очередь DDL-пакеты, выполнять их без участия администратора удаленной базы данных и контролировать их выполнения на удаленных БД, что исключает ситуацию рассогласованности операторов манипулирования данными со структурой базы данных.

Таким образом, в работе представлен новый механизм синхронизации распределенных баз данных на основе метода асинхронной доставки журнала транзакций, который позволяет обойти ограничения, имеющиеся в IT-инфраструктуре, внедренной в систему управления ресурсами ООО "Газпром трансгаз Нижний Новгород". Описан результат работы в виде серверной и внешней части системы и приводится описание архитектуры взаимодействия на разных уровнях.

Список литературы

1. *Ларин П.А., Скудняков С.В.* Опыт разработки, внедрения и эксплуатации интерактивной диалоговой системы дистанционного обучения «Контакт» в информационном пространстве ООО «Волготрансгаз». Интеграция науки, экономики и образования в решении социально-экономических образовательных проблем // Сборник научных статей. – М.: Российский университет кооперации, 2007. – 179 с.
2. *Расстригин Л.А.* Адаптация сложных систем // Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
3. *Мельников С.И.* Синтез модели информационных процессов при разработке инструментальной среды сопровождения учебного процесса обучения в учебных заведениях курсового профиля // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16-19 июня 2014 г.: Труды. М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – 2014. – С. 9424–9434.
4. *Волков Н.В., Скудняков С.В., Старко М.С., Мельников С.И., Обухова О.А.* Многоуровневая автоматизированная система организации процесса в учебных заведениях курсового профиля // Презентация учебно-методических разработок системы непрерывного фирменного профессионального образования ОАО «Газпром». – 2008~года. – ОАО «Газпром». – Департамент по управлению персоналом.
5. Data Integration Glossary Archived March 20, 2009, at the Wayback Machine. // U.S. Department of Transportation. – August. – 2001.

05.13.01

А.С. Овдина, И.Е. Жигалов д.т.н., М.И. Озерова к.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых,
Кафедра информационных систем и программной инженерии,
Владимир, ozerovam@rambler.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЯВОК НА БАНКОВСКИЕ ГАРАНТИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-211-213

Статья посвящена автоматизации процесса распределения, разработке алгоритма оптимального распределения заявок в режиме реального времени, на примере банковской интернет площадки. Отличительной особенностью данного алгоритма является учет множества критериев, влияющих на точность распределения заявка-банк.

Ключевые слова: венгерский алгоритм, оптимизация, распределение, паросочетание, автоматизация.

Введение

В настоящее время задача автоматизации процесса оптимального распределения большого потока запросов в режиме реального времени с учетом граничных условий является актуальной для многих приложений. Одна из таких задач – реализация обеспечительных мер на рынке госзаказа с использованием продукта банковская гарантия (БГ). Сегодня становятся популярными межбанковские интернет площадки по выдаче БГ, которые работают с достаточно большим количеством как заявок на получение БГ, так и банков, предоставляющих такой продукт. Именно поэтому оптимизация процесса распределения заявок на получение БГ является актуальной задачей.

Основная цель разрабатываемого алгоритма состоит в автоматизации процесса распределения потока задач в режиме реального времени с учетом имеющихся предпочтений и ограничений. При этом критерием оптимальности является время распределения и количество заявок, распределенных по банкам, выдающим БГ за один пул.

Постановка задачи

Первоначально определяются группы параметров, определяющих порядок очерёдности заявки от компании-заявителя (Принципале) и группа параметров, определяющая коэффициент приоритетности банка (Гарант), выдающего БГ. Необходимо распределить поступающие заявки на БГ среди банков гарантов.

Подобного рода задачи хорошо решаются методами, описанными в работах [1,2], достаточно хорошо изучены и реализованы как в виде алгоритмов, так и в виде программ. Например, в работе [3] аналогичная задача распределения заказов таксопарка решена путем оптимизации венгерского метода. В работе [4] оптимизация распределения кредитных заявок на примере ПАО Сбербанк, решена исходя из того, что минимальное время исполнения каждой заявки в потоке обеспечивает минимальное время исполнения всего потока заявок.

Несмотря на множество решений [5], из-за нестандартности математической модели, добавления критериев, роста требований к результатам, требуется адаптация и оптимизация существующих решений под конкретные области применения.

Алгоритм автоматизации процесса распределения заявок

На основании анализа информации о банке (Гарант) и заявки на БГ от компании-заявителя (Принципале), определяются параметры оценки приоритетности заявки компании-заявителя (Принципале) и банка (Гарант), выдающего БГ. Необходимо распределить пул поступающих

заявки на БГ среди банков гарантов таким образом, чтобы число нераспределенных по банкам заявок было минимально возможным, с учетом условий выдачи БГ конкретным банком.

В систему поступает N количество заявок, отправлено и принято банком N_p заявок, $N - N_p \rightarrow \Delta N_{min}$.

Для упрощения задачи принимаем, что заявки в пуле являются однородными, распределение заявок зависит от критериев, формулируемых банками. Критерии определяют поступления заявки именно в тот банк, который выдаст БГ по максимальному выполнению заданных ограничений.

Задачу распределения заявок на БГ можно представить в виде двудольного графа $Z = (P, G)$, где $P = \{x_1 \dots x_i\}$ – множество параметров компании-заявителя, $G = \{z_1 \dots z_j\}$ – множество параметров банка, $Y = \{y_{ij}\}$ – множество ребер, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$ связывающих вершины из множества P и вершины из множества G . Каждому ребру множества Y соответствует критерий приоритетности банка Kb_i , i - индекс заявки в общем пуле, j - индекс банка участника торгов.

На основании анализа информации о банке (Гарант) и заявки на БГ от компании-заявителя (Принципале), определяется Коэффициент приоритета банка (Kb_i). Сумма коэффициентов всех банков участников торгов БГ должна быть равна единице, т.к. все банки, участники торгов БГ имеют право получить БГ, а также все поданные заявки должны быть распределены между банками.

$$\sum_{i=1}^n Kb_i = 1,$$

где n – количество банков, i – номер банка, Kb_i – коэффициент банка (0;1). Значение допустимого отклонения от коэффициента β не может превышать наименьшее значение Kb_i .

$$Kb_i \min > \beta$$

$(Kb_i - Zb_i) > \beta$), где Zb_i – относительная величина, количество заявок в i -ом банке (S_i), деленное на общее количество заявок (S).

$$Zb_i = \frac{S_i}{S}$$

В идеале Zb_i стремится к значению Kb_i .

Определение коэффициента приоритетности банка на получение заявки

Коэффициент приоритетности банка на получение заявки на выдачу БГ клиенту Kb_i рассчитывается на основании экспертной оценки, производимой системой автоматически (автоматизированный предварительный андеррайтинг).

При анализе продуктов БГ банков были выявлены основные критерии, влияющие на степень оценки кредитного суждения и рисков по выдаче БГ. Значимость критериев определяют вес. Оценка критериев и их весов произведена экспертным методом. Степень согласованности определялась по коэффициенту конкордации Кендела [6], так как использовалось разное количество выборов.

Коэффициент конкордации W определяется по формуле:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}$$

где $S=170$, $n=5$, $m=5$.

Значение $W = 0.68$ говорит о наличии средней степени согласованности мнений экспертов. Критерий согласования Пирсона: $\chi^2 = 5(5-1)0.68 = 13.6$. Так как χ^2 расчетный 13.6 $\geq$ табличного (13.27670), то $W = 0.68$ – величина не случайная, поэтому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

Коэффициент банка (Kb_i) зависит от степени оценки кредитного суждения (α_i) и значимости банка (μ_j) и рассчитывается по формуле:

$$Kb_i = \frac{\alpha_i \sum P_i + \mu_j \sum G_j}{100}$$

где $P_i = X_i$ – вес параметра i -ой заявки; $G_j = Z_j$ – вес параметра j -го банка;

$$K\delta_i = \frac{\alpha_i \sum X_i^P + \mu_j \sum Z_j^G}{100}$$

где α_i - степени оценки кредитного суждения j -го банка относительно заявки на БГ;

$$\alpha_i = 1 - \frac{R_i}{Z\delta_i}$$

где R_i – показатель уровня обеспечения БГ по заявке.

Коэффициент значимости банка μ_j получается в результате экспертной оценки простоты продукта в каждом банке. Основными параметрами оценки являются порог суммы обеспечения, количество стоп-факторов и срок выдачи БГ:

$$\mu_j = \frac{1}{V_{\max} T_{\text{ср}}}$$

где $V_{\max}$ -максимально возможный объем продукта БГ j -го банка, $T_{\text{ср}}$ – усредненный показатель годовой процентной ставки по продукту БГ.

Для того чтобы избежать погрешности при распределения заявок между банками, вводится коэффициент погрешности ($\beta = 0.0025$).

Реализация алгоритма

Предложенный алгоритм реализован в онлайн-сервисе электронной банковской биржи (ЭББ). Алгоритм автоматизации процесса распределения заявок на получении БГ в мультибанковской среде учитывает специфику банковских показателей, которые влияют на положительное решение по выдачи БГ, протестирован и показал высокую сходимость. Количество нераспределенных и отправленных на повторное рассмотрение заявок составил 5% - 8% .

Список литературы

1. Дискретное программирование / Корбут А.А., Ю.Ю. Финкельштейн. Под редакцией /Д.Б. Юдина – М.: Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, серия «Экономико-математическая библиотека» 1969.-368с.
2. Задачи линейного программирования транспортного типа / Гольштейн Е. Г., Юдин Д. Б. - М., 1969.-384с.
3. Сонькин Д.М. Адаптивный алгоритм распределения заказов обслуживание автомобиля такси // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов-2009-т.315- №5 -с .65-69.
4. Бекларян А. Л., Акопов А. С., Махмудов А. Р. Разработка имитационной модели оптимального распределения кредитных заявок на примере ПАО Сбербанк // <http://docplayer.ru/50221446-Razrabotka-imitacionnoy-modeli-optimalnogo-raspredeleniya-kreditnyh-zayavok-na-primere-pao-sberbank.html>
5. Гараган, С.А., О.А. Павлов Оптимальная организация процесса рассмотрения кредитных заявок // Банковское кредитование.- 2008. - №6. С 39-48.
6. Marozzi M. Testing for concordance between several criteria// Journal of Statistical Computation and Simulation Volume 84, 2014 – P. 1843-1850. doi : 10.1080/ 00949655.2013.766189.

05.13.18

А.В. Павельчук, А.Г. Масловская

Амурский государственный университет,
факультет математики и информатики,
кафедра математического анализа и моделирования,
Благовещенск, maslovskayaag@mail.ru, ap.9.04@mail.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЖЕКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МОДИФИКАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-214-216

В статье представлены результаты разработки системы 3D-имитационного моделирования инжекции электронов при диагностике и модификации сегнетоэлектриков методами РЭМ. Для реализации вычислительной схемы использован метод Монте-Карло. На основе вычислительного эксперимента проведена оценка характеристик инжекционных эффектов для типичных сегнетоэлектриков при параметрах, соответствующих электронно-стимулированному переключению поляризации.

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, инжекция электронов, метод Монте-Карло, система имитационного моделирования.

Одним из важнейших приложений метода Монте-Карло является имитационное моделирование случайных процессов рассеяния и потерь энергии электронами в твердых телах применительно к методикам растровой электронной микроскопии (РЭМ) [1]. Интерес многих исследователей к моделированию случайных блужданий обусловлен также стремительным развитием информационных технологий и программного обеспечения вычислительных систем. На сегодняшний день известен широкий ряд научных работ, посвященных применению метода Монте-Карло для моделирования транспорта электронов в конденсированных средах [2-3], а также разработке авторских программных комплексов CASINO, Penelope, MC-SET и др. Эффекты инжекции и зарядки электронов положены в основу управляемого переключения поляризации доменов сегнетоэлектриков в методиках РЭМ [4]. Особую актуальность данная задача приобрела в связи с направлением доменной инженерии – созданием и стабилизацией низкоразмерных доменных структур. Для анализа полевых эффектов инжектированных зарядов и исследования условий электронно-стимулированного переключения поляризации в сегнетоэлектриках требуется аппроксимация внутреннего источника [5]. Решение подобных задач обуславливает специфику предметной области и требует разработки программного обеспечения, позволяющего проводить расчет транспорта электронов в облученной мишени. Поэтому цель настоящей работы – разработка системы 3D-имитационного моделирования, предназначенной для анализа процессов инжекции электронов в сегнетоэлектриках при диагностике и модификации их электрических свойств электронными пучками средних энергий.

Динамическая 3D-модель транспорта электронов в твердых телах при облучении электронным зондом РЭМ базируется на физической модели однократных взаимодействий электронов с веществом [2]. Метод моделирования электронных траекторий представляет собой вариацию метода Монте-Карло. В математической постановке задачи учтены упругие и неупругие процессы взаимодействия электронов с образцом, вызванные бомбардировкой мишени. Вид взаимодействия определяется не равновероятно после каждого акта рассеяния с помощью равномерно распределенных случайных чисел. Модель основана на классическом подходе, предполагающем использование модельного дифференциального сечения Мотта, закона непрерывных ионизационных потерь энергии Бете, модифицированного к

случаю многокомпонентных материалов, и значения длины шага, пропорциональной средней длине свободного пробега электронов. Алгоритм определения изменения траектории электронов при рассеянии в твердых телах для трехмерной модели строится на расчете координат в новой, локальной системе координат при преобразовании базиса в пространстве.

Расчет траектории и потерь энергии для каждой истории электрона проводится до тех пор, пока величина его энергии вследствие неупругого рассеяния не уменьшится до пороговой энергии $E_{th} \sim 0.05$ кэВ, при которой моделируемые процессы не наблюдаются. Имитационная модель реализуется для статистически большого числа N историй электронов.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве исходных данных для решения полевых задач: расчета характеристик зарядовых и тепловых процессов воздействия электронных пучков на исследуемые материалы [5]. При этом для определения внутреннего источника необходимо задать геометрию области взаимодействия электронного пучка с облучаемой мишенью и его аналитическое представление:

$$I = I_0(1-\eta)\exp\left(-\frac{(\bar{r}-\delta_1)^2}{2\cdot\delta_2^2}\right), \quad \bar{r} = \sqrt{x^2+y^2+z^2}, \quad (1)$$

где I_0 – нормировочный множитель с размерностью; δ_1 и δ_2 – численно оцениваемые параметры аппроксимации, м; η – коэффициент вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ), определяемый как отношение числа покинувших образец электронов к общему числу падающих электронов.

Для имитационного моделирования характеристик процессов инжекции электронов в облученных сегнетоэлектриках в среде Matlab R2014b разработано программное приложение, которое является функциональным модулем комплекса программ расчета полевых эффектов взаимодействия электронных пучков с полярными диэлектриками. Общий вид главной оконной формы приложения показан на рис. 1.

Программный модуль позволяет визуализировать область взаимодействия электронов с мишенью в 3D-формате и в виде двумерных проекций, осуществлять аппроксимацию функции потерь энергии электронами при заданных параметрах, соответствующих режимам сканирования в РЭМ, геометрическим размерам и характеристикам модельного образца с возможностями добавления, редактирования и удаления материалов из созданной базы.

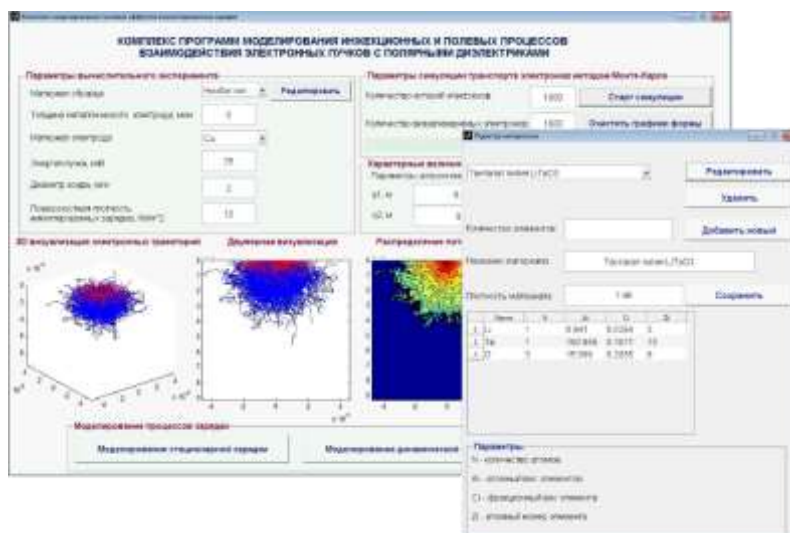


Рис. 1 – Общий вид главного окна интерфейса комплекса программ

В качестве объектов для проведения и интерпретации результатов вычислительных экспериментов выбраны типичные сегнетоэлектрики: ниобат лития LiNbO_3 и танталат лития LiTaO_3 , имеющие перспективные приложения в микроэлектронике и оптике. Для определенности будем считать, что параметры зондирования соответствуют данным физического эксперимента по исследованию электронно-стимулированного переключения в

РЭМ [4]. На рис. 2 представлен результат имитационного моделирования электронных траекторий методом Монте-Карло для LiTaO_3 при стартовой энергии пучка $E_0=25$ кэВ. Аппроксимации области энерговыведения проводилась с помощью половины эллипсоида с параметрами $\delta_x, \delta_y, \delta_z$. Параметры аппроксимации области взаимодействия приведены в табл. 1 при стартовой энергии пучка электронов $E_0 = 10$ кэВ.

Таблица 1 – Характеристики инжекции электронов

Характеристика	LiNbO_3	LiTaO_3
Параметры аппроксимации $\delta_x = \delta_y$, мкм	0.96	0.80
Параметр аппроксимации δ_z , мкм	0.60	0.35
Коэффициент ВЭЭ, η	0.217	0.342

Модельное представление нормированной зависимости распределения дозы облучения для LiTaO_3 на основе соотношения (1) показано на рис. 2. Параметры аппроксимации соответствуют значениям: $\delta_1=0.475$ мкм, $\delta_2=0.384$ мкм, а значение глубины, на которой наблюдается максимум энерговыведения – $z_{\max} \approx 0.5$ мкм.

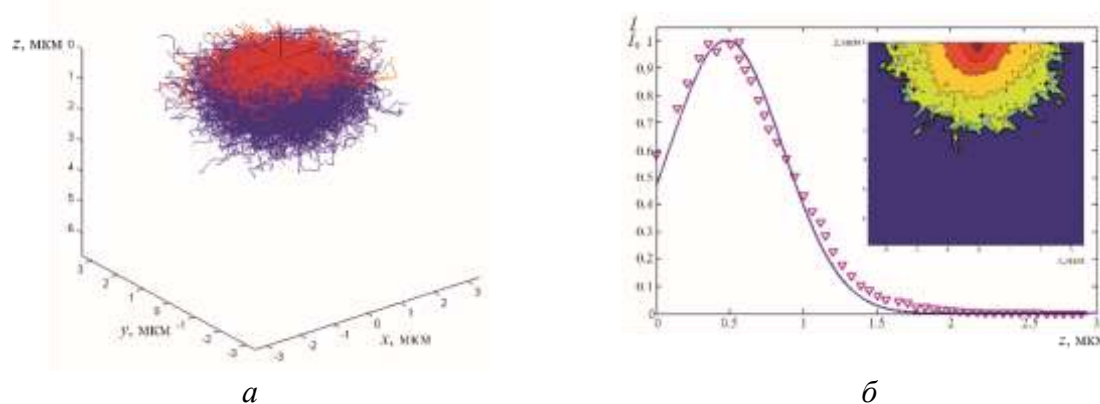


Рис. 2 – Распределение траекторий электронов – *а* и нормированное распределение по глубине потерь энергии электронами – *б* в LiTaO_3 при $E_0=25$ кэВ, $N=10000$ (на вставке – двумерное представление)

Процессы инжекции электронов при определенных условиях способны инициировать инверсию доменов в необлученной части сегнетоэлектрика. Результаты моделирования характеристик инжекции электронных пучков служат оптимальному выбору управляющих параметров при использовании методик электронно-стимулированной модификации доменной структуры сегнетоэлектриков.

Таким образом, разработанное приложение позволяет визуализировать область взаимодействия пучка электронов с мишенью и аппроксимировать функцию потерь энергии электронов при наборе параметров, отвечающих условиям и режимам наблюдения электронно-индуцированного переключения сегнетоэлектриков в РЭМ.

Список литературы

1. Жу У., Уанг Ж.Л. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение. – М.: БИНОМ, 2014. – 600 с.
2. Joy D.C. Monte-Carlo modeling for electron microscopy and microanalysis. New York: – Oxford University Press, 1995. – 216 p.
3. Zhang H. Monte Carlo study on electron emission from dielectric materials // Journal of Computational and Theoretical Transport. – 2017. – V. 46. – P. 330-345.
4. He J., Tang S.H., Qin Y.Q. et al. Two-dimensional structures of ferroelectric domain inversion in LiNbO_3 by direct electron beam lithography // J. Appl. Phys. – 2003. – V. 93. – P. 9943-9947.
5. Maslovskaya A., Pavelchuk A. Simulation of heat conductivity and charging processes in polar dielectrics induced by electron beam exposure // In: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015. – V. 81. – P. 012119(6).

05.13.17

Е.В. Разова, Е.В. Котельников, А.В. Котельникова

Вятский государственный университет,
институт математики и информационных систем,
кафедра фундаментальной информатики и прикладной математики,
Киров, razova.ev@gmail.com, kotelnikov.ev@gmail.com, kotelnikova.av@gmail.com

ПРОЦЕДУРА ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗЫ О НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОЧНОЙ ЛЕКСИКИ В ВЕКТОРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-217-219

В работе предлагается процедура проверки наличия областей концентрации оценочной лексики в m -мерном пространстве распределенных представлений слов. Приводится пример применения процедуры для двумерного пространства.

Ключевые слова: *оценочная лексика, анализ тональности, распределенное представление слов.*

Автоматический анализ мнений, выраженных в текстах, представленных в различных интернет-источниках, может играть важную роль в социологических, политологических, экономических, маркетинговых и других исследованиях [1]. Источниками мнений, как правило, являются социальные медиа – социальные сети, блоги и микроблоги, форумы, сайты отзывов, фото- и видеохостинги, сайты знакомств и геосоциальные сервисы [2]. Например, посредством обработки сообщений пользователей социальных сетей можно определить их отношение к политическим и социальным проблемам, а анализ отзывов покупателей позволяет сделать выводы о качестве различных товаров.

Основная задача анализа мнений заключается в определении тональности текста – эмоционального отношения автора, выраженного в тексте и измеряемого по некоторой шкале, например, бинарной (позитивное – негативное отношение) [3]. Для получения высокого качества решения задачи анализа тональности часто бывает необходимо использование словарей оценочной лексики, содержащих эмоционально окрашенные слова, такие как *хороший, прекрасный, плохой, ужасный* [4]. Исследование словарей оценочной лексики и закономерностей, связанных с ними, является актуальной научной проблемой.

Одним из наиболее продуктивных классов моделей представления текстовой информации в последние годы стали векторные модели распределенного представления слов на основе нейронных сетей [5]. В этих моделях слова естественного языка являются векторами в m -мерном пространстве. Типичные значения m находятся, как правило, в диапазоне $[100 \dots 1000]$. Построение таких векторов происходит при помощи обучения нейронной сети на основе больших текстовых корпусов, содержащих сотни миллионов и даже миллиарды словоупотреблений. Векторы слов в подобных моделях распределенного представления обладают интересными свойствами: геометрическая близость векторов двух слов в m -мерном пространстве отражает смысловую близость данных слов, а арифметические операции над векторами оказываются семантически значимыми, например, *Париж – Франция + Италия = Рим*.

В настоящее время существуют программные инструменты для построения и анализа моделей распределенных представлений слов [6], а также готовые модели для русского языка [7, 8].

Возникает естественная задача исследования свойств оценочных слов при помещении их в такое пространство. Например, каков закон распределения оценочных слов в m -мерном пространстве? Равномерный или имеются области концентрации оценочных слов? Сформулируем следующую гипотезу: в векторном пространстве распределенных

представлений слов естественного языка существуют области концентрации оценочных слов. Для подтверждения или опровержения данной гипотезы нужно проверить, отличается ли реальное распределение оценочных слов в m -мерном пространстве от равномерного. С учетом высокой размерности пространства и большого количества слов, представленных в моделях (сотни тысяч), задача становится нетривиальной с точки зрения вычислительной сложности. В настоящей статье предлагается процедура проверки сформулированной гипотезы для двумерного пространства, которая обобщается на m -мерное пространство.

Введем понятие плотности оценочных слов в окрестности некоторого слова: обозначим $\mathbf{W}$ – множество векторов слов, представленных в модели, $\mathbf{S} \subset \mathbf{W}$ – множество векторов оценочных слов, $\rho(x, y)$ – функция расстояния между векторами x и y , r – фиксированное расстояние. Тогда плотность оценочных слов в окрестности слова $w_i \in \mathbf{W}$ определяется выражением:

$$p_i = \frac{|\mathbf{S}_i|}{|\mathbf{W}_i|}, \quad (1)$$

$$\mathbf{S}_i = \{s \mid s \in \mathbf{S}, \rho(w_i, s) \leq r\}, \quad \mathbf{W}_i = \{w \mid w \in \mathbf{W}, \rho(w_i, w) \leq r\}.$$

Процедура проверки гипотезы о существовании областей концентрации оценочных слов основывается на том факте, что равномерное распределение векторов оценочных слов в пространстве означает нормальное статистическое распределение плотностей оценочных слов с математическим ожиданием равным отношению количества оценочных слов к общему количеству слов. Процедура включает следующие шаги:

1. Для всех слов $w \in \mathbf{W}$ вычисляются плотности оценочных слов p .
2. Полученные плотности сортируются по убыванию.
3. Строится частотное распределение плотностей на основе группировки значений.
4. Применяется критерий согласия (например, Пирсона) о подчинении построенного распределения закону нормального распределения.
5. В зависимости от полученного значения критерия согласия делается вывод о подтверждении или опровержении гипотезы на заданном уровне значимости.

Рассмотрим пример применения предложенной процедуры для искусственно сгенерированных данных в двумерном пространстве. Пусть векторы обычных слов (точки) и векторы оценочных слов (крестики) располагаются в пространстве так, как показано на рис. 1а. Тогда ранжированный список плотностей оценочных слов будет иметь вид зависимости на рис. 1б (расстояние r определяется как среднее между минимумом всех максимальных попарных расстояний и максимумом всех минимальных попарных расстояний).

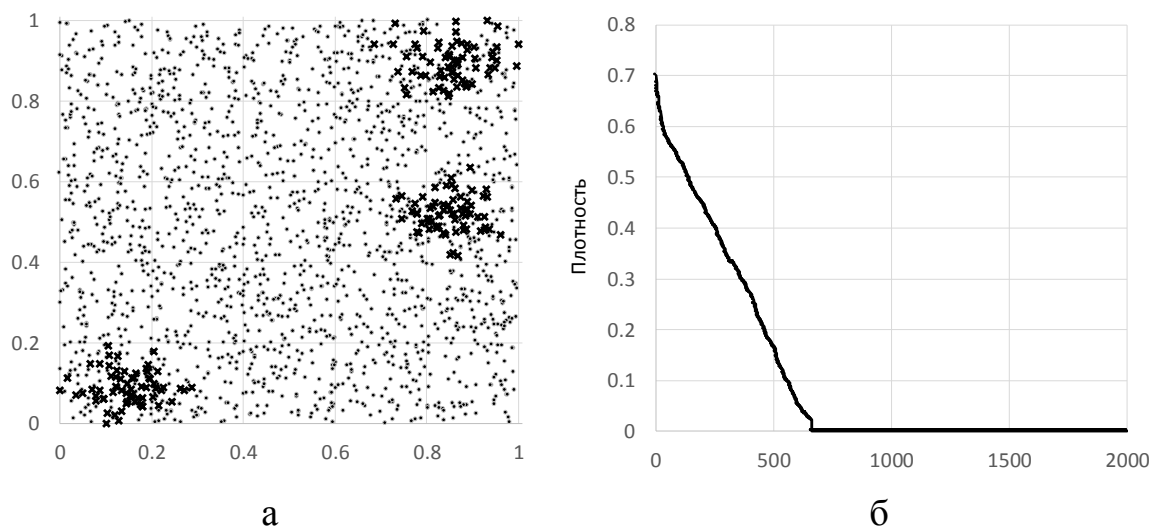


Рис. 1а – распределение векторов слов в двумерном пространстве (общее количество слов – 2000, количество оценочных слов – 200);
1б – ранжированный список плотностей оценочных слов

Критерий согласия Пирсона вычисляется по формуле [9]:

$$\chi^2_{\text{набл}} = \sum_k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (2)$$

где k – количество интервалов разбиения значений случайной величины, n_i – количество эмпирических наблюдений, попавших в i -й интервал, p_i – вероятность попадания в i -й интервал случайной величины, распределенной по гипотетическому закону, n – общее количество наблюдений.

При вычислении по формуле (2) критерия Пирсона для рассматриваемого примера, получается значение $\chi^2_{\text{набл}} = 8554$, попадающее в критическую область: $\chi^2_{\text{набл}} > \chi^2_{\text{кр}} = 40,79$ (уровень значимости 0,001), поэтому можно сделать вывод, что наблюдаемое распределение плотностей оценочных слов отличается от нормального, следовательно, гипотеза о существовании областей концентрации оценочных слов в данном примере подтверждается.

Таким образом, на основе предложенной процедуры возможно осуществлять проверку гипотезы о наличии областей концентрации оценочных слов, что в свою очередь позволяет обоснованно применять различные алгоритмы анализа данных, например, кластеризации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, государственное задание ВятГУ № 34.2092.2017/4.6.

Список литературы

1. Taboada M. Sentiment Analysis: An Overview from Linguistics // Annual Review of Linguistics. 2016. Vol. 2. – P. 325–347.
2. Тронеvская М.А. Социальные медиа в сети Интернет в контексте исследования проблем социальной идентификации // Историческая и социально-образовательная мысль. Т. 8. № 5/2. 2016. – С. 150–154.
3. Котельников Е.В., Плетнева М.В. Анализ тональности текстов на основе генетического алгоритма и совместной кластеризации слов и документов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2016. № 1. – С. 115–123.
4. Kotelnikov E.V., Bushmeleva N.A., Razova E.V., Peskischeva T.A., Pletneva M.V. Manually Created Sentiment Lexicons: Research and Development // Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Papers from the Annual International Conference “Dialogue”, 01–04 June 2016. Issue 15 (22). – P. 281–295.
5. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient estimation of word representations in vector space // ICLR Workshop, 2013.
6. Rehurek R., Sojka P. Software Framework for Topic Modelling with Large Corpora // Proceedings of the LREC 2010 Workshop on New Challenges for NLP Frameworks. 2010. – P. 45–50.
7. Kutuzov A., Kuzmenko E. WebVectors: A Toolkit for Building Web Interfaces for Vector Semantic Models // Proceedings of the 5th Conference on Analysis of Images, Social Networks, and Texts (AIST'2016). – P. 155–161.
8. Panchenko A., Ustalov D., Arefyev N., Paperno D., Konstantinova N., Loukachevitch N., Biemann C. Human and Machine Judgements about Russian Semantic Relatedness // Proceedings of the 5th Conference on Analysis of Images, Social Networks, and Texts (AIST'2016). – P. 221–235.
9. Pearson K. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling // Philosophical Magazine. 1900. Series 5. 50 (302). – P. 157–175.

05.13.00

¹Е.Н. Созинова к.т.н., М. Жакиш, В.В. Федотова

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,

¹кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем,
Санкт-Петербург, zhakishmadina@gmail.com

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ СМИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-220-222

В данной статье рассматривается система защиты персональной информации в средствах массовой информации Российской Федерации. Особое внимание уделяется проблемам нормативно-правового регулирования информационных технологий и обеспечения в них безопасности персональных данных. Авторы раскрывают специфику защиты персональных данных в средствах массовой информации, связанную с особенностями деятельности СМИ в нашей стране.

Ключевые слова: *персональная информация, защита персональных данных, средства массовой информации.*

Охрана неприкосновенности частной жизни обеспечивается всей конституционно-правовой системой Российской Федерации.

Федеральный закон «О персональных данных», принятый в 2006 году, непосредственно определил организационно-правовые основы деятельности с информацией персонального характера, заставив всех операторов персональных данных обеспечивать реальную защиту этой информации. Со всей остротой встали сейчас проблемы нормативно-правового регулирования облачных технологий и обеспечения в них безопасности персональных данных.

Широкое распространение технологий облачных вычислений несёт в себе потенциальную угрозу информационной безопасности. Стремительный рост количества облачных сервисов повышает риски утечки персональных данных: у операторов персональных данных уже нет полного контроля за вверенными им персональными данными, как и полной информации, о том, как, где и кем они обрабатываются. В то же время в соответствии с законодательством РФ эти обстоятельства не снимают с них ответственности, которую они несут перед законом в отношении неразглашения персональных данных, которые были им, доверены субъектами персональных данных. Более того, информационные технологии несут в себе потенциальную угрозу не только интересам операторов, но и субъектов персональных данных: как правило, субъекты персональных данных не получают всю необходимую информацию об обработке их персональных данных, а, следовательно, не могут предпринять никаких мер, направленных на минимизацию рисков, которые существуют здесь.

Необходимость обеспечивать защиту персональных данных на основании федерального закона РФ «О персональных данных» не может не оказывать существенного влияния на деятельность СМИ в нашей стране. Российская Федерация, как правовое государство, исходит здесь из следующего базового принципа: свободный доступ граждан к информации ограничивается правом каждого отдельного человека на неприкосновенность частной жизни, личную и семейную тайну, защиту своей чести и доброго имени.

В настоящее время новости в газетах, статьи и телевизионные сюжеты, которые являются конечным продуктом работы журналиста, становятся доступными неопределённому кругу лиц в том числе и через Интернет. За последние годы тенденция широкого распространения

«электронных изданий» на рынке СМИ создает здесь качественно новую ситуацию. Появившиеся технологии позволяют идентифицировать потребителей, что напрямую связано с вопросами обработки персональных данных субъектов.

Детальный анализ содержания закона «О персональных данных» показывает, что средства массовой информации безусловно являются операторами персональных данных, так как любая редакция обрабатывает данные своих сотрудников, внештатных корреспондентов. А что касается крупных СМИ, то они хранят базы данных «интересных» и «полезных» людей. В них фигурируют: служебные контакты, мобильный, домашний телефон, адрес проживания.

Сегодня чаще всего функцию по привлечению подписчиков и организации подписной компании выполняет сторонняя организация, которая нанята редакцией по договору. А согласно нормам Федерального закона «О персональных данных» оператором персональных данных является редакция, она определяет: «цели обработки персональных данных, состав персональных данных, подлежащих обработке, действия, совершаемые с персональными данными». [1]

Операторы персональных данных обязаны обеспечить защиту каналов связи, по которым осуществляется обмен персональных данных. Представляется, что это требование может относиться только к системам, не имеющим выхода в сети связи общего пользования. Оператор должен приложить усилия для защиты информации при передаче ее по каналам связи, но не способен защитить сами каналы связи. Выделенных (защищенных) каналов на всех не хватит.

Зачастую издания исключают из баз подписчиков информацию, которая идентифицирует субъекта персональных данных, но возможно это только с электронными СМИ, а вот с печатными все намного сложнее, так как рассылка изданий осуществляется на конкретный адрес и конкретному подписчику. Если же говорить о пользователях кабельных каналов, то они оформляют подключение через заключение договора, где содержатся сведения о паспортных данных абонента.

Однако, практика проведения контрольно-надзорных мероприятий показывает, что непредоставление уведомления в Роскомнадзор - одно из наиболее типичных нарушений, на которое при проверке СМИ обращают внимание сотрудники этого ведомства. Так же как и на неполноту и недостоверность сведений, содержащихся в этом документе.

В то же время, нельзя не учитывать, что защита персональных данных в СМИ имеет, в ряде аспектов, определенную специфику, связанную с особенностями деятельности СМИ в Российской Федерации, что и регламентируется федеральным законом РФ «О средствах массовой информации».

С одной стороны, в соответствии с законодательством РФ необходимым условием обработки персональных данных субъектов, является наличие согласия субъекта на осуществление этой обработки (часть 1 статьи 6 ФЗ-152).[2]

В 3 части 18 статьи ФЗ-152 говорится о том, что если персональные данные получены не напрямую от субъекта персональных данных, то оператор обязан предоставить субъекту следующую информацию:

- 1) Наименование либо фамилия, имя, отчество и адрес оператора или его представителя;
- 2) цель обработки персональных данных и ее правовое основание;
- 3) предполагаемые пользователи персональных данных;
- 4) установленные настоящим Федеральным законом права субъекта персональных данных;
- 5) источник получения персональных данных.

С другой стороны, для обеспечения реализации конституционного принципа свободы массовой информации, гарантированной частью 5 статьи 29 Конституции РФ, в федеральном законе РФ «О персональных данных» (статья 18) применительно к журналистской деятельности зафиксированы определенные исключения. В частности, оператор персональных данных освобождается от обязанности предоставить субъекту персональных

данных сведения, предусмотренные 3 частью 18 статьи ФЗ-152 в случаях, если: «4) оператор осуществляет обработку персональных данных для статистических или иных исследовательских целей, для осуществления профессиональной деятельности журналиста либо научной, литературной или иной творческой деятельности, если при этом не нарушаются права и законные интересы субъекта персональных данных».[1]

В то же время, здесь стоит обратить внимание на два нюанса. Во-первых, законодатель ограничил сферу применения данного правового основания по отношению к журналистам требованием профессиональной деятельности. Что означает, только лица, профессионально занимающиеся журналистикой, имеют возможность воспользоваться предоставленным правовым основанием. Закон РФ “О средствах массовой информации” содержит четкое определение понятия “журналист”, связывая его деятельность с официально зарегистрированным средством массовой информации: «...под журналистом понимается лицо, занимающееся редактированием, созданием, сбором или подготовкой сообщений и материалов для редакции зарегистрированного средства массовой информации, связанное с ней трудовыми или иными договорными отношениями, либо занимающееся такой деятельностью по ее уполномочию». [2]

Во-вторых, немаловажным условием применения данной нормы является ненарушение прав и свобод субъекта персональных данных.

В настоящее время в федеральный закон РФ “О персональных данных” с момента его вступления в силу уже было внесено более десяти изменений, что однозначно свидетельствует о динамизме правовой системы нашей страны, направленной на безусловную защиту прав человека и гражданина не только в традиционной физической, но и виртуальной среде.

Список литературы

1. Защита персональных данных // Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций URL: <http://10.rkn.gov.ru/mainwork/masscomm/seminar/february/pd/> (дата обращения: 7.11.2017).
2. Закон РФ от 27.12.1991 N 2124-1 (ред. от 03.07.2016) "О средствах массовой информации"
3. Федеральный закон "О персональных данных" от 27.07.2006 N 152-ФЗ
4. Проблемы проверки деятельности СМИ // Интернет портал ISO27000.RU (защита информации.su) URL: <http://iso27000.ru/chitalnyi-zai/zaschita-personalnyh-dannyh/federalnyi-zakon-abo-personalnyh-dannyhbb-i-deyatelnost-smi-problemy-proverki-narusheniya> (дата обращения: 14.11.2017).
5. Инновационное управление рисками информационной безопасности. Учебное пособие / В. И. Андрианов, А. В. Красов, В. А. Липатников; Федеральное агентство связи, Федеральное гос. образовательное бюджетное учреждение высш. проф. образования "Санкт-Петербургский гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". Санкт-Петербург, 2012

05.13.11

В.М. Таланов к.т.н., Д.С. Фомин, В.П. Атманзин

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им.Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, nkfominsa@mail.ru

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ MYSQL И MICROSOFT SQL SERVER НА ПРИМЕРЕ БАЗЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-223-226

В статье предложены критерии для сравнительного анализа реляционных систем управления базами данных. Приводится пример сравнения двух СУБД по предложенным критериям, а также по основным синтаксическим и визуальным отличиям на примере базы данных для системы управления задачами.

Ключевые слова: *система, критерий, база данных, MSSQL, MySQL.*

В настоящее время системы управления базами данных (СУБД) широко распространены. Без них не обходится ни одно предприятие, ни одна информационная система, где обрабатываются как большие, так и малые массивы данных. Область применения СУБД варьируется от онлайн форумов в сети Интернет до серьезных информационных и технологических систем на государственных и частных предприятиях. Поэтому, актуален выбор критериев для обоснованного подбора СУБД для реализации той или иной задачи. В статье сформулированы критерии выбора СУБД на основе проведенного сравнительного анализа двух наиболее распространенных систем управления базами данных MySQL и Microsoft SQL Server на примере базы данных для системы управления задачами.

Вначале проанализируем стоимость обоих продуктов, потому что именно доступность определяет начальный выбор СУБД для реализации прикладной информационной системы. СУБД MySQL поставляется в двух версиях: MySQL Community Server и MySQL Enterprise. MySQL Community Server бесплатна, но не доступна для использования в коммерческих проектах, а также имеет ограниченный функционал в сравнении с MySQL Enterprise, которая может применяться в коммерческих проектах, но цена серверной версии данной системы составляет около 600 долларов. Для сравнения Microsoft SQL Server распространяется в 4 версиях: Developer Edition для разработчиков за 50 долларов, Web Edition для серверов за 15 долларов за 1 процессор, Express Edition бесплатна и подходит для решения большинства задач, Evaluation Edition – полная пробная версия для ознакомления на 180 дней. Далее сравним Microsoft SQL Express и MySQL Community Server, так как они более доступны, чем другие версии СУБД и схожи по функционалу.

Вторым критерием анализа будет область использования и распространенность этих систем. Здесь MySQL превосходит MSSQL не только по поддерживаемым платформам, но и по виду распространения. MySQL поддерживает на данный момент практически все существующие операционные системы: Windows, Linux, MacOS, Free BSD, и распространяется как исходными программными файлами, так и закрытыми откомпилированными двоичными файлами. MSSQL в свою очередь, поддерживает только Windows и Linux и распространяется в объектных модулях.

Третьим критерием, является удобство разработки клиентского ПО. Обе эти системы имеют утилиты для работы с командной строкой и клиентскую оболочку для работы с базой данных. В системе MySQL – это MySQL Control Center, а в системе MSSQL – это SQL Management Studio. Следовательно, по данному критерию обе системы равны.

Четвертым критерием, является сжатие информации при работе с базой данных. В MySQL сжатые данные доступны только для чтения. При записи данных происходит распаковка таблицы, затем запись, затем упаковка, но это поддерживается только в формате MyISAM. В СУБД MSSQL возможно динамическое сжатие в процессе обработки данных.

Пятый критерий, это основные синтаксические отличия. Значительные отличия имеются у обеих систем в манипулировании структурами таблиц (тип таблиц MySQL, `auto_increment` и т.д.). При одинаковой реализации основных команд `ADD`, `INSERT`, `DELETE`, `UPDATE`, в MySQL имеется ряд дополнительных возможностей, таких, например, как функция `LIMIT`, которая позволяет возвращать диапазон значений.

Шестым критерием, является сравнение основных поддерживаемых форматов таблиц. MySQL поддерживает ADO.NET, JDBC, ODBC. MSSQL, в свою очередь, охватывает больший диапазон: OLE DB, Tabular Data Stream (TDS), ADO.NET, JDBC, ODBC.

Седьмым критерием, который можно предложить для оценки данных систем является количество поддерживаемых языков программирования. MySQL поддерживает большое число языков программирования, включая устаревшие языки, такие как Ada, Erlang, D и т.д. MSSQL в свою очередь, обеспечивает поддержку небольшого количества языков программирования, в том числе меньшее количество устаревших языков, но может работать с одним из новейших языков Go [1].

Последним из предлагаемых критериев может быть анализ структуры базы данных, реализованной в сравниваемых СУБД.

Для сравнения реализации прикладной базы данных в системах MySQL и MSSQL приведем две схемы базы данных для системы управления проектами:

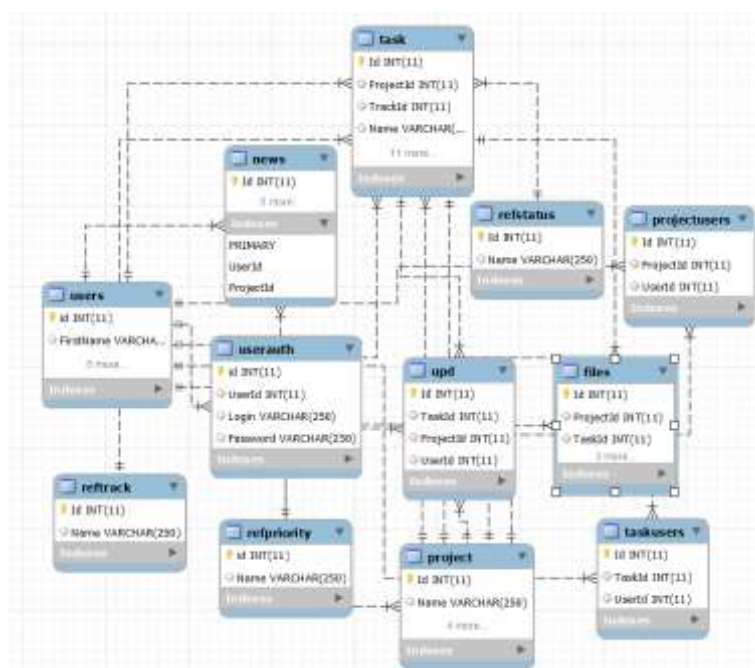


Рис. 1 — Диаграмма базы данных в MySQL

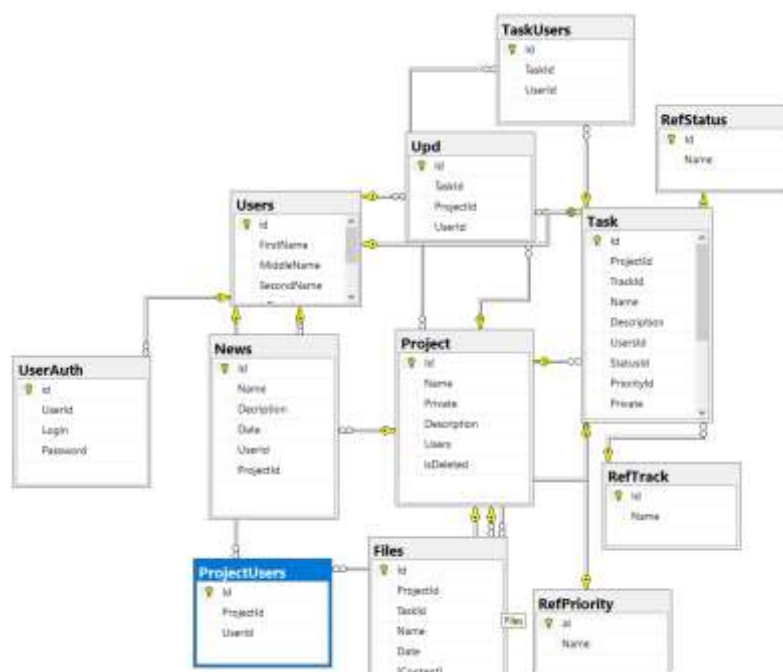


Рис. 2 — Диаграмма базы данных в MSSQL

На приведенных диаграммах можно видеть, что структуры базы данных в сравниваемых СУБД похожи. Обе диаграммы были сгенерированы в клиентском ПО каждой из систем. Процесс создания диаграммы в MSSQL занял меньшее количество времени, чем в MySQL. Это объясняется тем, что MSSQL не имеет виртуальных схем баз данных, и все действия происходят непосредственно на сервере SQL Express. В свою очередь MySQL не позволяет создавать и генерировать схемы на сервере, поэтому требуется скопировать созданную базу данных в виде виртуальной схемы, а затем вызвать мастер EER диаграмм. Схема в MSSQL обладает большей наглядностью в сравнении с MySQL, поэтому удобнее для визуальной работы.

Для создания представленной базы данных использовался практически идентичный код с некоторыми отличиями. Ниже приведен код MySQL для создания таблицы и код MSSQL:

<pre>CREATE TABLE Task (Id INT PRIMARY KEY, ProjectId INT, TrackId INT, Name VARCHAR(250), Description VARCHAR(250), UsersId INT, StatusId INT, PriorityId INT, Private BOOLEAN, Date DATETIME, DateStart DATETIME, DataEnd DATETIME, Progress VARCHAR(250), TimeToEnd DATETIME, IsDeleted BOOLEAN);</pre>	<pre>create table Task(Id int Primary key, ProjectId int, TrackId int, Name varchar, Description varchar, UsersId int, StatusId int, PriorityId int, Private bit, Date datetime, DateStart datetime, DataEnd datetime, Progress varchar, TimeToEnd datetime, IsDeleted bit);</pre>
--	--

Рис.3 — Код MySQL Рис. 4 — Код MSSQL

Из анализа программного кода видно, что версия языка SQL в СУБД MSSQL позволяет создавать поле типа varchar без объявления его размера, в отличие от MySQL, что уменьшает размер кода. В то же время СУБД MySQL имеет поддержку логического типа Boolean и типа Bit, что позволяет экспортировать код SQL во множество других языков, а MSSQL поддерживает только Bit, который имеет ограниченную область использования [2,3].

Подводя итог сравнения рассматриваемых СУБД по предложенным критериям можно отметить следующее:

- MSSQL больше подходит для коммерческого использования, чем MySQL;
- MySQL удобнее для неподготовленных пользователей в практическом использовании;
- MySQL шире используется в бюджетных приложениях, по сравнению с MSSQL;
- MSSQL обеспечивает большую защищенность, и лучшую поддержку целостности данных;

- MySQL имеет средства для работы с большим количеством языков программирования;

Сравнение различных систем даже по предложенным параметрам является трудоемкой задачей [4]. Тем не менее, подробный сравнительный анализ на основании вышеперечисленных критериев поможет рационально выбрать подходящую систему для конкретного проекта. Сознательный выбор критериев поможет оценить сложность задачи проектирования базы данных для прикладной системы и выполнить ее адекватную постановку.

Список литературы

1. DB-Engines — Knowledge Base of Relational and NoSQL Database Management Systems [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://db-engines.com/en/system/Microsoft+SQL+Server%3BMySQL>
2. Аббакумов А.А., Акимов В.Л., Егунова А.И., Лецанкин К.А., Таланов В. М. Базы данных (MS Access, MySQL). Учеб. пособие. — Саранск: Изд-во СВМО, 2011. — 112 с.
3. Аббакумов А.А., Егунова А.И., Таланов В. М. Базы данных (MS SQL Server). Учеб. пособие. — Саранск: Изд-во СВМО, 2015. — 66 с.
4. Таланов В.М., Федосин С.А. Проектирование информационных систем и баз данных. Учеб. пособие. Изд.3. Переработанное и дополненное — Саранск: Изд-во СВМО, 2013. — 72 с

05.13.00

А.А. Шабает, Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Валиахметов

Набережночелнинский институт (филиал) КФУ,
кафедра автоматизации и управления,
Набережные Челны, shabaev.alexandr@gmail.com

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ В БАЗЕ ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-6-227-229

Использование современных систем проектирования позволяет значительно сократить время подготовки различной технологической документации. Интеграция в существующие программные комплексы системы поддержки принятия решений, основанной на использовании базы прецедентов, позволит повысить качество и скорость проектирования за счет использования информации по созданным системам автоматического управления. Кластеризация прецедентов позволяет оптимизировать выполнение поисковых запросов.

Ключевые слова: проектирование, системы управления, база знаний, прецеденты, кластеризация.

Основной проблемой при разработке автоматизированных систем проектирования устройств автоматики является отсутствие формализованных правил построения структурной схемы и выбора ее элементов. Это связано с тем, что принятие решений на различных этапах проектирования носит субъективный характер и огромную роль в этом случае играет опыт и интуиция разработчика.

Необходимо создание системы поддержки принятия решений для расчета альтернативных вариантов с учетом различных показателей для повышения эффективности решений на этапе подготовки производства. На сегодняшний момент выделен ряд критериев выбора, часть значений которых рассчитывается, а часть получается экспертным оцениванием [1]. Лица, принимающие решения, в качестве экспертов имеют субъективную оценку, и интегральный показатель часто зависит от уровня их компетентности и профессионализма. Поэтому необходимо создание автоматизированной системы, позволяющей обеспечивать выбор оптимального варианта САУ из ряда альтернативных с учетом различных показателей и уменьшающей погрешность данного выбора.

Предложено в качестве информационной основы для СППР использовать базу прецедентов, которая учитывает аналогичные ситуации, происходящие в производстве, в совокупности с подробным указанием действий, предпринимаемых в данной ситуации для решения данной проблемы. Метод рассуждений по прецедентам имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с другими методами получения решений: легкость приобретения знаний, возможность работы в предметных областях, которые невозможно полностью понять, объяснить или смоделировать, возможность обучения в процессе работы (нет избыточности) и возможность избежать повторения [2].

Основным в базе прецедентов является прецедент. Под прецедентом понимается вариант системы управления, ее характеристики, условия по которым она создавалась, а также характеристики структурных элементов. В структуру прецедента вошли как интегральные характеристики системы управления, так и характеристики отдельных элементов. По интегральным характеристикам осуществляется процедура поиска, а характеристики отдельных элементов необходимы для последующей адаптации, путем замены структурных элементов [3].

Работа базы прецедентов основана на использовании правил трех типов: поиск прецедента с полным совпадением характеристик, поиск аналога, синтез нового прецедента рис.1.



Рис.1- Последовательность поиска прецедента

Поиск полного прецедента заключается в нахождении системы управления, удовлетворяющей всем заданным требованиям. В случае нахождения такого прецедента, происходит вывод пользователю информации о структурной схеме, а также об элементах, входящих в нее.

Поиск аналога осуществляется для адаптации имеющихся прецедентов под требуемые характеристики.

Для оптимизации поисковых запросов предложено проводить кластеризацию прецедентов. Кластеризация позволяет сгруппировать по определенным признакам схожие прецеденты, что позволяет уменьшить область поиска прецедентов. Для кластеризации прецедентов необходимо выделить признаки или характеристики, по которым будет осуществляться группировка. Поскольку кластеризация по всем характеристикам, определяющим структуру прецедента является процессом трудоемким и неоднозначным, то предлагается использование комплексных показателей. Данные комплексные показатели формируются на основе объединения характеристик в группы по определенному признаку. При расчете целевой функции используются комплексные характеристики $P1$ (технические характеристики), $P2$ (эксплуатационные характеристики), $P3$ (потребительские характеристики), которые можно использовать и для формирования кластеров.

В случае, когда в базу прецедентов заносится первый прецедент, происходит формирование нового кластера, с центром, соответствующим значениям характеристик $P1, P2, P3$ рис. 2.

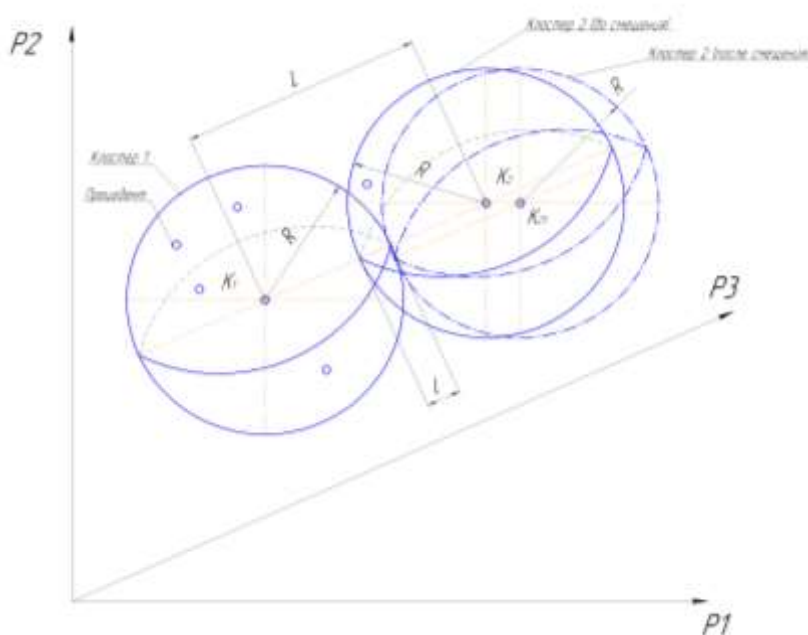


Рис. 2- Кластеризация прецедентов

Определяется радиус, значение которого определяется диапазоном изменения $P1, P2, P3$, а также требуемым количеством кластеров. При большем значении радиуса в один кластер может попасть большее число прецедентов, а количество кластеров сократится.

Когда происходит наполнение базы прецедентов, каждый новый прецедент проверяется на принадлежность одному из имеющихся кластеров. Если такой кластер существует, то прецеденту присваивается признак этого кластера. Прецедент принадлежит кластеру, если он входит внутрь шара с радиусом R . Чтобы определить входит ли прецедент в кластер, составляется параметрическое уравнение сферы с радиусом R .

После вычисления (x_0, y_0, z_0) координат центра сферы и координат параметрического уравнения сферы (x, y, z) вычисляются значения K всех прецедентов, и происходит их сравнение. Значения прецедентов, входящих в кластер, должно быть меньше или равно значения радиуса кластера R . Вычисления этих значений происходит по следующему уравнению:

$$K = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 \quad (1)$$

Если полученное значение K больше R , то это означает что прецедент с данными координатами выходит за пределы кластера. Этот прецедент станет центральным и сформируется новый кластер с характеристиками, соответствующими данному кластеру.

Далее происходит проверка на пересечение кластеров. Эта процедура необходима, поскольку прецедент должен принадлежать только одному кластеру.

В случае пересечения кластеров K_1 и K_2 вычисляется расстояние L между центральными точками, по формуле:

$$(P_{11} - P_{21})^2 + (P_{12} - P_{22})^2 + (P_{13} - P_{23})^2 = L, \quad (2)$$

где P_{11}, P_{12}, P_{13} – координаты центра точки кластера K_1 , P_{21}, P_{22}, P_{23} – координаты центра точки кластера K_2 .

Данная формула применяется для нахождения расстояния пересечения l одного кластера другим:

$$2R - L = l \quad (3)$$

После определения l переносится центр второго кластера на расстояние пересечения, по оси $P1$. Если кластеры все равно пересекаются, то перенос по $P1$ отменяется и происходит перенос по оси координат $P2$. Далее, по аналогии, процесс повторяется для оси координат $P3$.

В случае пересечения кластеров после сдвига по этим координатам, перенос кластера происходит по двум осям в начале по $P1$ и $P2$, потом $P1$ и $P3$ далее по $P2$ и $P3$. Если и в данном случае кластеры пересекаются, то перенос происходит одновременно по трем осям $P1, P2$ и $P3$.

В случае, когда прецедент не попадает ни в один из кластеров и невозможно однозначно определить его принадлежность, то отнесением этого прецедента в определенный кластер будет заниматься эксперт.

Предложенный подход к автоматизации процесса проектирования систем управления технологическим оборудованием за счет использования базы прецедентов позволит реализовать интеллектуальную систему, направленную на повышение эффективности принятия управленческих решений.

Список литературы

1. Симонова Л.А., Шабает А.А. Формирование системы поддержки принятия решения при выборе оптимальной системы управления по функциональному признаку и аппаратной совместимости. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. - 2009.-№7.- с. 39-46
2. Еремеев А.П., Варшавский П.Р. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. // Искусственный интеллект и принятие решений. -2009.-№2-с45-57.
3. Симонова Л.А., Шабает А.А. Вариативная модель иерархической структуры процесса автоматизированного построения систем управления технологическим оборудованием. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. -2007.-№12- с. 39-44.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

Б.Н. Иванов, В.С. Желтухин, И.А. Гришанова, К.Г. Николаев,
В.С. Минкин, Р.Х. Шагимуллин

**МЕТОДОЛОГИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ключевые слова: *электрет, электретность, получение, сопряженное качественно-количественное моделирование, характеристическое волновое уравнение.*

Методология обосновывает, связывает и использует наиболее рациональные решения искомой проблемы. То есть, представляет собой одновременно фундамент, механизм и алгоритм реализации этих решений (включая и традиционные, и нетрадиционные методы).

Настоящая статья является продолжением цикла наших работ и отражает некоторые аспекты её практического приложения применительно к электретам.

С.И. Абакумова, Н.Ю. Ботвинева, Н.П. Хариш
**ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ОСНОВНОЙ ЕДИНИЦЫ ЧИСТО
КУБИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Ключевые слова: *основная единица, кубические поля, эллиптическая единица, дзета-функции Дедекинда, полиномиальное обобщение.*

Построение основной системы единиц обычно осуществляется либо непосредственно, на основе некоторых теорем, способов и конструкций, либо путем преобразований независимой системы.

Известные приемы и методы решения задач построения независимых и основных систем основаны на самых разнообразных идеях. В настоящей статье анализируются: а) метод построения основной единицы чисто кубического поля, опирающийся на понятие эллиптической единицы; б) полиномиальное обобщение алгоритма непрерывных дробей.

А.Р. Абдуллаев, Е.А. Скачкова
**О ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ
ВТОРОГО ПОРЯДКА**

Ключевые слова: *функционально-дифференциальное уравнение; периодическая краевая задача; резонанс.*

Рассматривается периодическая задача для квазилинейного функционально-дифференциального уравнения второго порядка. Получены достаточные условия существования решения исследуемой задачи. В работе применяется подход, основанный на применении специальной теоремы существования для квазилинейного операторного уравнения в случае резонанса.

И.Е. Еремин, Е.А. Подолько
**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АТОМНОГО КАРКАСА
АХИРАЛЬНОЙ НАНОТРУБКИ**

Ключевые слова: *Углеродная нанотрубка, атомный каркас, структура «зигзаг» и «кресло».*

В работе описаны математические модели атомного каркаса углеродной нанотрубки со структурами типа «зигзаг» и «кресло». При исследовании физико-химических свойств углеродных материалов немаловажную роль играет изучение пространственного расположения атомов и их связей. Полученные модели позволят в дальнейшем провести графическое моделирование атомного каркаса различных наноструктур.

А.С. Калитвин, В.А. Калитвин
**О МАТРИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЯХ
ВОЛЬТЕРРА С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ В
КОМПЛЕКСНОЙ ОБЛАСТИ**

Ключевые слова: *линейные операторы и уравнения Вольтерра с частными интегралами, системы уравнений Вольтерра с частными интегралами.*

При достаточно общих предположениях относительно ядер устанавливается однозначная разрешимость системы линейных интегральных уравнений Вольтерра с частными интегралами в комплексной области.

B.N. Ivanov, V.S. Zheltyhin, I.A. Grishanova,
K.G. Nikolaev, V.S. Minkin, R.H. Shagimullin
**METHODOLOGY OF RATIONAL TECHNOLOGIES OF
RECEIVING ELECTRET MATERIALS**

Keywords: *electret, electratest, reception, conjugate qualitative-quantitative modeling, characteristic wave equation.*

The methodology proves, connects and uses the most rational solutions of a required problem. That is, represents at the same time the base, the mechanism and an algorithm of implementation of these decisions (including both traditional, and nonconventional methods).

This article is continuation of a cycle of our works and reflects some aspects of her practical application in relation to electrets.

S.I. Abakumova, N.Y. Botvineva, N.P. Kharish
**APPROACHES TO BUILDING THE MAIN UNIT OF
PURE CUBIC FIELD**

Keywords: *basic unit, cubic fields, elliptic unit, Dedekind zeta functions, polynomial generalization.*

The construction of the basic system of units is usually carried out either directly, on the basis of some theorems, methods and constructions, or by transformations of an independent system. Known methods and methods for solving problems of building independent and basic systems are based on a wide variety of ideas. In this paper we analyze: a) the method of constructing the basic unit of a purely cubic field, based on the notion of an elliptic unit; b) a polynomial generalization of the algorithm of continued fractions.

A.R. Abdullaev, E.A. Skachkova
**ON THE PERIODIC BOUNDARY VALUE PROBLEM
FOR THE SECOND ORDER FUNCTIONAL-
DIFFERENTIAL EQUATION**

Keywords: *functional-differential equation; periodic boundary-value problem; resonance.*

The periodic problem for the second-order quasilinear functional differential equation is considered in this work. Sufficient conditions for the existence of the solution of the problem are established. The approach is based on the special existence theorem for the quasilinear operator equation at resonance.

I.E. Eremin, E.A. Podolko
**MATHEMATICAL MODELS OF THE ATOMIC FRAME
OF AN ACHIRAL NANOTUBE**

Keywords: *carbonic nanotube, atomic frame, «zigzag» and «chair» structures.*

The article describes mathematical models of the atomic frame of a carbonic nanotube with «zigzag» and «chair» structures. The study of the spatial arrangement of atoms and their bonds is of no small importance when researching physicochemical properties of carbon-base materials. The obtained models in the future allow to conduct the graphics simulation of the atomic frame of different nanostructures.

A.S. Kalitvin, V.A. Kalitvin
**ON MATRIX VOLTERRA INTEGRAL EQUATIONS
WITH PARTIAL INTEGRALS IN COMPLEX DOMAIN**
Keywords: *Volterra linear operators and equations with partial integrals, the systems of Volterra equations with partial integrals.*

Under the sufficiently general assumptions relatively kernels it is establish unique solvability of system of Volterra linear integral equations with partial integrals in complex domain.

А.С. Калитвин, Н.И. Трусова
О СУЩЕСТВОВАНИИ И ЕДИНСТВЕННОСТИ РЕШЕНИЯ
СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРА С
ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

Ключевые слова: системы интегральных уравнений, уравнения Вольтерра, частные интегралы, существование и единственность решений.

В двух пространствах вектор-функций рассматривается система линейных уравнений Вольтерра с частными интегралами. Доказано существование и единственность решения этой системы. Показано, что спектральный радиус линейного матричного оператора Вольтерра с частными интегралами равен нулю.

А.Г. Мясников
О СИЛЬНО АМЕНАБЕЛЬНЫХ $L^1(G)$ -МОДУЛЯХ

Ключевые слова: локально компактная группа, инвариантное среднее, аменабельный $L^1(G)$ -модуль, сильно аменабельный $L^1(G)$ -модуль, компонента сильной аменабельности.

Вводятся понятия сильно аменабельного $L^1(G)$ -модуля и компоненты сильной аменабельности. Изучаются инвариантные свойства сильно аменабельных $L^1(G)$ -модулей. Рассматривается возможность их применения для изучения сильно аменабельных C^* -алгебр.

М.П. Овчинцев
ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ КЛАССА
ХАРДИ ПО ИХ ЗНАЧЕНИЯМ В ТОЧКАХ, ОБРАЗУЮЩИХ
ПРАВИЛЬНЫЙ МНОГОУГОЛЬНИК

Ключевые слова: оптимальное восстановление, линейный наилучший метод, погрешность наилучшего метода, пространство Харди.

В работе находится линейный наилучший метод приближения значений функций класса Харди в единичном круге в нуле по информации об их значениях в конечном числе точек, образующих правильный многоугольник. Статья разбита на три раздела. В первом приводятся необходимые понятия и результаты из работы К.Ю. Осипенко. Здесь же напоминаются некоторые результаты из работы С.Я. Хавинсона и других авторов. Во втором разделе вычисляется погрешность наилучшего метода и выписывается соответствующая экстремальная функция. В третьем — вычисляются коэффициенты линейного наилучшего метода. В конце работы они существенно упрощаются.

К.М. Расулов
О КАРТИНЕ РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОРОДНОЙ КРАЕВОЙ
ЗАДАЧИ ТИПА РИМАНА ДЛЯ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИХ
ФУНКЦИЙ В ЕДИНИЧНОМ КРУГЕ

Ключевые слова: кусочно квазигармоническая функция, краевая задача типа Римана, картина разрешимости.

В работе рассматривается однородная краевая задача типа задачи Римана в классах квазигармонических функций. Установлено, что если носителем краевого условия является единичная окружность, то рассматриваемая краевая задача допускает полное описание картины ее разрешимости.

Т.Н. Титова
КАНОНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ
ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: каноническая система, гамильтонова матрица, симплектическая матрица, нормальный вид, производящая функция.

В работе рассмотрены некоторые свойства канонических преобразований линейных гамильтоновых систем. Канонические преобразования задаются производящей функцией. Получена система матричных уравнений для нахождения неизвестных матриц производящей функции. С помощью полученной системы можно упрощать исходную гамильтонову матрицу линейной системы, приводить ее к некоторому нормальному виду, переходить от одного нормального вида к другому.

A.S. Kalitvin, N.I. Trusova
ON THE EXISTENCE AND UNIQUENESS OF
SOLUTIONS FOR SYSTEMS OF VOLTERRA LINEAR
EQUATIONS WITH PARTIAL INTEGRALS

Keywords: systems of integral equations, Volterra equations, partial integrals, existence and uniqueness solutions.

On two functional spaces a system of Volterra linear equations with partial integrals is considered. The existence and uniqueness solution this system is proved. It is shown, that spectral radius of linear matrix Volterra operator with partial integrals is zero.

A.G. Myasnikov
ON STRONGLY AMENABLE $L^1(G)$ -MODULES

Keywords: locally compact group, invariant mean, amenable $L^1(G)$ -module, strongly amenable $L^1(G)$ -module, strong amenability component.

Concepts of strongly amenable $L^1(G)$ -module and strong amenability component are introduced. Invariant properties of strongly amenable $L^1(G)$ -modules are considered. The possibility of applications to strongly amenable C^* -algebras is investigated.

M.P. Ovchintsev
OPTIMAL RECOVERY OF HARDY CLASS FUNCTIONS
BY THEIR VALUES AT THE POINTS FORMING A
REGULAR POLYGON

Keywords: optimal recovery, the best linear method, the error of the best method, the Hardy space.

The paper is about the best linear method of approximation of values of functions of Hardy class in the unit circle at zero point according to the information about their values at a finite number of points forming a regular polygon. The paper consists of three parts. In the first part the author presents the introductory concepts and results from the work of K.Yu. Osipenko, some results from the work of S.Ya. Havinson and other authors. In the second part he calculates the error of the best method and issued the corresponding extremal function. In the third part he calculates the coefficients of the best linear method and greatly simplifies these coefficients.

K.M. Rasulov
ON THE PICTURE OF SOLVABILITY OF THE
HOMOGENEOUS BOUNDARY VALUE PROBLEM OF
RIEMANN TYPE FOR QUASIHARMONIC FUNCTIONS
IN A UNIT CIRCLE

Keywords: piecewise quasiharmonic function, boundary value problem of Riemann type, picture of solvability.

In this paper we consider homogeneous boundary value problem of Riemann type for quasiharmonic functions. We establish that if the boundary is the unit circle then the considering problem allows to fully describe its picture of solvability.

T.N. Titova
ON CANONICAL TRANSFORMATIONS OF LINEAR
HAMILTONIAN SYSTEMS

Keywords: Hamiltonian system, Hamiltonian matrix, symplectic matrix, Jordan normal form, generating function. In this paper we consider the linear Hamiltonian systems of differential equations. We prove some properties of the canonical transformations of linear Hamiltonian systems. We get a system of matrix equations for finding the generating function of the canonical transformation. We use the system for normalization the Hamiltonian matrix. We apply the system of matrix equations to transform the Hamiltonian matrix from one normal form to another.

Г.Е. Бордина, Н.П. Лопина, Е.Г. Некрасова, Д.А. Бордин,
В.И. Рогачевский
ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ
АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Ключевые слова: фармация, аспирин, ацетилсалициловая кислота, ИК-спектроскопия.

В статье было проведено исследование качества, подлинности и идентичности фармацевтических препаратов ацетилсалициловой кислоты методом ИК-спектроскопии (инфракрасная спектроскопия). Задачами исследования стало изучение особенностей показателей ИК-спектров ацетилсалициловой кислоты российских и зарубежных производителей.

Д.В. Ермолаев, Г.Р. Мингалева, А.А. Галькеева, О.В. Афанасьева
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ

Ключевые слова: природные битумы, термохимическая переработка, газификация, генераторный газ.

На основании теоретических исследований предложен механизм процесса термического разложения природных битумов. Представлены обобщенные химические реакции газификации с учетом термодеструкции битума на примере асфальтенов, возможность протекания которых обоснована расчетными значениями термодинамических функций. Показаны пути образования компонентов генераторного газа, на основе которых могут быть определены кинетические и теплофизические параметры процесса газификации. Предложена технологическая схема газификации битума.

Ж.Ю. Кочетова, Т.А., Кучменко, А.Ф. Сидоркин, А.А. Кравченко
ПЬЕЗОСЕНСОРНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КАРБОНОВЫХ
КИСЛОТ
В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ МОТОРНОГО МАСЛА
ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЕГО ОТРАБОТКИ

Ключевые слова: карбоновые кислоты, пьезокварцевый резонатор, пьезосенсор, углеродные нанотрубки, степень отработки моторного масла.

Изучена сорбция карбоновых кислот C_1 – C_3 на модификаторах электродов пьезокварцевого резонатора; оптимизированы условия микровзвешивания паров кислот в газовой фазе моторных масел. Предложен способ определения степени отработки моторных масел при эксплуатации автомобиля с применением детектора на основе пьезосенсора, модифицированного многослойными углеродными нанотрубками.

А.И. Пичугина
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ МИЛЛЕРИТА
МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА

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

В работе представлены полученные математические модели процесса растворения синтезированного миллерита в кислых средах методом вращающегося диска. Проведена проверка их адекватности и найдены основные кинетические характеристики изучаемых процессов.

Т.А. Роздяловская, А.Н. Чудинов
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ CaO В
РАСПЛАВЕ $CaCl_2$ – $Na(K)Cl$

Ключевые слова: мелкодисперсный оксид кальция получение, расплавленные хлориды кальция и щелочных металлов.

Исследована реакция окисления хлорид-ионов кислородом в расплавленных хлоридных смесях $CaCl_2$ – $NaCl$, $CaCl_2$ – KCl при различном содержании $CaCl_2$ в расплаве. Определены кинетические параметры реакции окисления хлорид-ионов (константы скорости и порядок реакции, значения кажущейся энергии активации) по хлору. Показано, что количество образующихся хлора и оксида кальция зависит от концентрации

G.E. Bordina, N.P. Lopina, I.I. Nekrasova, D.A. Bordin,
V.I. Rogachevski
INFRARED SPECTROSCOPY OF PHARMACEUTICALS
OF ACETYLSALICYLIC ACID

Keywords: pharmacy, Aspirin, acetylsalicylic acid, IR-spectroscopy.

This article examined the possibility of IR - spectroscopy to determine the quality, authenticity and identity of the pharmaceuticals of acetylsalicylic acid. Objectives of the research were to study the characteristics of indicators IR - spectra of acetylsalicylic acid produced on russian and foreign manufacturers, presented in the modern pharmaceutical market and identify differences or similarities in the IR - spectra of the studied preparations.

D.V. Ermolaev, G.R. Mingaleeva, A.A. Galkeeva,
O.V. Afanaseva
TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THERMOCHEMICAL
PROCESSING OF NATURAL BITUMENS

Keywords: natural bitumen, thermochemical processing, gasification, generator gas.

The mechanism of thermal decomposition of natural bitumen based on theoretical studies is proposed. There are generalized chemical reactions of gasification taking into account the thermal decomposition of bitumen on an example of asphaltenes. The possibility of their occurrence is justified by the calculated values of the thermodynamic functions. The ways of formation the components of the generator gas are shown, on the basis of which the kinetic and thermophysical parameters of the gasification process can be determined. The technological scheme of gasification of bitumen is offered.

Zh.Yu. Kochetova, T.A. Kuchmenko, A.F. Sidorkin,
A.A. Kravchenko
PIEZOSENSORY DETECTION OF CARBONIC ACIDS IN
THE GAS MOTOR OIL PHASE FOR EXPRESS
EVALUATION OF THE DEGREE OF ITS PROCESSING

Keywords: carboxylic acids, piezoelectric resonator, piezosensor, carbon nanotubes, the degree of deterioration of engine oil.

The sorption of carboxylic acids C_1 – C_3 on the modifiers of electrodes of the piezoquartz resonator is studied; the conditions for micro-weighing of acid vapors in the gas phase of motor oils are optimized. The proposed method for determining the degree of engine oil extraction during the operation of a car with the use of a piezo-sensor based detector modified with multilayer carbon nanotubes.

A.I. Pichugina
MODELLING OF PROCESS OF DISSOLUTION OF
MILLERITE USING ROTATING DISC METHOD

Keywords: millerite, polynomial model, specific reaction rate, apparent activation energy.

The paper presents the mathematical model of process of dissolution of millerite synthesized in acidic media using rotating disc. Tested their adequacy and found the main kinetic characteristics of the studied processes.

T.A. Rozdialovskaya, A.N. Chudinov
PHYSICOCHEMICAL FOUNDATIONS FOR THE
SYNTHESIS OF CALCIUM OXIDE IN MOLTEN
CHLORIDES

Keywords: calcium and alkali metals chloride melts, calcium oxide production.

The results of the investigation of chloride ions oxidation during bubbling oxygen through calcium and alkali metal (Na, K) chloride melts are presented. The amount of gaseous chlorine formed depends on the molar ratio of chlorides in the mixture. The kinetic characteristics of chlorine formation were determined and calculated: the reaction order, reaction

CaCl_2 в расплаве хлоридов и температуры. Выделен оксид кальция, определена его дисперсность.

Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТВД
АВИАЦИОННЫХ ГТД

Ключевые слова: охлаждаемые лопатки турбин, воздухо-воздушный теплообменник, интенсивность охлаждения, коэффициент теплопередачи, эффективность системы воздушного охлаждения.

Представлены результаты исследований систем охлаждения турбин современных и перспективных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), включающих трубчатый воздухо-воздушный теплообменник (ВВТ), установленный в наружном контуре ТРДД. Сформулированы рекомендации по повышению их эффективности.

А.В. Агапов, Д.А. Боровиков, Е.Е. Данилина, А.В. Ионов, С.Д. Селиверстов
ОЦЕНКА ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, беспилотные летательные аппараты, центробежный компрессор, самолеты-мишени.

В работе представлены результаты изучения возможности применения малоразмерных газотурбинных двигателей на беспилотных летательных аппаратах. В работе проведена оценка мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и двигателей для них. Приведены оценочные параметры летательных аппаратов с малоразмерными газотурбинными двигателями.

М.Е. Басинов, Е.В. Касумов, В.И. Митряйкин, В.А. Шувалов
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТОВ

Ключевые слова: деформация, вибрация, частота, вертолет.

Реализована задача динамики вертолета, с применением метода разложения по собственным формам, для расчета реакции на внешние силовые воздействия конструкции в зависимости от жесткости и частотных характеристик. Апробированы модели поведения несущих поверхностей вертолетов в нарастающем потоке газа, разработаны модели деформации конструкции вертолета на заданном режиме полета. Модели используются на ранних стадиях проектирования для реализации задач устранения нежелательных вибраций в конструкции на заданных эксплуатационных режимах.

А.П. Буйносов, И.В. Умылин
О НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ
ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Ключевые слова: электропоезд, электрическая часть, цепь, низковольтная, надежность.

В статье описывается разработанная методика, позволяющая установить статистические характеристики случайного процесса эксплуатационного старения элементов низковольтных цепей МВПС, осуществить прогноз надежности, определить статистические распределения наработки электрических элементов до отказа.

В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко, Э.А. Петровский, Н.А. Бухтоярова
МОДЕЛИ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ
Ключевые слова: надежность, ситуационный анализ, аварийные ситуации, оптимизация, генетический алгоритм, экспертные системы.

В статье рассматривается проблема ситуационного анализа оценки надежности технологического оборудования, с учетом формализации задачи выбора мер по уменьшению соответствующих рисков. Предлагается реализовать решение задачи выбора средств, мер и мероприятий в оптимизационной постановке. Такая остановка задачи предполагает

rate constants, and the activation energy values. Particle size and chemical composition for CaO were determined.

Abbavaram Revanth Reddy, V.G. Nesterenko
IMPROVEMENT OF THE COOLING SYSTEM OF
MODERN HIGH-TEMPERATURE MATERIALS OF
AVIATION GTE

Keywords: cooled turbine blades, air-to-air heat exchanger, cooling intensity, heat transfer coefficient, efficiency of air cooling system.

The results of studies on turbine cooling systems for modern and future aviation gas turbine engines (GTE), including a tubular air-to-air heat exchanger installed in the bypass section of the turbojet engine are presented. Recommendations are given in order to increase their effectiveness.

A.V. Agapov, D.A. Borovikov, A.V. Ionov, S.D. Seliverstov
ESTIMATION OF SMALL-SIZE GAS TURBINE ENGINE
APPLICATION AREAS

Keywords: gas turbine engine, unmanned aerial vehicles, centrifugal compressor, target aircraft.

The paper presents the results of studying the possibility of using small-size gas turbine engines on unmanned aerial vehicles. In work the estimation of the world market of unmanned aerial vehicles and engines for them is made. The estimated parameters of aircraft with small-sized gas turbine engines are given.

М.Е. Басинов, Е.В. Касумов, В.И. Митряйкин, В.А. Шувалов
NUMERICAL MODELING IN INVESTIGATION OF
VIBRATIONAL CHARACTERISTICS OF HELICOPTERS

Keywords: deformation, vibration, frequency, helicopter.

The helicopter dynamics problem is solved using the self-form decomposition method to calculate the response to external force effects of the structure, depending on the stiffness and frequency characteristics. The models of the behavior of helicopter bearing surfaces in an increasing gas flow have been tested, models of the deformation of the helicopter design for a given flight regime have been developed. Models are used in the early design stages to implement the tasks of eliminating unwanted vibrations in the design at given operating conditions.

А.П. Буйносов, И.В. Умылин
THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC LOW VOLTAGE
CIRCUITS
OF ELECTRIC TRAINS

Keywords: train, electrical, circuit, low-voltage reliability.

The article describes the developed method, allowing to establish the statistical characteristics of a random process operating aging elements nizkovoltnoy circuits MVPS, to forecast reliability, to determine the statistical distribution practices electrical components to failure.

V.V. Bukhtoyarov, V.S. Tynchenko, E.A. Petrovskiy, N.A. Bukhtoyarova
MODELS OF SITUATIONAL ANALYSIS FOR
PROBLEMS OF PREDICTING THE DEVELOPMENT OF
EMERGENCY SITUATIONS

Keywords: reliability, situational analysis, emergency situations, optimization, genetic algorithm, expert systems.

The article is devoted to the problem of situational analysis of reliability assessment of technological equipment, taking into account the formalization of the problem of selecting measures to reduce the corresponding risks. It is proposed to implement the solution of the problem of selecting the means

необходимость рационального распределения ресурсов для достижения наибольшего эффекта по минимизации рисков, связанных с возникновением и развитием аварийных ситуаций в результате отказов оборудования. Рассматриваемую задачу, ввиду существенной размерности и с учетом многокритериальной постановки, предлагается решать с помощью метода глобальной оптимизации на основе эволюционного (генетического) алгоритма. Также в статье рассматривается переход к робастной постановке задачи с учетом возможной неэффективности отдельных средств, мер и мероприятий.

В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко, Е.А. Соловьёв, Э.А. Петровский
ОБРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ

Ключевые слова: моделирование, прогнозирование, экспоненциальное сглаживание, коллективные интеллектуальные методы, нейронные сети, турбоагрегат, диагностика.

В статье рассматривается возможность применения методов интеллектуального анализа данных для распознавания и прогнозирования предаварийных и аварийных ситуаций на турбоагрегатах, применяемых в нефтегазовом комплексе. Каждая из моделей реализуется на основе отдельного типа интеллектуальных технологий анализа данных – искусственных нейронных сетей, экспоненциального сглаживания, интегрированная модель скользящего среднего (ARIMA). На примере данных, полученных с датчиков, установленных на турбоагрегате, рассмотрено применение в качестве методов обработки современных статистических методов прогнозирования. Приводится сравнение результатов, рассматривается возможность применения методов в дальнейших исследованиях.

А.А. Вознесенская, А.В. Жданов, Д.А. Кочуев, В.В. Морозов
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ
ПОРОШКА НА ЭНЕРГИЮ ОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ
СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ СПЕКАНИИ

Ключевые слова: морфология частиц, селективное лазерное спекание (СЛС), алюминиевая матрица.

В работе осуществлено селективное лазерное спекание алюминиевых порошков различного гранулометрического состава, которые были получены путем совместной механической активации материала матрицы и частиц наполнителя. Проведен анализ исходного материала, распределения частиц по размерам и морфологии поверхности частиц порошка. Исследована зависимость влияния морфологии гранул порошка и энергии, затрачиваемой на оплавление участка порошкового материала, на качество получаемых объемных образцов.

А.В. Джабаров, А.В. Ионов, Р.А. Куколин, И.А. Николаев
ИЗНАШИВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ
ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО
ОКСИДИРОВАНИЯ, ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
УСЛОВИЯХ ГТД

Ключевые слова: покрытие, изнашивание, микродуговое оксидирование, карта износа.

Увеличение ресурса и надежности элементов механизмов и машин, изготовленных из алюминиевых сплавов, связано с увеличением износостойкости их рабочих поверхностей. В работе представлены результаты испытаний на механическое повторно-поступательное изнашивание покрытий, полученных методом микродугового оксидирования на алюминиевом сплаве АК4-1, при различных значениях перемещения и нормальной нагрузки, приложенной к зоне контакта. В результате были получены карты износа, оценка ресурса покрытий и связи между режимом трения и разрушением покрытий.

and measures in the optimization formulation. This statement of the problem assumes the need for rational allocation of resources to achieve the greatest effect on minimizing the risks associated with the emergence and development of emergencies as a result of equipment failures. The problem under consideration, in view of the substantial dimensionality and taking into account multicriteria formulation, is proposed to be solved using the global optimization method based on evolutionary (genetic) algorithm. Also, the article considers the transition to a robust formulation of the problem, taking into account the possible inefficiency of individual means and measures.

V.V. Bukhtoyarov, V.S. Tynchenko, E.A. Soloviev,
E.A. Petrovskiy
METHODS OF DATA ANALYSIS FOR PREDICTION
SETTINGS TURBINE UNIT

Keywords: modeling, forecasting, exponential smoothing, collective intelligence techniques, neural networks, turbine diagnostics.

The article discusses the possibility of using data mining techniques to detect and predict pre-emergency and emergency situations on turbine used in the oil and gas industry. Each of the models sold on the basis of a particular type of intelligent data analysis techniques - artificial neural networks, exponential smoothing, integrated moving average model (ARIMA). For example, data from sensors on the turbine unit, discussed the use of technology as an analysis of current forecasting methods. A comparison of the results, the possibility of applying the methods in future research.

A.A. Voznesenskaya, A.V. Zhdanov, D.A. Kochuev,
V.V. Morozov
INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE
POWDER PARTICLE SURFACE MORPHOLOGY ON
THE ENERGY OF INTERFERENCE IN SELECTIVE
LASER SINTERING

Keywords: particle surface morphology, selective laser sintering, aluminum matrix.

In this work, selective laser sintering of aluminum powders of different granulometric composition was performed. Powders were obtained by joint mechanical activation of matrix material and filler particles in a ball mill. The analysis of the initial material, the particle size distribution and the morphology of the surface of the powder particles was carried out. The dependence of the influence of the morphology of the powder granules and the energy expended on the fusion of a portion of the powder material is studied.

A.V. Dzhabarov, A.V. Ionov, R.A. Kukolin, I.A. Nikolaev
WEAR OF COMPOSITE CERAMIC MICROARC
OXIDATION COATINGS FOR GTE EXTREME
CONDITIONS.

Keywords: coatings, wear, microarc oxidation, wear maps. Improving the life and reliability elements of machines and mechanisms, made of aluminum alloys, is associated with increased wear resistance of their working surfaces. The formation of coatings is one of the ways to increase of wear resistance. The results of wear coatings obtained by micro-arc oxidation (MAO) on aluminum alloys, for different values of displacement ($D, \mu\text{m}$) in the reciprocating sliding and normal load (F_n, N) applied to the contact, presents in this paper. The wear map of MAO coatings, estimation of it lifetime and the relationship of the coatings critical fracture and combination of D and F_n was the results of this work.

В.В. Ершов

ВЕРИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА

Ключевые слова: бимформинг, заглушенная камера, микрофонная антенна, локализация источников шума, эталонный источник звука.

В статье описаны математические основы алгоритмов бимформинга для идентификации источников шума. Рассматриваются алгоритмы Delay-and-Sum Beamforming, Cross-spectral Beamforming и DAMAS. Проведен эксперимент по локализации эталонных источников шума с помощью 54-канальной микрофонной антенны Bruel&Kjaer в акустической заглушенной камере. Выполнено сравнение результатов локализации эталонных источников звука на основе указанных алгоритмов с экспериментом.

А.В. Жданов, О.В. Федотов, В.В. Морозов

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ФАКТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ РЕЗЬБЫ РВМ

Ключевые слова: роликвинтовой механизм (РВМ), фактическая геометрия, радиус кривизны, погрешности изготовления.

В работе осуществлено исследование фактического профиля резьбы роликвинтовых механизмов, имеющих погрешности изготовления. Проведен анализ исходных погрешностей резьбовых элементов, получены результаты искажения профиля РВМ и фактического радиуса кривизны при резьбошлифовании дисковым инструментом, выполнены расчеты для механизмов различного класса точности и с различной геометрией профиля. Полученные результаты используются для расчетов точности, прочности и жесткости механизмов.

С.Б. Жилина

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДОКУМЕНТОПОТОКОВ

Ключевые слова: цифровое предприятие, особенности мелкосерийного производства, производственные документопотоки.

В статье представлен анализ результатов исследования структуры и характеристик входных потоков документов мелкосерийного производства приборостроительного предприятия при непрерывно поступающих изменениях в конструкторской и технологической документациях. Приведенные результаты использованы при построении системы управления производством.

Р.Г. Куликов, Т.Г. Куликова, О.Ю. Сметанников

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ ПОЛИМЕРНОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Ключевые слова: большие деформации, кристаллизация, полимер, численный подход.

В работе выполнена общая постановка эволюционной краевой задачи нелинейной механики полимерных материалов в условиях протекания фазовых переходов и рассмотрена реализация численного алгоритма ее решения. Исследованы закономерности формирования дефекта типа раковины в кристаллизующемся полимерном цилиндре.

А.А. Морозенко, Д.В. Красовский

МАТРИЦА ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Ключевые слова: Инвестиционно-строительный проект, матрица ключевых событий, оператор перехода, ориентированный граф, организационная структура, визуальное программирование, жизненный цикл проекта.

Данная статья предлагает новые методы решения организационной задачи проектирования и строительства крупномасштабных инвестиционно-строительных проектов. Предлагается на этапе формирования организационной структуры и планов реализации инвестиционно-строительного проекта воспользоваться матрицей ключевых событий проекта,

V.V. Ershov

VERIFICATION OF ALGORITHMS OF SOUND SOURCE LOCALIZATION

Keywords: beamforming, anechoic chamber, microphone array, localization of noise sources, reference sound source. The mathematical foundations of beamforming algorithms for localization of noise sources are described in the article. Algorithms Delay-and-Sum Beamforming, Cross-spectral Beamforming and DAMAS are considered. An experiment was conducted to localize the reference sound sources with a 54-channel Bruel & Kjaer microphone array in an acoustic anechoic chamber. The results of localization of reference sound sources based on these algorithms are compared with experiment.

A.V. Zhdanov, O.V. Fedotov, V.V. Morozov

INFLUENCE OF MANUFACTURING ERRORS ON THE ACTUAL PROFILE OF THE ROLLER SCREW THREAD

Keywords: roller screw mechanism (RSM), actual geometry, radius of curvature, manufacturing errors. In work the research of an actual profile of a carving of the roller screw mechanisms (RSM) having manufacturing errors is carried out. The analysis of the initial errors of threaded elements is carried out, the results of distortion of the RSM profile and the actual radius of curvature are obtained for thread grinding with a disk tool, calculations are made for mechanisms of different accuracy class and with different profile geometry. The results obtained are used to calculate the accuracy, strength and rigidity of mechanisms.

S.B. Zhilina

RESEARCH AND STRUCTURAL ANALYSIS ON THE CHARACTERISTICS OF PRODUCTION DOCUMENTATION STREAMS

Keywords: digital enterprise, small-scale production features, production documentation streams

The article represents an analysis of research results for structure and characteristics on input streams of the small-scale production documents under condition that the design and technological documentation is continuously varying. The results given are used to arrange the production management system.

R.G. Kulikov, T.G. Kulikova, O.Yu. Smetannikov

NUMERICAL ANALYSIS OF THE CRYSTALLIZED POLYMER MEDIA THERMOMECHANICAL BEHAVIOR TAKING INTO ACCOUNT LARGE STRAINS

Keywords: finite deformations, crystallization, polymer, numerical method.

The general formulation of the evolutionary boundary-value problem of nonlinear mechanics of polymeric materials in the conditions of phase transitions is performed and the realization of the numerical algorithm for its solution is considered. The regularities of formation of a shell-type defect in a crystallizing polymer cylinder are investigated.

A.A. Morozenko, D.V. Krasovskiy

MATRIX OF INVESTMENT-CONSTRUCTION PROJECTS WITH ELEMENTS OF BUILDING PROGRAMMING

Keywords: investment-construction projects, matrix of key events, transition operator, oriented graph, organizational structure, project life cycle

This article offers new methods for solving the organizational task of designing and building large-scale investment-construction projects. It is proposed to use the matrix of key project events at the stage of formation of the organizational structure and plans for the implementation of the investment-construction project but not to use the form of tables of the

но не в виде таблиц смежности сетевого графика или линейных временных графиков, а в виде орграфа, в котором вершины отображают события жизненного цикла проекта, а дуги – логическую связь этих событий без назначения ресурсов.

Вводится понятие оператор перехода от одного события к другому, который определяет текущее состояние проекта. Оператор подробно описывает характер строительных работ, условия их выполнения, конечные результаты работы. Если сопоставление текущего положения проекта с программными показателями обнаруживает несоответствие, то вырабатывается управленческое решение, ликвидирующее это несоответствие, и тем самым обеспечивается устойчивое состояние строительного проекта.

Обозначены пути автоматизации проектирования матрицы проекта на основе принципов визуального программирования.

Н.В. Петров, Т.Н. Охлопков, И.Н. Ушницкий, К.В. Старостин,
М.М. Евсеева, А.Р. Кондакова

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА БИОГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ С КОРРЕКТИРОВАНИЕМ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: Биогаз, ДВС, топливо, корректировка, биогазовое топливо.

Данная статья рассматривает проблемы снижения потерь мощности двигателя, работающего на биогазовом топливе и эксплуатирующегося в автомобильном транспорте. Автор приводит схемы и расчёты, а также предлагает оптимальный вариант для решения проблемы.

О.Ю. Сметанников, Г.В. Ильных МНОГОУРОВНЕВОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНЕВЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ИНФУЗИИ

Ключевые слова: Многоуровневая модель, композиционный материал, вычислительная гидродинамика.

Представлено комплексное исследование фильтрационных свойств армирующего каркаса полимерных композитов. Представлены результаты экспериментального определения вязкости связующего. Используется многоуровневый подход, основанный на применении моделей механики многофазной жидкости на трех масштабных уровнях: волокна, ткани и многослойной выкладки. Верхний уровень соответствует масштабу процесса пропитки под давлением. Численные модели реализованы в виде универсальных макросов CAE пакета Ansys. Показано удовлетворительное соответствие данным верификационного эксперимента.

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЯГИ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Ключевые слова: поезд, тяга, магнитная левитация, двигатель, линейный, асинхронный, система, оптимизация, результаты.

В статье выведены уравнения и приведены результаты оптимизации системы тяги линейного асинхронного двигателя поезда на магнитной левитации за счет нахождения соотношения длины рамки и длины волны, при котором сила, действующая на фазный контур, встроенный в путь, будет максимальной.

А.А. Швецова, П.Е. Киселёв, П.А. Шляпников РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОТГРУЗКИ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: машиностроительное предприятие, планирование, отгрузка продукции, план производства.

В работе представлена концепция формирования планов производства крупного машиностроительного предприятия. Проведен анализ деятельности организации. Предложена многоуровневая система планирования производства, обеспечивающая непрерывность данного процесса. Разработана схема взаимодействия подразделений с указанием ответственных

network schedule or linear time schedules. Need to use the form of graphs in which the vertices display events in the life cycle of the project and arcs are communication of these events without assigning resources.

Introduces the concept of the transition operator from one event to another, which determines the current state of the project. The operator describes in detail the nature of the construction work, the conditions for their implementation, and the results of the work. If a comparison of the current status of the project with the program indicators reveals a discrepancy, then a managerial decision is made to eliminate this discrepancy, and thus the sustainable state of the construction project is ensured.

Designated way automation design of the matrix of project based on visual programming principles.

N.V. Petrov, T.N. Okhlopov, I.N. Ushnitsky, K.V. Starostin,
M.M. Evseeva, A.R. Kondakova

RESULTS OF THE INVESTIGATION OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATING ON BIOGAS FUEL WITH ADJUSTMENT OF ENGINE ADJUSTING PARAMETERS

Keywords: Biogas, ICE, fuel, adjustment, biogas fuel.

This article examines the problems of reducing the loss of power, working on biogas and operated in road transport. The author comes to schemes and calculations, and also offers the best option for solving the problem.

O.Yu. Smetannikov, G.V. Ilinykh MULTI-LEVEL MATHEMATICAL MODELING OF FILTRATION CHARACTERISTICS OF FABRIC COMPOSITES AT INFUSION

Keywords: Multi-level model, composite material, computational fluid dynamics.

A complex study of the filtration properties of the reinforcing framework of polymer composites is presented. The results of experimental determination of the binder viscosity are presented. A multi-level approach is based on the application of models of multiphase fluid mechanics at three scale levels: fiber, fabric and multi-layered calculations. The upper level corresponds to the scale of the impregnation process under pressure. Numerical models are implemented in the form of universal macros CAE package Ansys. A good accordance to the data of the verification experiment is shown.

N.G. Fetisova ,A.P. Buinosov OPTIMIZATION OF THE TRACTION SYSTEM OF LINEAR INDUCTION MOTOR TRAIN ON MAGNETIC LEVITATION

Keywords: train, thrust, magnetic levitation, motor, linear, asynchronous, system optimization, results.

In the article the equations and the results of optimization of the system of traction linear induction motor train on magnetic levitation by finding the ratio of the length of the frame and the wavelength at which the force acting on a phase contour, embedded in the path is maximum.

A.A. Shvetsova, P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF PLANING AND SHIPMENT OF PRODUCTS OF ENGINEERING ENTERPRISE

Keywords: engineering enterprise, planning, shipment, production plan.

The concept of formation of production plans for large engineering enterprise is presented in the work. Analysis of the organization's activities is conducted. A multi-level production planning system that ensures the continuity of this process is proposed. The scheme of interaction of

за формирование, согласование и утверждение документов. Схема планирования сформирована на базе имеющихся на предприятии информационных систем.

И.И. Воротынцева, В.Л. Кашинцева
АВТОФАЗНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СВЧ ЭНЕРГИИ

Ключевые слова: СВЧ-конвертор, автофазная секция, оптимизация, численное моделирование.

Рассмотрена модель специальной ЛБВ, представляющей собой двухсекционную конструкцию с автофазной выходной секцией. Представлены результаты численного моделирования режима обратного преобразования в автофазной ЛБВ при многократном вводе СВЧ энергии. Сделаны оценки эффективности работы устройства при различных комбинациях параметров процесса, которые позволяют добиться длительного устойчивого удержания электронного сгустка полем ВЧ волны. Показано, что к.п.д. обратного преобразования может быть существенно увеличен выбором оптимального закона изменения профиля статического потенциала.

К.А. Кузьмин, И.В. Нелин, В.А. Скуратов, В.В. Кирдяшкин
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ
РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ
АНАЛИЗЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Ключевые слова: распознавание образов летательных аппаратов, нейронные сети, радиолокационное изображение.

В научной работе рассматривается возможность применения искусственных нейронных сетей для распознавания различных визуальных образов на примере определения типа летательных аппаратов при анализе радиолокационного изображения. В статье освещен общий подход к построению и обучению многослойной нейронной сети, проведены моделирование и анализ возможности использования нейросетевых технологий для распознавания образов летательных аппаратов на фоне подстилающей поверхности.

Г.М. Мучкаева, С.С. Манжиев, П.С. Хотамов, Б.О. Балтыков,
К.К. Хамгаев, Н.Н. Левгеев, Д.В. Сангаджиев
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ
ПОГРЕШНОСТЕЙ

Ключевые слова: точность измерения, систематическая погрешность, метод измерений, среднее квадратическое отклонение, дисперсия, поправка.

Рассмотрены источники погрешностей, оказывающие влияние на точность измерений. Исследованы закон распределения систематической погрешности и оценка смещения среднего при внесении поправок в результаты измерений.

А.Р. Насыбуллин, Р.В. Фархутдинов
ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК
ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ КОАКСИАЛЬНОЙ БРЭГГОВСКОЙ
СВЧ СТРУКТУРЫ

Ключевые слова: СВЧ брэгговская структура, коаксиальный волновод, датчик, матричный метод, метод малых апертур.

В статье предложен подход к описанию характеристик периодической СВЧ структуры в коаксиальном волноводе, используемой как датчик для определения диэлектрических параметров жидкостей. Описанный метод использует аппарат матричного анализа и описание неоднородностей на основе квазистатического приближения. Неоднородности в виде ячеек в диэлектрике коаксиального волновода характеризуются понятиями «эффективной» диэлектрической проницаемостью и моментами отверстий во внешнем проводнике волновода.

departments with the indication of those responsible for the formation, coordination and approval of documents has been worked out. The scheme of planning is formed on the basis of available information systems.

I.I. Vorotyntseva, V.L. Kashintseva
AUTO PHASE CONVERTOR OF MICROWAVE
ENERGY

Keywords: microwave convertor, auto phase section, optimization, numerical modeling.

The article explores the problem of energy conversion efficiency improvement in an auto phase TWT in case of juxtaposition of static fields by choosing size and form of this field. The article also provides results of numerical optimization which leads to establishment of consistent stationary management mechanisms and achieves sustainable long-term retention of the electron bunch in the field of high-frequency waves. It is shown that the established procedure helps to effectively optimize an auto phase TWT.

K.A. Kuzmin, I.V. Nelin, V.A. Skuratov, V.V. Kirdyashkin
USING NEURAL NETWORKS TO RECOGNIZE THE
TYPE OF AIRCRAFT IN ANALYSIS OF THE RADAR
IMAGE OF THE UNDERLYING SURFACE

Keywords: recognition of aircraft images, neural networks, radar image.

In the scientific work, the possibility of using artificial neural networks for recognizing various visual images by the example of determining the type of aircraft during the analysis of a radar image is considered. The article describes the general approach to the construction and training of a multilayer neural network, simulated and analyzed the possibility of using neural network technologies for recognizing images of aircraft against the background of the underlying surface.

G.M. Muchkaeva, S.S. Manzhiev, P.S. Hotamov,
B.O. Baltykov, K.K. Hamgaev, N.N. Levgeev, D.V.
Sangadzhiev

INVESTIGATION OF METHODS OF IMPROVEMENT
OF ACCURACY OF MEASUREMENTS WITH THE
PRESENCE OF SYSTEMATIC ERRORS

Keywords: accuracy of measurement, systematic error, measurement method, standard deviation, dispersion, correction.

The sources of errors affecting the accuracy of measurements are considered. The law of the distribution of the systematic error and the estimation of the mean displacement when making corrections to the measurement results are investigated.

A.R. Nasybullin, R.V. Farkhutdinov
APPROXIMATE METHOD OF CALCULATION
CHARACTERISTICS SENSORS BASED ON COAXIAL
BRAGG MICROWAVE STRUCTURES

Keywords: Microwave Bragg Structure, Coaxial Waveguide, Sensor, Matrix Method, Small Aperture Method.

The approach to describing the characteristics of the periodic microwave structure in a coaxial waveguide used as a sensor for determining the dielectric parameters of liquids is proposed in the article. The described method uses the apparatus of matrix analysis and the description of inhomogeneities on the basis of a quasistatic approximation. Heterogeneities in the form of cells in the dielectric of the coaxial waveguide are characterized by the concepts of "effective" dielectric permittivity and the moments of the holes in the outer conductor of the waveguide.

И.В. Нелин, Д.А. Охотников
РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПОСТОРОННИХ В
ДВИЖУЩЕМСЯ ТРАНСПОРТЕ

Ключевые слова: транспортировка ценных грузов, обнаружение живого человека, селекция сигналов, местные предметы. Актуальность обнаружения посторонних лиц в подвижном транспорте не вызывает сомнений при транспортировке особо опасных грузов, ядовитых отходов, дорогостоящих объектов. Современные технические средства позволяют как проникнуть в движущийся транспорт, так и покинуть его с его содержимым. В связи с этим разработка современных средств обнаружения и оповещения о несанкционированном проникновении требует постоянного усовершенствования подходов к проектированию.

И.В. Нелин, М.К. Седанкин, В.А. Скуратов
РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ключевые слова: медицинская робототехника, радиометрический датчик, радиотермометрия, медицинские робототехнические комплексы.

Статья посвящена исследованиям радиометрических антенн и датчиков на их основе, применяемых в медицинских робототехнических комплексах. В работе приведены общие данные о назначении медицинских робототехнических комплексов и использовании в их составе радиометрических датчиков, а также произведен анализ вариантов конструкций датчиков и методологии их проектирования.

И.К. Алайцев, Т.В. Данилова, А.О. Мантуров, Г.О. Мареев,
О.В. Мареев

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ПОЛОСТНЫХ
ОПЕРАТИВНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ С ТАКТИЛЬНОЙ
ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Ключевые слова: гаптик-устройства, тактильная обратная связь, гироскоп, акселерометр, устройство ввода, устройства управления.

Применение систем виртуальной реальности является одним из современных подходов в образовании. Особую значимость такие системы имеют в обучении хирургов проведению лапароскопических операций. Одним из ключевых аспектов симуляции в этом случае является тактильная обратная связь. Её наличие позволяет развивать моторные навыки работы со сложными инструментами. В работе представлено устройство, позволяющее имитировать работу лапароскопическими инструментами с созданием тактильной обратной связи.

И.А. Андреев, М.М. Калабишка, Е.А. Солдатова
МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ
ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Ключевые слова: информация, безопасность, защита информации, интернет, уязвимости, передача данных, атаки. В статье рассмотрены общедоступные методы защиты персональных данных при передаче и хранении на рабочей станции, наиболее эффективные методы шифрования данных на персональных компьютерах, методы обеспечения безопасности передачи данных через сеть интернет.

А.Д. Бондарева, Е.Н. Созинова, К.А. Фаязов
МОДЕЛЬ ЗАЩИЩАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ
ТИПА "УМНЫЙ ДОМ"

Ключевые слова: Умный дом; информационная безопасность; автоматизированная система управления зданием.

В работе исследована структура системы "Умный дом", на основе этого разработана модель автоматизированной системы управления зданием "Умный дом". Исследована информация, обрабатываемая в данной системе и поставлена задача по обеспечению информационной безопасности "Умного дома".

Р.Р. Валиахметов, Р.Р. Зиятдинов, А.А. Шабаетов
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ
ИЛИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ
Ключевые слова: система поддержки принятия решения,

I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov
RADAR DETECTION OF INTRUDERS IN MOVING
TRANSPORT

Keywords: transportation of valuable cargoes, detection of a living person, selection of signals, local subjects. The actuality of detection of unauthorized persons in mobile transport does not cause doubts when transporting especially dangerous goods, poisonous wastes, expensive objects. Modern technical means allow both to penetrate the moving transport, and to leave it with its contents. In connection with this, the development of modern means of detection and notification of unauthorized penetration requires constant improvement of approaches to design.

I.V. Nelin, M.K. Sedankin, V.A. Skuratov
RADIOMETRIC SENSORS FOR MEDICAL ROBOTIC
COMPLEXES

Keywords: medical robotics, radiometric sensor, microwave radiometry, medical robotic complexes. The article is devoted to development of radiometric sensors based on microwave antennas, which used in medical robotic complexes. The article presents general data on the designation of medical robotic complexes and the use of radiometric sensors in their composition, as well as the analysis of variants of construction of sensors and the methodology for their design.

I.K. Alaytsev, T.V. Danilova, A.O. Manturov, G.O. Mareev,
O.V. Mareev

HAPTIC DEVICE FOR LAPAROSCOPIC SURGERIES
SIMULATION

Keywords: haptic devices, haptic feedback, force feedback devices, gyroscope, accelerometer, input device. Virtual reality systems utilization is a modern approach in education. Laparoscopic surgery simulation systems require special devices to provide haptic feedback to the user. This paper describes such haptic device for virtual laparoscopic surgery system. The device provides 6 DOF input for dual hand operations with haptic feedback.

I.A. Andreev, M.M. Kalabishka, E.A. Soldatova
METHODS OF SECURITY OF TRANSFER OF
PERSONAL DATA

Keywords: information security, information security, Internet, vulnerability, data transfer, attack. The article discusses the public methods of the protection of personal data during transmission and storage on a workstation, most effective methods of encrypting data on personal computers, methods of ensuring the security of data transmission over the Internet.

A.D. Bondareva, E.N. Sozinova, K.A. Fayazov
MODEL OF PROTECTED INFORMATION IN THE
SYSTEMS OF THE TYPE "SMART HOME"

Keywords: Smart home; information security; automated building management system.

In this research, the structure of "Smart home" was explored, based on this, model of automated building management system "Smart home" was developed. To addition, was researched type of information which processed in this system, and task to ensure information security "Smart home" was set.

R.R. Valiakhmetov, R.R. Ziyatdinov, A.A. Shabaev
DECISION SUPPORT SYSTEM AT SELECTION OR
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL ACCESSORIES
Keywords: decision support system, development of process

разработка оснастки технологического процесса.

В работе предложено использование системы поддержки принятия решения с использованием базы знаний аналогов изделия, оснастки, опыта разработки, для уменьшения сроков ввода в производство за счет применения уже существующей оснастки применяемой при обработке изделия-аналога, обработке отдельных элементов изделия с применением других приспособлений и сокращение сроков разработки новой оснастки за счет полноты технического задания и использования опыта разработчиков аналогичной оснастки.

Д.В. Веерпалу, А.В. Иващенко
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ
СТРОИТЕЛЬСТВОМ ОБЪЕКТОВ СЕТИ ЦИФРОВОГО
ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ

Ключевые слова: цифровое телерадиовещание, управление строительством, рациональное управление.

В работе представлены результаты построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений по рациональному управлению строительством объектов сети цифрового телерадиовещания в России.

А.П. Даденкова
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ФАЙЛООБМЕННОЙ СЕТИ С
ПРОТОКОЛОМ DHT

Ключевые слова: имитационное моделирование, протоколы поиска данных, децентрализованные файлообменные сети, AnyLogic, DHT, P2P.

В работе анализируется построение модели децентрализованной файлообменной сети с протоколом DHT. Представлены результаты изучения принципов функционирования исследуемого поискового протокола и предложены фрагменты программной реализации разрабатываемой модели в распространенной системе имитационного моделирования AnyLogic.

Ю.П. Емельянова
МЕТОД ВЕКТОРНОЙ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА
СЛАБОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДИСКРЕТНЫХ
ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: слабая устойчивость, 2D системы, повторяющиеся процессы, метод векторной функции Ляпунова.

В данной работе метод векторной функции Ляпунова используется для получения достаточных условий слабой устойчивости дискретных повторяющихся процессов. Это новая форма устойчивости мотивирована конечной длительностью каждого повторения, тогда как экспоненциальная устойчивость накладывает ограничения на бесконечном интервале времени.

С.В. Ерохин, С.В. Семенов, О.О. Рошка
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ
ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОИЗВОДНЫХ ДРОБНОГО ПОРЯДКА

Ключевые слова: релаксация, вязкоупругость, производная дробного порядка.

В работе для моделирования релаксации вязкоупругих материалов предлагается обобщенная модель Максвелла, использующая производную дробного порядка. Установлена адекватность модели и предложена методика определения порядка дробной производной по экспериментальным данным.

С.В. Ерохин, Л.Ю. Фриштер, В.Д. Петелина, Н.М. Чиганова
РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ
Ключевые слова: вязкоупругость, производная дробного порядка, разностная схема.

В работе построены разностные схемы для дифференциальных уравнений с производной дробного порядка. Подобные уравнения возникают при моделировании высокоэластичной деформации вязкоупругих материалов. Показана устойчивость и сходимость численного метода.

equipment

The work suggests the use of a decision support system using the knowledge base of product analogs, tooling, development experience, to reduce the time required to enter production, due to the use of already existing equipment used in the processing of analog products, processing of individual elements of the product with the use of other existing device, and reduction of the terms of development of new equipment due to the completeness of the technical task with using the experience of developers of similar equipment.

D.V. Veerpalu, A.V. Ivashchenko
INTELLIGENT TECHNOLOGIES FOR DECISION
MAKING SUPPORT IN DIGITAL TELEVISION
DEVELOPMENT PROJECTS

Keywords: digital television, construction and building sector, reasonable management

This paper presents the results of intelligent software development for decision making support to implement the system of reasonable management of digital television construction and building in Russia.

A.P. Dadenkova
BUILDING A MODEL FOR FILE NETWORK WITH DHT
PROTOCOL

Keywords: imitation modeling, data retrieval protocols, decentralized file-sharing networks, AnyLogic, DHT, P2P. The work analyzes the construction of a model decentralized file-sharing network with the DHT protocol. The results studying the principles operation of the search protocol are presented and the fragments of the software implementation the developed model in the widespread simulation system AnyLogic are offered.

J.P. Emelianova
VECTOR LYAPUNOV FUNCTION METHOD FOR
WEAK STABILITY ANALYSIS OF DISCRETE
REPETITIVE PROCESSES

Keywords: weak stability, 2D systems, repetitive processes, vector Lyapunov function method.

In this paper the vector Lyapunov function method is used to obtain sufficient conditions for stability in a weak sense of discrete nonlinear repetitive processes. This new form of stability is motivated by the finite time duration of the dynamics along the pass, whereas exponential stability imposes a bound over the infinite time interval.

S.V. Erokhin, S.V. Semenov, O.O. Roshka
RELAXATION MODEL OF VISCOELASTIC
MATERIALS BASED ON FRACTIONAL ORDER
DERIVATIVES

Keywords: relaxation, viscoelasticity, fractional order derivative.

We propose a generalized Maxwell model that uses a derivative of a fractional order to describe the relaxation. The adequacy of the model is established and a procedure for determining the order of the fractional derivative from experimental data is proposed.

S.V. Erokhin, L.Yu. Frishter, V.D. Petelina, N.M. Chiganova
DIFFERENCE SCHEMES FOR MATHEMATICAL
MODELING OF HIGH-ELASTIC DEFORMATION
Keywords: difference scheme, viscoelasticity, fractional order derivative.

In this paper, difference schemes for differential equations with a derivative of fractional order are constructed. Similar equations arise when modeling the highly elastic deformation of viscoelastic materials. The stability and convergence of the numerical method is shown.

В.А. Калитвин
О МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ С ЧАСТНЫМИ
ИНТЕГРАЛАМИ

Ключевые слова: интегральное уравнение, частные интегралы, метод механических квадратур, оператор Романовского.
Рассматриваются линейные уравнения с частными интегралами. Эти уравнения являются обобщениями интегрального уравнения Романовского марковских цепей с двусторонней связью. Изучается фредгольмовость этих уравнений. Рассматривается применение метода механических квадратур к решению интегрального уравнения Романовского.

А.С. Коржавина, В.С. Князьков
МЕТОД РАСШИРЕНИЯ БАЗИСА СИСТЕМ ОСТАТОЧНЫХ
КЛАССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ СЧИСЛЕНИЯ СО
СМЕШАННЫМИ ОСНОВАНИЯМИ

Ключевые слова: система остаточных классов, расширение базиса, система счисления со смешанными основаниями.
В работе представлен новый эффективный метод выполнения операции расширения базиса, позволяющий конвертировать число в СОК с другим набором оснований, а также расширить диапазон представления чисел. Произведена оценка временной и аппаратной сложности. Разработанный метод имеет как временную, так и аппаратную сложность $O(n)$, и является эффективным с точки зрения соотношения скорости выполнения и аппаратных затрат.

С.И. Мельников
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НЕПРЕРЫВНОГО
КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Ключевые слова: многоуровневые системы, распределенные системы, базы данных, управление, локальные ресурсы, система сопровождения процесса обучения.
Наличие ряда существенных ограничений и требований к информационной системе ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» в силу состояния инфраструктуры информационных технологий делает невозможным использование онлайн доступа к единой базе данных и использование двухфазных транзакций. В данной работе представлена разработка оригинального механизма синхронизации распределенных баз данных на основе метода асинхронной доставки журнала транзакций.

А.С. Овдина, И.Е. Жигалов, М.И. Озерова
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЯВОК
НА БАНКОВСКИЕ ГАРАНТИИ

Ключевые слова: венгерский алгоритм, оптимизация, распределение, паросочетание, автоматизация.
Статья посвящена автоматизации процесса распределения, разработке алгоритма оптимального распределения заявок в режиме реального времени, на примере банковской интернет площадки. Отличительной особенностью данного алгоритма является учет множества критериев, влияющих на точность распределения заявка-банк.

А.В. Павельчук, А.Г. Масловская
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ИНЖЕКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МОДИФИКАЦИИ
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, инжекция электронов, метод Монте-Карло, система имитационного моделирования.
В статье представлены результаты разработки системы 3D-имитационного моделирования инжекции электронов при диагностике и модификации сегнетоэлектриков методами РЭМ. Для реализации вычислительной схемы использован метод Монте-Карло. На основе вычислительного эксперимента проведена оценка характеристик инжекционных эффектов для типичных сегнетоэлектриков при параметрах, соответствующих электронно-стимулированному переключению поляризации.

V.A. Kalitvin
ON MATHEMATICAL MODELS WITH PARTIAL
INTEGRALS

Keywords: integral equations, partial integrals, method of mechanical quadratures, operator of Romanovskij.
The linear equations with partial integrals are considered. This equations are extension of Romanovskij integral equation of Markov chain with two-sided connection. The application for solution of Romanovskij integral equation of mechanical quadratures method is considered.

A.S. Korzhavina, V.S. Kniazkov
BASE EXTENSION IN RESIDUE NUMBER SYSTEMS
USING MIXED-RADIX SYSTEMS

Keywords: residue number system, base extension, mixed-radix number system.
A new effective base extension method is presented. This method is used when the residue range has to be expanded to include additional moduli, or when a conversion to a different RNS has to be done. The estimation of execution time and hardware complexity is made. The developed method has both time and hardware complexity $O(n)$ and has an optimal balance of execution speed and hardware cost.

S.I. Melnikov
CONTINUOUS CORPORATE LEARNING PROCESS
CONTROL SUSTEM BASED ON DISTRIBUTED
DATABASE DATA ARCHITECTURE OF

Keywords: multi-level systems, distributed systems, database, control, local resources, educational process support system.
Existence of a number of significant limitations and requirements for the information system applying to information technology infrastructure of LCC Gazprom transgaz Nizhny Novgorod makes it impossible to use online access to the unified database and using two-phase transactions. This paper presents the development of an original synchronization mechanism of distributed databases data based on the method of asynchronous delivery of the transaction log. The application problem of ensuring the integration of the local databases residing in some nodes of the computer network to a user running on any node in the network has been solved.

A.S. Ovdin, I.E. Zhigalov, M.I. Ozerova
AUTOMATION OF THE PROCESS OF DISTRIBUTION
OF APPLICATIONS TO BANK GUARANTEES

Keywords: Hungarian algorithm, optimization, distribution, matching, automation.
The article is devoted to the automation of the distribution process, the development of an algorithm for the optimal distribution of applications in real time, using the example of a banking Internet site. A distinctive feature of this algorithm is the consideration of a set of criteria that affect the accuracy of the application-bank distribution.

A.V. Pavelchuk, A.G. Maslovskaya
SIMULATION OF INJECTION PROCESS
CHARACTERISTICS
IN FERROELECTRICS MODIFIED BY ELECTRON
IRRADIATION

Keywords: ferroelectric, electron irradiation, Monte-Carlo simulation, computer simulation system.
The article presents 3D-simulation system designed to analyze the characteristics of electron injection at diagnostics and modification of ferroelectrics with the SEM techniques. The computational scheme was implemented using Monte Carlo simulation. The software was suggested to perform estimations of injection characteristics for typical ferroelectrics under the conditions corresponding electron beam-stimulated polarization switching.

Е.В. Разова, Е.В. Котельников, А.В. Котельникова
ПРОЦЕДУРА ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗЫ О НЕРАВНОМЕРНОСТИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОЧНОЙ ЛЕКСИКИ В ВЕКТОРНОМ
ПРОСТРАНСТВЕ

Ключевые слова: оценочная лексика, анализ тональности,
распределенное представление слов.

В работе предлагается процедура проверки наличия областей концентрации оценочной лексики в m -мерном пространстве распределенных представлений слов. Приводится пример применения процедуры для двумерного пространства.

Е.Н. Созинова, М. Жакиш, В.В. Федотова
СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ СМИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Ключевые слова: персональная информация, защита
персональных данных, средства массовой информации.

В данной статье рассматривается система защиты персональной информации в средствах массовой информации Российской Федерации. Особое внимание уделяется проблемам нормативно-правового регулирования информационных технологий и обеспечения в них безопасности персональных данных. Авторы раскрывают специфику защиты персональных данных в средствах массовой информации, связанную с особенностями деятельности СМИ в нашей стране.

В.М. Таланов, Д.С. Фомин, В.П. Атманзин
ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА
РЕЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ
MYSQL И MICROSOFT SQL SERVER НА ПРИМЕРЕ БАЗЫ ДЛЯ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ

Ключевые слова: система, критерий, база данных, MSSQL,
MySQL.

В статье предложены критерии для сравнительного анализа реляционных систем управления базами данных. Приводится пример сравнения двух СУБД по предложенным критериям, а также по основным синтаксическим и визуальным отличиям на примере базы данных для системы управления задачами.

А.А. Шабаетов, Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Валиахметов
КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ В БАЗЕ ЗНАНИЙ
СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Ключевые слова: проектирование, системы управления, база
знаний, прецеденты, кластеризация.

Использование современных систем проектирования позволяет значительно сократить время подготовки различной технологической документации. Интеграция в существующие программные комплексы системы поддержки принятия решений, основанной на использовании базы прецедентов, позволит повысить качество и скорость проектирования за счет использования информации по созданным системам автоматического управления. Кластеризация прецедентов позволяет оптимизировать выполнение поисковых запросов.

E.V. Razova, E.V. Kotelnikov, A.V. Kotelnikova
TESTING PROCEDURE FOR HYPOTHESIS OF
SENTIMENT LEXICON NONUNIFORMITY IN VECTOR
SPACE

Keywords: sentiment lexicon, sentiment analysis, word
distributed representations.

In the article the testing procedure for existence of sentiment lexicon concentration regions in m -dimensional space is proposed. The example of applying the procedure for two-dimensional space is provided.

E.N. Sozinova, M. Zhakish, V.V. Fedotova
THE SYSTEM OF PROTECTION OF PERSONAL DATA
IN THE INFOCOMMUNICATION NETWORKS OF THE
MASS MEDIA OF THE RUSSIAN FEDERATION

Keywords: personal information, protection of personal
information, mass media.

This article is considered the system for the protection of personal information in the mass media of the Russian Federation. Particular attention is paid to the regulatory and legal regulation of information technology and the security of personal data. The authors disclose the specifics of the protection of personal data in the media associated with the specifics of media activities in our country.

V.M. Talanov, D.S. Fomin, V.P. Atmanzin
CHOICE OF CRITERIA FOR COMPARATIVE
ANALYSIS BETWEEN RELATIONAL DATABASE
MANAGEMENT SYSTEMS SUCH AS MYSQL AND
MICROSOFT SQL SERVER ON EXAMPLE OF
DATABASE FOR TASK MANAGEMENT SYSTEM

Keywords: system, criterion, database, MSSQL, MySQL.

The article introduces criteria for comparative analysis of relational database management systems. The paper describes an example of comparison of two relational database management systems using suggested criteria and main syntactic and visual differences on the example of the database for the task management system.

A.A. Shabaev, R.R. Ziyatdinov, R.R. Valiahmetov
CLUSTERING OF PRECEDENTS IN THE BASIS OF
KNOWLEDGE OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM

Keywords: design, management systems, knowledge base,
precedents, clustering.

Use of the modern systems of design allows to reduce considerably time of preparation of different technological documentation. Integration into the existing program complexes of the decision making support system based on use of a basis of precedents will allow to increase quality and speed of design due to use of information on the created systems of automatic control. The clustering of precedents allows to optimize execution of search queries.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№6 2017

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 18.12.2017 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

13,5 усл.печ.л. 15,5 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 945.

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»