

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№4 2019

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

2019

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2019г. – Казань:
ООО «Научно-технический вестник Поволжья», 2019. – 200 с.

ISSN 2079-5920

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

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

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;
В.А. Жихарев – д.ф.-м.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, 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Минкин, Р.Х. Зиятдинов, Р.Х. Шагимуллин, А.Г. Замалиев, М.А. Мухамедзянов</i>	
ЦЕВОЧНАЯ ПЕРЕДАЧА С МАГНИТНОЙ СВЯЗЬЮ	9

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

<i>Г.М. Гузаиров</i> ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГРУППЫ ЛОРЕНЦА И РАЗЛОЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ НА С ПО ФУНКЦИЯМ БЕССЕЛЯ	11
<i>Г.С. Жукова</i> СТРУКТУРА АСИМПТОТИКИ РЕШЕНИЙ ОДНОГО КЛАССА СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ СИСТЕМ	15
<i>Б.В. Заятуев, Ю.Ю. Нефедов</i> К-КОНТАКТНАЯ МЕТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НА КАСАТЕЛЬНОМ СФЕРИЧЕСКОМ РАССЛОЕНИИ	19
<i>А.К. Мордовской, Т.А. Макунина</i> ОПРЕДЕЛЯЕМОСТЬ АБЕЛЕВЫХ ГРУПП СВОИМИ ПОДГРУППАМИ	23
<i>Ю.Г. Полкунов, М.Ю. Лобода</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОБЪЕМНЫХ ТРЕЩИН	26
<i>А.С. Рябенко</i> ПОСТРОЕНИЕ ОДНОГО РЕГУЛЯРИЗАТОРА	30
<i>К.Э. Сибгатуллин, Э.С. Сибгатуллин</i> СТРУКТУРНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ БРУСЬЕВ С ИЗОТРОПНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ ИХ СЛОЖНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ	34

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Д.А. Пономарев, А.Б. Шеин, С.Н. Шуров</i> СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ 2-АМИНО-1,3-ТИАЗОЛА И 2-АМИНО-1,3,4-ТИАДИАЗОЛА В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ КИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ	41
<i>Н.А. Рогожников, Е.Н. Калмыкова</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОСОРБЕНТОВ	45

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>А.П. Буйносов, А.Р. Динисламов</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ГЛУБИНЫ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВОВ	49
<i>С.А. Вологжанина, А.Ф. Иголкин, А.А. Перегудов</i> ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 30ХМА	53
<i>А.В. Завьялов, О.Е. Замураев, Ю.А. Орлов</i> МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ	56
<i>О.Е. Замураев, А.В. Завьялов, Ю.А. Орлов</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ	59
<i>А.К. Иванов, И.А. Савватеева</i> РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РАЙОНАХ СЕВЕРА	62
<i>В.Ф. Лапшин, А.П. Буйносов, И.В. Умылин</i> ЭЛЕМЕНТЫ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ	65
<i>В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова</i> ВЫГЛАЖИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕРСТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ	69

Д.П. Салова, Н.В. Носов, А.Ф. Денисенко, В.Н. Гаврилов, П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, Е.П. Шалунов, С.С. Сайкин, А.М. Новиков, А.В. Семенов ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЗЕРЕН СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И ЭЛЬБОРА, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ШЛИФОВАЛЬНОГО ШЛАМА	73
Д.П. Салова, С.С. Сайкин, В.В. Плотников, Т.Г. Виноградова, П.М. Салов, В.С. Григорьев, С.С. Сорокин, А.М. Новиков, В.Н. Гаврилов, А.В. Семёнов ИЗНАШИВАНИЕ И ПРИРАБАТЫВАЕМОСТЬ ОТРЕЗНЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ	77
А.В. Семенов, А.М. Новиков, В.Н. Гаврилов, В.А. Иванов, Е.И. Артамонов, Д.П. Салова, Т.Г. Виноградова, П.М. Салов ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ КРОМОК СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ	80

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

Г.М. Мучкаева, Д.Н. Цивдинов, Х.В. Хантыев, А.Ю. Качаев, Б.А. Лиджиева МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В МАТЕРИАЛАХ ДЕТАЛЕЙ СОЕДИНЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО НАТЯГ	83
В.В. Паничев, Н.А. Соловьев, А.М. Семенов АЛГОРИТМ НАКОПЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ФОНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ	86
П.В. Писарев, К.А. Максимова ВЗАИМОВЛИЯНИЕ РЕЗОНАТОРОВ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ПАДЕНИИ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ	90
Ф.Ф. Рамазанов, И.Ф. Рамазанов ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ И ГАЗА ЛАЗЕРНЫМ ДОПЛЕРОВСКИМ АНЕМОМЕТРОМ	93
М.К. Седанкин, И.В. Нелин, С.А. Хворостов, М.С. Хворостов, В.А. Скуратов, С.Д. Мерцалов ЭЛЕКТРОННЫЕ МИНИРОБОТЫ И ЭНДОГЕННЫЙ ЭЛЕКТРОФОРЕЗ	97
М.К. Седанкин, И.В. Нелин, С.А. Хворостов, М.С. Хворостов, В.А. Скуратов, С.Д. Мерцалов, М.С. Виноградов ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ПАЦИЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ МИНИРОБОТОВ	101
А.Г. Шляхова, А.Т. Шляхов, Л.А. Гайнулова КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ	105

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

М.А. Аль-Аскари, В.В. Афонин РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИСКАЖЕНИЙ НА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ И СО СТРОБ ЭФФЕКТАМИ	109
Д.А. Безуглов, С.Е. Мищенко, В.В. Шацкий, В.И. Юхнов МЕТОД АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО СИНТЕЗА ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФУНКЦИОНАЛА	113
Д.А. Булашов, И.Н. Сидоров АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОТСТРОЙКИ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ВАЛОПРОВОДА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА	118
А.Р. Ванеев ОСОБЕННОСТИ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ МНОЖЕСТВЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПО ТРЕБОВАНИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ	125
Л.А. Галиуллин, Е.В. Зубков, А.Н. Илюхин, А.Х. Тазмеев, И.А. Галиуллин МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ	128

Р.Н. Голых, В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, Р.А. Лопатин, В.Д. Минаков ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЁТА СКОРОСТИ ГЕТЕРОГЕННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В КАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ, СОЗДАВАЕМОМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ	132
Л.Н. Горбушин, Н.Е. Конева ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	135
Т.А. Деменкова, Ф.А. Игнатъев АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	139
В.В. Кукарцев КАНОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ	142
А.Ю. Логинов, А.Е. Розенбаум ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ О СОСТАВАХ ИЗДЕЛИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ PDM И ERP МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	145
Н.П. Мошуров, И.А. Шудро, Ю.Д. Фот ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ЛОКАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЯХ	150
Н.А. Мунасыпов ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА В СИСТЕМЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ	156
И.П. Осинин, В.Ю. Симаков, С.А. Макаров, А.С. Абрамова ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МОДУЛЯРНО-ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ СОПРОЦЕССОР, ИНТЕГРИРОВАННЫЙ В СОФТ ПРОЦЕССОР	160
И.П. Осинин, В.Ю. Симаков, С.А. Макаров, А.С. Абрамова ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ МОДУЛЯРНО-ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ СОПРОЦЕССОР, ИНТЕГРИРОВАННЫЙ В СОФТ ПРОЦЕССОР	164
А.М. Пищухин, Г.Ф. Ахмедьянова, З.С. Стародубцева РЕГУЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ПОМЕЩЕНИИ НА ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КРАТНОСТЬЮ ВОЗДУХООБМЕНА	168
Н.А. Соловьев, А.М. Семенов, В.В. Паничев, А.М. Горюнова АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	173
А.Э. Сопин, Я.И. Шамлицкий, С.Н. Мироненко, Н.В. Ковбаса, Е.Л. Вайтекунене ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФИКА ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА	176
И.В. Сосновский, О.А. Билоус МОДЕРНИЗАЦИЯ ШАХТНОЙ ВАКУУМНОЙ ГАЗОВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	179
Ш.А. Хамадеев, Т.Н. Каримов, А.М. Подлесных МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	183
А.А. Широков, Н.Ю. Пономарев СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ В БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	186
АННОТАЦИИ	189

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, R.H. Ziyatdinov, R.Kh. Shagimullin, A.G. Zamaliev, M.A. Mukhamedzyanov NETWORK TRANSFER WITH MAGNETIC RELATIONSHIP	9
--	---

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

G.M. Guzairov THE REPRESENTATIONS OF THE LORENTZ GROUP AND DECOMPOSITION OF FUNCTIONS ON BY BESSELS FUNCTIONS	11
G.S. Zhukova STRUCTURE OF ASYMPTOTIC OF SOLUTIONS OF ONE CLASS OF SINGULARLY PERTURBATION SYSTEMS	15
B.V. Zayatyayev, Y.Y. Nefedov K-CONTACT STUKTURE ON TANGENT SFERICAL BUNDLE	19
A.K. Mordovskoi, T.A. Makunina DETERMINABILITY OF ABELIAN GROUPS BY THEIR SUBGROUPS	23
Yu.G. Polkunov, M.Yu. Loboda MATHEMATICAL MODELING OF THE DEVELOPMENT OF VOLUME CRACKS	26
A.S. Ryabenko CONSTRUCTION OF ONE REGULARIZER	30
K.E. Sibgatullin, E.S. Sibgatullin STRUCTURAL-PHENOMENOLOGICAL METHOD FOR PREDICTING THE STRENGTH OF COMPOSITE BARS WITH ISOTROPIC COMPONENTS IN THE GENERAL CASE OF THEIR DIFFICULT RESISTANCE	34

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

D.A. Ponomarev, A.B. Shein, S.N. Shurov COMPARISON OF 2-AMINO-1,3-THIAZOLE AND 2-AMINO-1,3,4-THIADIAZOLE AS ACID CORROSION INHIBITORS FOR STEEL	41
N.A. Rogozhnikov, E.N. Kalmykova THE APPLICATION OF PIEZOELECTRIC SENSORS TO CHARACTERIZE THE EFFICIENCY OF BIOSORBENTS	45

**05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND
ENGINEERING SCIENCE**

A.P. Buinosov, A.R. Dinislamov IMPROVEMENT OF THE METHOD OF DEPTH HARDENING DETAILS OF MECHANICAL PARTS OF LOCOMOTIVES	49
S.A. Vologjanina, A.F. Igolkin, A.A. Peregudov PERFORMANCE EVALUATION OF WELDED JOINTS OF STEEL 30CrMo	53
A.V. Zavialov, O.E. Zamuraev, U.A. Orlov METHODS OF IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE BORES ON THE CNC MACHINES	56
O.E. Zamuraev, A.V. Zavialov, U.A. Orlov OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF HIGH SPEED MILLING OF HARDENED STEELS	59
A.K. Ivanov, I.A. Savvateeva THE DEVELOPMENT OF ELECTRICITY SYSTEMS IN THE NORTH	62
V.F. Lapshin, A.P. Buinosov, I.V. Umylin THE PASSIVE SAFETY ELEMENTS FOR PROTECTION OF ELECTRIC ROLLING STOCK IN COLLISIONS	65
V.F. Pegashkin, G.A. Osipenkova SURFACE DRILLING USING ULTRASONIC TORSIONAL VIBRATIONS	69
D.P. Salova, N.V. Nosov, A.F. Denisenko, V.N. Gavrilov, P.M. Salov, T.G. Vinogradova, E.P. Shalunov, S.S. Saykin, A.M. Novikov, A.V. Semyonov DETERMINATION OF DURABILITY OF GRAINS OF THE SYNTHETIC DIAMONDS AND ELBOR EMITTED FROM GRINDING SLIME	73
D.P. Salova, S.S. Saykin, V.V. Plotnikov, T.G. Vinogradova, P.M. Salov, V.S. Grigoriev, S.S. Sorokin, A.M. Novikov, V.N. Gavrilov, A.V. Semyonov WEAR AND PRIRABATYVAYEMOST OF DETACHABLE	77

<i>A.V. Semyonov, A.M. Novikov, V.N. Gavrilov, V.A. Ivanov, E.I. Artamonov, D.P. Salova, T.G. Vinogradova, P.M. Salov</i> FORMATION OF THE CUTTING EDGES OF SPIRAL DRILLS	80
---	----

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

<i>G.M. Muchkaeva, D.N. Zivdinov, X.V. Hantiev, A.Yu. Kachaev, B.A. Lidzhieva</i> METHODS DEFINITIONS MECHANICAL STRESS CAUSED BY THE INFLUENCE OF TEMPERATURE CHANGE IN THE MATERIAL DETAILS OF THE JOINTS FOR TIGHTNESS	83
<i>V.V. Panichev, N.A. Solovyov, A.M. Semyonov</i> ALGORITHM OF ACCUMULATION OF OPTICAL PULSE SIGNALS IN THE CONDITIONS OF BACKGROUND RADIATIONS	86
<i>P.V. Pisarev, K.A. Maksimova</i> INTERACTION OF RESONATORS DURING NORMAL DROP OF SOUND WAVE	90
<i>F.F. Ramazanov, I.F. Ramazanov</i> EVALUATION OF THE ACCURACY OF MEASUREMENTS OF PARAMETERS OF GAS AND LIQUID FLOWS LASER DOPPLER ANEMOMETER	93
<i>M.K. Sedankin, I.V. Nelin, S.A. Khvorostov, M.S. Khvorostov, V.A. Skuratov, S.D. Mertsalov</i> ELECTRONIC MINIATURE ROBOTS AND ENDOGENOUS ELECTROPHORESIS	97
<i>M.K. Sedankin, I.V. Nelin, S.A. Khvorostov, M.S. Khvorostov, V.A. Skuratov, S.D. Mertsalov, M.S. Vinogradov</i> IMPROVING THE QUALITY OF LIFE OF PATIENTS BY ELECTRONIC MINIATURE ROBOTS	101
<i>A.G. Shlyakhova, A.T. Shlyakhov, L.A. Gainulova</i> CALORIMETRIC METHOD FOR THE DIELECTRIC LOSS	105

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

<i>M.A. Al-Askari, V.V. Afonin</i> DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR ASSESSMENT OF THE LEVEL OF DISTORTION ON RASTER IMAGES AND STROBE EFFECTS	109
<i>D.A. Bezuglov, S.E. Mishchenko, V.V. Shatsky, V.I. Yukhnov</i> METHOD OF AMPLITUDE-PHASE SYNTHESIS OF LINEAR ANTENNA ARRAY USING THE SMOOTHING FUNCTIONAL	113
<i>D.A. Bulashov, I.N. Sidorov</i> ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS FOR THE DETUNING OF THE CRITICAL FREQUENCIES OF THE SHAFT OF GAS-PUMPING UNIT	118
<i>A.R. Vaneev</i> SPECIAL FEATURES AND PROCEDURE FOR CONDUCTING MULTIPLE CLASSIFICATION OF INFORMATION AND AUTOMATED SYSTEMS FOR INFORMATION SECURITY REQUIREMENTS	125
<i>L.A. Galiullin, E.V. Zubkov, A.N. Iljuhin, A.H. Tazmeev, I.A. Galiullin</i> METHOD OF DESIGNING AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM ON THE BASIS OF WEB TECHNOLOGIES	128
<i>R.N. Golykh, V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.A. Lopatin, V.D. Minakov</i> PROGRAM FOR CALCULATION FOR HETEROGENEOUS CHEMICAL REACTION RATE IN CAVITATION FIELD BEING CREATED BY ULTRASONIC OSCILLATIONS	132
<i>L.N. Gorbushin, N.E. Koneva</i> HIGH PERFORMANCE SYSTEMS IN DATA CENTERS	135
<i>T.A. Demenkova, Ph.A. Ignatyev</i> ANALYSIS OF METHODS OF DIGITAL IMAGE PROCESSING	139

V.V. Kukarcev CANONICAL MODEL OF FIXED PRODUCTION ASSETS REPRODUCTION	142
A.Y. Loginov, A.E. Rozenbaum MACHINE-BUILDING ENTERPRISE PDM-ERP PRODUCT STRUCTURE DATA INTEGRATION	145
N.P. Moshurov, I.A. Chudro, Yu.D. Fot PROTECTION OF PERSONAL DATA IN LOCAL AND GLOBAL NETWORKS	150
N.A. Munasypov CONSTRUCTION OF OPTIMAL SIGNATURE SPACE IN THE RECOGNITION SYSTEM WITH RESOURCE LIMITATIONS	156
I.P. Osinin, V.Yu. Simakov, C.A. Makarov, A.S. Abramova HIGH-SPEED RESIDUE-LOGARITHMIC COPROCESSOR INTEGRATED IN SOFT PROCESSOR	160
I.P. Osinin, V.Yu. Simakov, C.A. Makarov, A.S. Abramova FAILOVER RESIDUE-LOGARITHMIC COPROCESSOR INTEGRATED IN SOFT PROCESSOR	164
A.M. Peshchukhin, G.F. Akhmedyanova, Z.S. Starodubzeva REGULATION OF RADON CONCENTRATION IN THE PREMISES ON THE BASIS OF OPTIMAL AIR EXCHANGE MANAGEMENT	168
N.A. Solovyov, A.M. Semyonov, V.V. Panichev, A.M. Goryunova AUTOMATION OF DECISION-MAKING PROCESS IN TO THE SPHERE OF THE ORGANIZATION OF REPAIR OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	173
A.E. Sopin, Ya.I. Shamlicky, S.N. Mironenko, N.V. Kovbasa, E.L. Vaitekunene GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION OF THE PREVENTIVE MAINTENANCE SCHEDULE OF ENERGY EQUIPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES	176
I.V. Sosnovskij, O.A. Bilous MODERNIZATION OF SHAFT VACUUM-GAS FURNACES FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS	179
Sh.A. Khamadeev, T.N. Karimov, A.M. Podlesnyh DATA FORMATION TECHNIQUE FOR GEOINFORMATIONAL SYSTEM MOBILE TERMINAL	183
A.A. Shirokov, N.Yu. Ponomarev IMPROVEMENT OF WATER RESPONSE SYSTEM IN PAPER MANUFACTURING	186
ABSTRACTS	189

¹В.С. Минкин д-р хим. наук, ⁴Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук, ²А.Г. Замалиев,
³М.А. Мухамедзянов канд. техн. наук

Казанский научно-исследовательский технологический университет,

¹факультет нанотехнологий, кафедра физики,

²факультет энергомашиностроения, кафедра машиноведения,

³механический факультет, кафедра процессов и аппаратов химической технологии,

⁴Главный редактор журнала «Научно-технический вестник Поволжья»

ЦЕВОЧНАЯ ПЕРЕДАЧА С МАГНИТНОЙ СВЯЗЬЮ

Рассмотрены цевочная передача с магнитной связью и возможности её использования в различных отраслях промышленности, а также в приборах бытовой техники. Дана оценка эффективности работы передачи.

Ключевые слова: *цевки; магнитная связь; степень подвижности; магнитное поле; энергоэффективность.*

Механизмы передачи движения с магнитной связью могут найти использование при кондиционировании помещения, дроблении кускового материала и тонком помоле мелкозернистого материала, соскребаии отложений с рабочих поверхностей химических и теплообменных аппаратов, перемешивании различных сред, приготовлении растворов, эмульсий и суспензий, нагнетании жидкостей в резервуары и при перемещении объектов по воде и под водой, а также в приводах бытовой техники.

Взаимодействие звеньев в механизме с магнитной связью при отсутствии контакта их друг с другом происходит благодаря магнитному полю, возникающему между магнитными элементами звеньев.

Наиболее простыми по устройству можно считать механизмы передачи вращательного движения с магнитной связью [1-3]. К их недостаткам относятся слабое магнитное поле из-за низкого коэффициента перекрытия, связанного ограниченным количеством пар магнитных элементов, находящихся в зацеплении одновременно, узкая область использования, большие габариты и материалоёмкость, свойственные зубчатым механизмам с параллельным расположением осей вращения зубчатых колёс. Этих недостатков лишены цевочные передачи с магнитной связью.

На рис. 1а и б схематично показан цевочный механизм с магнитной связью.

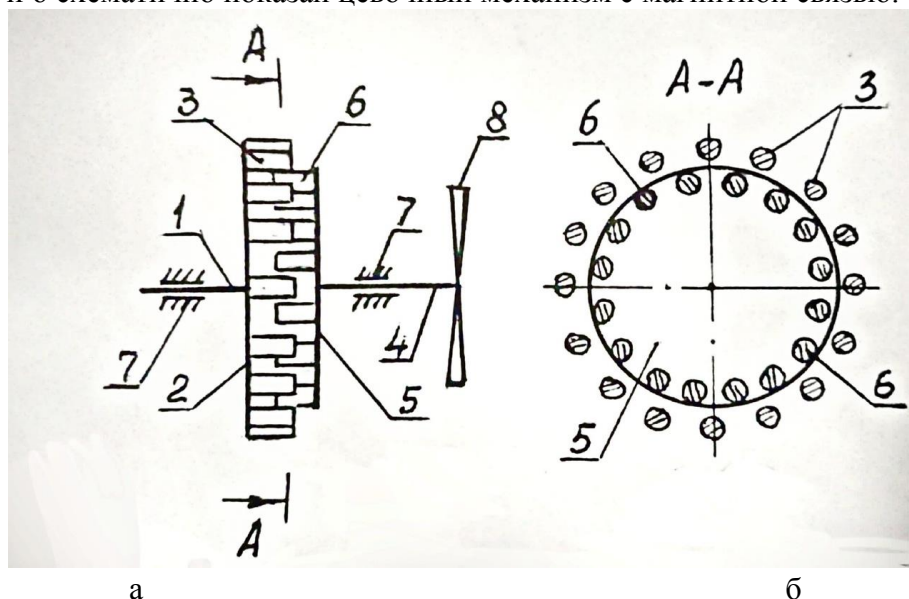


Рис 1. Цевочный механизм с магнитной связью

Механизм включает входное звено, содержащее вал 1 и колесо 2 с цевками 3, и выходное звено, содержащее вал 4 и колесо 5 с цевками 6. Валы 1 и 4 расположены соосно друг к другу

и установлены с возможностью вращения в стойке 7, колёса 2 и 5 расположены с зазором друг относительно друга. Цевки 3 на колесе 2 и цевки 6 на колесе 5 установлены перпендикулярно торцевым плоскостям этих колёс. Колёса выполнены из немагнитного материала, а цевки 3 и 6 из магнита, обращены друг к другу одноимёнными полюсами и расположены на колёсах на расстоянии, обеспечивающим магнитную связь.

Степень подвижности механизма равна:

$$W=3n-2p_5-p_4=3\cdot 2-2\cdot 2-1=1, \quad (1)$$

где n -число подвижных звеньев, которыми являются входное и выходное звенья; p_5 - число кинематических пар пятого класса, которыми являются вращательная пара, образованная валом 1 и стойкой 7, и вращательная пара, образованная валом 4 и стойкой 7; p_4 - число кинематических пар четвертого класса (высшая кинематическая пара), образованная между колёсами 3 и 6 в результате наличия магнитных связей.

Степень подвижности $W=1$ указывает на то, что валы могут вращаться только вокруг горизонтальной оси.

Вращение ведущего звена от привода (условно не показан) приводит к вращению ведомого звена благодаря наличию магнитного поля, создаваемому цевками 3 и 6. Так как эти цевки обращены друг к другу одноимёнными полюсами происходит их отталкивание. Роль входного звена в данной незамкнутой кинематической цепи сводится к обеспечению непрерывного однонаправленного вращения выходного звена.

Для оценки эффективности использования цевочного механизма с магнитной связью можно использовать формулу:

$$M_{\text{спр}}^{\text{пол}} = - M_{\text{акт}} \cdot u \cdot \eta, \quad (2)$$

где $M_{\text{спр}}^{\text{пол}}$ - момент полезного сопротивления;

$M_{\text{акт}}$ - активный момент, совпадающий по направлению с угловой скоростью;

u - передаточное отношение от ведущего звена к ведомому звену;

η - КПД механизма, определяемый по формуле;

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} = \frac{\omega_{\text{вых}} \cdot M_{\text{вых}}}{\omega_{\text{вх}} \cdot M_{\text{вх}}}, \quad (3)$$

где $A_{\text{п}}$ - полезная работа;

$A_{\text{з}}$ - затраченная работа;

$\omega_{\text{вых}}$, $\omega_{\text{вх}}$ - угловые скорости входного и выходного звеньев;

$M_{\text{вых}}$, $M_{\text{вх}}$ - моменты на входном и выходном звеньях.

Высокий КПД механизма с магнитной связью можно объяснить небольшими потерями энергии благодаря отсутствию контакта цевков, следовательно, и их износа. В свою очередь, такая конструкция обеспечивает бесшумную работу передачи.

Установка на свободном конце вала 4 винта 8 (см. Рис. 1) позволяет использовать цевочный механизм в качестве магнитного движителя для перемещения надводных и подводных объектов, крыльчатки-для вентиляции помещений, мешалки- для перемешивании различных сред, щётки- для чистки рабочих поверхностей аппаратов и т.д.

Выводы

1. Подтверждена возможность передачи движения в цевочном механизме с магнитной связью от входного звена к выходному звену при отсутствии контакта между цевками.

2. При правильном расположении цевков на колёсах затраты энергии приводом на приведение в движение входного звена можно свести к минимуму и использовать в качестве привода магнитное поле.

3. Цевочные механизмы с магнитной связью можно использовать в комбинации с магнитной лентой для перемещения различных грузов.

Список литературы

1. Крайнев А.Ф., Словарь-справочник по механизмам, М., Машиностроение, 1981г., стр. 168-169, рис. А.
2. Минкин В.С., Замалиев А.Г., Мухамедзянов М.А., Галимуллин Р.Г., Набиуллин И.Н., Научно-технический вестник Поволжья, 4, 9-11 (2018).

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.01

Г.М. Гузаиров канд. физ.-мат. наук

Оренбургский государственный педагогический университет,
кафедра математики и методики преподавания математики,
Оренбург, gafur.mustafin@mail.ru

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГРУППЫ ЛОРЕНЦА И РАЗЛОЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ НА C ПО ФУНКЦИЯМ БЕССЕЛЯ

Представления группы Лоренца можно реализовать интегральными операторами с помощью разложения функций на C в комплексный интеграл Фурье. Ядра этих интегральных операторов выражаются через гипергеометрические функции Бесселя. Здесь получена новая пара взаимно обратных интегральных преобразований функций на C с этими ядрами.

Ключевые слова: представления групп, интегральные преобразования, гипергеометрические ряды, функции Бесселя, преобразования Ганкеля.

Под G будем понимать группу комплексных матриц второго порядка:

$$G = GL(2, C) = \left\{ g = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \mid a, b, c, d \in C, \det g \neq 0 \right\}. \quad (G)$$

Представления группы G задают операторы

$$T[N, L; g] \circ f(z) = |ad - bc|^{1-\nu+\lambda+n-l} (ad - bc)^{-n+l} |bz + d|^{-2-2\lambda+2l} (bz + d)^{-2l} f\left(\frac{az + c}{bz + d}\right), \quad (T)$$

действующие в подходящим образом выбранных пространствах Ω_L функций $f(z)$ на C ; в этих же пространствах реализуются неприводимые представления унимодулярной подгруппы – группы Лоренца:

$$S = SL(2, C) = \{s \in G \mid \det s = 1\}. \quad (S)$$

Параметры L, λ, l где

$$L = (\lambda, l), \lambda \in C, 2l \in Z, \quad (L)$$

называют параметрами веса представления; параметры N, ν, n , где

$$N = (\nu, n), \nu \in C, n \pm l \in Z, \quad (N)$$

назовем нормировочными параметрами. Переход от представлений группы S к представлениям группы G несуществен, но нормировочные параметры, связанные с определителем матрицы g , будут использованы далее для перенормировки ядер интегральных операторов представлений.

Представления группы Лоренца основной неунитарной серии, получающиеся сужением представлений T на унимодулярную подгруппу, и ее унитарных подсерий были описаны в работе [1]. Этим же представлениям группы Лоренца посвящены монографии [2] и [3] тех же авторов и большое количество других работ.

Интегральный метод в приложениях к теории представлений групп также хорошо известен и широко применялся, например, в монографии [4] к различным матричным группам, в том числе, к вещественному аналогу группы $SL(2, C)$ – группе $SL(2, R)$. Аналогичные построения для группы Лоренца были выполнены автором в работе [6].

Интегральные операторы представлений возникают при переходе от функций из пространства Ω_L к их комплексным преобразованиям Фурье, для краткого описания которых введем обозначения для унимодулярных характеров аддитивной группы комплексных чисел:

$$\chi_0[A; z] = \exp(-2i \operatorname{Re}(Az)), \text{ где } A \in C. \quad (0)$$

Обозначим также

$$f_0[A] = \frac{1}{\pi} \int_C d(\operatorname{Re} z) d(\operatorname{Im} z) \cdot \chi_0[-A; z] \cdot f(z) = \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \chi_0[-A; z] \cdot f(z), \quad (1)$$

где $d[z] = d(\operatorname{Re} z) d(\operatorname{Im} z)$ – мера Хаара на аддитивной группе C (инвариантная относительно аддитивных сдвигов и положительно определенная). Для функций с интегрируемым модулем и квадратом модуля имеют место: формула обращения

$$f(z) = \frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot \chi_0[A; z] \cdot f_0[A], \quad (2)$$

равенство Парсеваля

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot f_0[A] \cdot h_0[-A] = \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot f(z) \cdot h(z), \quad (3)$$

формула Планшереля

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot |f_0[A]|^2 = \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot |f(z)|^2. \quad (4)$$

Комплексные преобразованиями Фурье (1)-(2) сводятся к разложения $f(z)$ в двойной интеграл Фурье. Следующие интегралы:

$$\begin{aligned} \chi_{00}[A, B; N, L; g] &= \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \chi_0[-A; z] \cdot T[N, L; g] \circ \chi_0[B; z] = \\ &= |A|^{2\lambda-2l} (iA)^{2l} \cdot \exp\left(-2i \operatorname{Re} \frac{Ad + Ba}{b}\right) \cdot |\det g|^{1-\nu+\lambda+n-l} (\det g)^{-n+l} \cdot |b|^{-2-2\lambda+2l} (b)^{-2l} \times \\ &\quad \times \frac{\Gamma(-\lambda+l)}{\Gamma(1+\lambda+l)} \cdot {}_0F_1\left(1+\lambda+l; -AB \frac{ad-bc}{b^2}\right) \cdot {}_0F_1\left(1+\lambda-l; -\overline{AB} \frac{\overline{ad-bc}}{\overline{b^2}}\right) + \\ &+ |B|^{-2\lambda+2l} (iB)^{-2l} \cdot \exp\left(-2i \operatorname{Re} \frac{Ad + Ba}{b}\right) \cdot |\det g|^{1-\nu-\lambda+n+l} (\det g)^{-n-l} \cdot |b|^{-2+2\lambda-2l} (b)^{2l} \times \\ &\quad \times \frac{\Gamma(\lambda-l)}{\Gamma(1-\lambda-l)} \cdot {}_0F_1\left(1-\lambda-l; -AB \frac{ad-bc}{b^2}\right) \cdot {}_0F_1\left(1-\lambda+l; -\overline{AB} \frac{\overline{ad-bc}}{\overline{b^2}}\right), \end{aligned} \quad (5)$$

где $2l \in Z$, $\lambda \pm l \notin Z$, $-1 < \operatorname{Re} \lambda < 1$, являются аналогами матричных элементов операторов представлений T , точнее, ядрами интегральных операторов представлений в “базисе” (0). Гипергеометрические ряды ${}_0F_1$ могут быть выражены через функции Бесселя или другие их модификации из [5].

Отметим соотношения симметрии для ядер (5):

$$\chi_{00}[B, A; N, L; g^{-1}] = \chi_{00}[-A, -B; -N, -L; g], \quad (6)$$

которые могут быть получены как из явных выражений (5), так и из их интегральных представлений с помощью замены переменной в интеграле. Заметим также, что для ядер взаимно-обратных интегральных операторов имеют место равенства

$$\chi_{00}[B, A; N, L; g^{-1}] = \overline{\chi_{00}[A, B; N, L; g]} \text{ при } \nu \in iR \text{ и } \lambda \in iR, \quad (7)$$

выражающие факт унитарности представлений T при чисто мнимых ν , λ .

Для ядер (5) имеют место соотношения типа формул обращения (2):

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot \chi_0[A; z] \cdot \chi_{00}[A, B; N, L; g] = T[N, L; g] \circ \chi_0[B; z], \quad (8)$$

сопряженных формул обращения, эквивалентных (8) с помощью (6):

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot \chi_0[-B; z] \cdot \chi_{00}[A, B; N, L; g] = T[-N, -L; g^{-1}] \circ \chi_0[-B; z], \quad (9)$$

и теорем сложения:

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[C] \cdot \chi_{00}[A, C; N, L; g_1] \cdot \chi_{00}[C, B; N, L; g_2] = \chi_{00}[A, B; N, L; g_1 g_2]. \quad (10)$$

Ядра (5) были вычислены в работе [6], там же были приведены уточнения формул (8), (9), (10) для слагаемых, составляющих ядра.

Пусть $f_0[A]$ – непрерывная и абсолютно интегрируемая на C функция. Имеет место разложение:

$$f_0[A] = \frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot F_{N,L}^g[B] \cdot \chi_{00}[B, A; N, L; g], \quad (11)$$

где двойственная функция $F_{N,L}^g[B]$ определяется как интеграл

$$F_{N,L}^g[B] = \frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot f_0[A] \cdot \chi_{00}[A, B; N, L; g^{-1}]. \quad (12)$$

Для вывода этих взаимно-обратных преобразований будем считать, что исходная функция $f_0[A]$ связана с некоторой функцией $f(z)$ на C сопряженными преобразованиями Фурье:

$$f_0[A] = \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \chi_0[A; z] \cdot f(z), \quad (1')$$

$$f(z) = \frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot \chi_0[-A; z] \cdot f_0[A]. \quad (2')$$

Подставим в (12) вместо $f_0[A]$ ее разложение (1'):

$$\begin{aligned} F_{N,L}^g[B] &= \frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot \left(\frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \chi_0[A; z] \cdot f(z) \right) \cdot \chi_{00}[A, B; N, L; g^{-1}] = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \left(\frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot \chi_0[A; z] \cdot \chi_{00}[A, B; N, L; g^{-1}] \right) \cdot f(z) = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot (T[N, L; g^{-1}] \circ \chi_0[B; z]) \cdot f(z) = \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \chi_0[B; z] \cdot (T[-N, -L; g] \circ f(z)), \end{aligned}$$

здесь во второй строке мы формально поменяли порядок интегрирования, затем – в третьей строке – применили формулу обращения (8) для ядер, и, наконец, в последней строке воспользовались формулой

$$\int_C d[z] \cdot (T[N, L; g] \circ h(z)) \cdot f(z) = \int_C d[z] \cdot h(z) \cdot (T[-N, -L; g^{-1}] \circ f(z)),$$

которая проверяется непосредственно заменой переменной в интеграле. Полученное выражение для $F_{N,L}^g$ подставим в интеграл в правой части (11):

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot F_{N,L}^g[B] \cdot \chi_{00}[B, A; N, L; g] = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot \left(\frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \chi_0[B; z] \cdot (T[-N, -L; g] \circ f(z)) \right) \cdot \chi_{00}[B, A; N, L; g] = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \left(\frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot \chi_0[B; z] \cdot \chi_{00}[B, A; N, L; g] \right) \cdot (T[-N, -L; g] \circ f(z)) = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot (T[N, L; g] \circ \chi_0[A; z]) (T[-N, -L; g] \circ f(z)) = \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot \chi_0[A; z] \cdot f(z) = f_0[A], \end{aligned}$$

т.е. формула (11) свелась к определению (1') функции $f_0[A]$.

Произведенные тут формальные изменения порядков интегрирований обосновываются наложением некоторых ограничений на функции $f(z)$ (например, из теоремы Фубини). Соответствующие ограничения для $f_0[A]$ можно ослабить с помощью формулы Планшереля (14) пары (11)-(12) пополнением по соответствующей норме.

Пара взаимно обратных преобразований (11)-(12), индуцированная преобразованиями Фурье (1)-(2), снабжается также индуцированным (3) равенством Парсеваля:

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot f_0[A] \cdot h_0[-A] = \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot f(z) \cdot h(z) = \frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot F_{N,L}^g[B] \cdot H_{-N,-L}^g[-B], \quad (13)$$

и формулой Планшереля:

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot |f_0[A]|^2 = \frac{1}{\pi} \int_C d[z] \cdot |f(z)|^2 = \frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot |F_{N,L}^g[B]|^2 \quad \text{при } \nu \in iR, \lambda \in iR, \quad (14)$$

Приведем в развернутом виде (11)-(12) с модификацией ядер, сводящейся к перераспределению между ядрами взаимно-обратных преобразований взаимно-обратных нормировочных сомножителей:

$$F[A] = \frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot F_n^L[B] \cdot \Psi[B, A; N, L; g] = \frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot F_n^L[B] \cdot \exp(-2i \operatorname{Re}(A+B)) \times \quad (15)$$

$$\times \left\{ i^{-2l} \frac{\Gamma(+\lambda-l)}{\Gamma(1-\lambda-l)} \cdot |A|^{-\lambda+l-n} (A)^{-l+n} \cdot |B|^{-\lambda+l+n} (B)^{-l-n} \cdot {}_0F_1(1-\lambda-l; -AB) {}_0F_1(1-\lambda+l; -\overline{AB}) + \right.$$

$$\left. + i^{+2l} \frac{\Gamma(-\lambda+l)}{\Gamma(1+\lambda+l)} \cdot |A|^{+\lambda-l-n} (A)^{+l+n} \cdot |B|^{+\lambda-l+n} (B)^{+l-n} \cdot {}_0F_1(1+\lambda+l; -AB) {}_0F_1(1+\lambda-l; -\overline{AB}) \right\},$$

где в качестве матрицы g выбрана матрица с элементами $a = b = d = 1, c = 0$

(нормировочный параметр ν не присутствует в явном выражении ядер) и

$$F_n^L[B] = \frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot F[A] \cdot \Psi[A, B; N, L; g^{-1}] = \frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot F[A] \cdot \exp(+2i \operatorname{Re}(A+B)) \times \quad (16)$$

$$\times \left\{ i^{-2l} \frac{\Gamma(-\lambda+l)}{\Gamma(1+\lambda+l)} \cdot |A|^{+\lambda-l+n} (A)^{+l-n} \cdot |B|^{+\lambda-l-n} (B)^{+l+n} \cdot {}_0F_1(1+\lambda+l; -AB) {}_0F_1(1+\lambda-l; -\overline{AB}) + \right.$$

$$\left. + i^{+2l} \frac{\Gamma(+\lambda-l)}{\Gamma(1-\lambda-l)} \cdot |A|^{-\lambda+l+n} (A)^{-l-n} \cdot |B|^{-\lambda+l-n} (B)^{-l+n} \cdot {}_0F_1(1-\lambda+l; -AB) {}_0F_1(1-\lambda-l; -\overline{AB}) \right\}.$$

Пара (15)-(16) является комплексным аналогом преобразований Ганкеля. Равенство Парсеваля и формула Планшереля пары (15)-(16) имеют вид:

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot F[A] \cdot H[-A] = \frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot F_n^L[B] \cdot H_{-n}^L[-B], \quad (17)$$

$$\frac{1}{\pi} \int_C d[A] \cdot |F[A]|^2 = \frac{1}{\pi} \int_C d[B] \cdot |F_n^L[B]|^2 \quad \text{при } \lambda \in iR. \quad (18)$$

Список литературы

1. Гельфанд, И.М. Унитарные представления группы Лоренца / И.М. Гельфанд, М.А. Наймарк // Известия АН СССР. – 1947. – сер.матем.11 (5). – с. 411-504.
2. Гельфанд, И.М. Представления группы вращений и группы Лоренца, их применения / И.М. Гельфанд, Р.А. Минлос, З.Я. Шапиро. – М.: Физматгиз, 1958. – 367 с.
3. Наймарк М.А. Линейные представления группы Лоренца / М.А. Наймарк. – М.: Физматгиз, 1958. – 376 с.
4. Виленкин Н.Я. Специальные функции и теория представления групп / Н.Я. Виленкин. – М.: Наука, 1965. – 588 с.
5. Бейтмен Г. Высшие трансцендентные функции: Функции Бесселя, функции параболического цилиндра, ортогональные многочлены / Г. Бейтмен, А.Эрдейи. – М.: Наука, 1966. – 296 с.
6. Гузаиров Г.М. Матричные элементы представлений группы $SL(2, \mathbb{C})$ в смешанных базисах и некоторые соотношения для гипергеометрических функций ${}_0F_1, {}_1F_1, {}_2F_1$ // Депонировано в ВИНТИ 14.04.92, N 1274-B92.

01.01.02

Г.С. Жукова д-р физ.-мат. наук

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
департамент анализа данных, принятия решений и финансовых технологий,
Москва, galsevzhukova@mail.ru

СТРУКТУРА АСИМПТОТИКИ РЕШЕНИЙ ОДНОГО КЛАССА СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ СИСТЕМ

Рассматривается система линейных дифференциальных уравнений с малым параметром при старшей производной. Изучается структура асимптотики решений по параметру. Установлено влияние спектральных свойств операторных коэффициентов на порядки сингулярности решений.

Ключевые слова: *сингулярно возмущенные системы линейных дифференциальных уравнений, структура асимптотики решений по малому параметру, асимптотическая последовательность разложения.*

1. Введение

При исследовании математических моделей различных прикладных задач возникают системы дифференциальных уравнений с малым параметром. Асимптотический анализ уравнений, коэффициенты которых разлагаются в степенные ряды по целым степеням малого параметра, имеет развитую теорию при регулярной зависимости от параметра. Из сингулярно возмущенных уравнений (при старшей производной есть множителем малый параметр в положительной степени) изучен ряд задач (напр., [1-13]). Обобщение предложенных алгоритмов на другие классы уравнений сопряжено с принципиальными особенностями сингулярной зависимости от параметра. Основная трудность заключается в правильном выборе асимптотической последовательности разложения: решения также сингулярно зависят от параметра, разложения начинаются с некоторых отрицательных степеней, идут по каким-то дробным степеням, требующим определения. Поэтому в каждом случае необходимо установить структуру и правильно описать сингулярную зависимость решений от параметра. Разработка общей теории сингулярных возмущений остается актуальной даже для линейных дифференциальных систем.

2. Постановка задачи

Рассмотрим систему из n линейных сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений, записанную в векторной форме:

$$\varepsilon^h B(t, \varepsilon) \frac{dx}{dt} = A(t, \varepsilon)x. \quad (1)$$

Здесь ε – малый вещественный параметр, $t \in [0, T]$, h – натуральное число (называемое далее порядком сингулярности уравнения (1)). Изучим влияние оператора $B(t, \varepsilon)$, $B(t, \varepsilon) \neq I$, на характер зависимости решений уравнения (1) от параметра ε . Основным аппаратом исследования являются методы теории операторов в функциональных пространствах, теории возмущений, техника работы с асимптотическими разложениями.

Относительно коэффициентов уравнения (1) предполагается:

1. $A(t, \varepsilon)$, $B(t, \varepsilon)$ представлены квадратными матрицами $n \times n$ ($n \geq 2$), причем $B(t, \varepsilon) \neq I$;
2. При $\varepsilon \rightarrow +0$ равномерно на $[0, T]$ справедливы асимптотические разложения по целым степеням параметра ε :

$$A(t, \varepsilon) \sim \sum_{s=0}^{\infty} \varepsilon^s A_s(t), \quad B(t, \varepsilon) \sim \sum_{s=0}^{\infty} \varepsilon^s B_s(t) \quad (A_0(t) \neq 0, B_0(t) \neq 0); \quad (2)$$

3. $A_s(t)$, $B_s(t)$ ($s \geq 0$) представлены квадратными матрицами $n \times n$, коэффициенты которых вещественнозначны и дифференцируемы по t на $[0, T]$ бесконечное число раз. (Далее требование 3° будет дополнено.)

Отметим, что система вида

$$\varepsilon^h \frac{dx}{dt} = A(t, \varepsilon)x \quad (3)$$

является частным случаем (1), когда $B(t, \varepsilon) \equiv I$. Установлено что когда $A_0(t)$ имеет на $[0, T]$ постоянный по t канонический вид (точки поворота отсутствуют), то у (3) размерность пространства решений равна n . Все фундаментальные решения сингулярно зависят от ε и структура их асимптотики определяется, в первую очередь, спектральными свойствами предельного оператора [3-6,9,10,13]. Точнее, если $A_0(t)$ имеет при всех t простое собственное значение $\mu_0(t)$, то соответствующее решение уравнения (3) допускает представление:

$$\exp\left(\varepsilon^{-h} \int_0^t (\mu_0(\tau) + \sum_{s=1}^{\infty} \varepsilon^s \mu_s(\tau)) d\tau\right) \sum_{s=0}^{\infty} \varepsilon^s V_s(t), \quad (4)$$

где $\mu_s(t)$, $V_s(t)$ ($s \geq 0$) – соответственно, скалярные и векторные функции. Все разложения идут по целым степеням ε . Но в экспоненте разложение начинается с отрицательной степени $(-h)$, взятого с противоположным знаком порядка сингулярности системы (3). Поэтому (4) сингулярно зависит от ε , имеет порядок сингулярности $(-h)$ или больший, если $\mu_0(t) \equiv 0$.

Если же $A_0(t)$ имеет тождественное m -кратное собственное значение $\lambda_0(t)$, то m соответствующих решений уравнения (3) имеют представление:

$$\exp\left(\varepsilon^{-h} \int_0^t (\lambda_0(\tau) + \sum_{s=1}^{\infty} \varepsilon^{k_{is}} \lambda_{is}(\tau)) d\tau\right) \sum_{s=0}^{\infty} \varepsilon^{k_{is}} V_{is}(t), 1 \leq i \leq m, \quad (5)$$

где k_{is} – рациональные дроби ($0 = k_{i0} < k_{i1} < \dots$). Это – существенное отличие (5) от (4): при наличии у $A_0(t)$ тождественно кратного собственного значения у уравнения (3) появляются решения, разлагающиеся в общем случае по асимптотическим последовательностям $\{\varepsilon^{k_{is}}\}$ с дробными возрастающими степенями. Порядки сингулярности этих решений, как и ранее, равны $(-h)$ или больше, если $\lambda_0(t) \equiv 0$.

3. Случай невырожденного предельного оператора при производной

Перейдем к анализу уравнения (1), где $B(t, \varepsilon) \not\equiv I$. Пусть дополнительно:

$$\det B_0(t) \neq 0, \quad t \in [0, T].$$

Тогда $\det B(t, \varepsilon) \neq 0$, существуют $B^{-1}(t, \varepsilon)$, $B_0^{-1}(t)$, причем

$$B^{-1}(t, \varepsilon) \sim \sum_{s=0}^{\infty} \varepsilon^s \tilde{B}_s(t), \text{ где } \tilde{B}_0(t) = B_0^{-1}(t) \neq 0.$$

В такой ситуации уравнение (1) приводится к виду:

$$\varepsilon^h \frac{dx}{dt} = C(t, \varepsilon)x, \quad (6)$$

$$C(t, \varepsilon) \sim \sum_{s=0}^{\infty} \varepsilon^s C_s(t); \quad C_s(t) = \sum_{i=0}^s \tilde{B}_i(t) A_{s-i}(t), s \geq 0. \quad (7)$$

В частности, в (7) $C_0(t) = B_0^{-1}(t)A_0(t)$. Если $C_0(t) \neq 0$, то (6) имеет вид (3). Если при этом у $C_0(t)$ структура спектра сохраняется на $[0, T]$, то, как отмечено выше, все фундаментальные решения задачи (1) будут построены в виде разложений (5) по собственным значениям оператора $B_0^{-1}(t)A_0(t)$. Итак, если $\det B_0(t) \neq 0, t \in [0, T]$, то у (1) не появляются решений с иными по сравнению с (5) структурами асимптотики по параметру ε .

Рассмотрим теперь случай, когда функции $A(t, \varepsilon)$, $B(t, \varepsilon)$ таковы, что в процессе перехода от (1) к (6) при некотором $\alpha \geq 1$ оказалось:

$$C_s(t) = \sum_{i=0}^s \tilde{B}_i(t) A_{s-i}(t) \equiv 0 \text{ для } 0 \leq s \leq \alpha - 1 \text{ и } C_\alpha(t) \neq 0. \quad (8)$$

Тогда порядок сингулярности уравнения (6) по сравнению с (3) уменьшился до числа $h_1 = h - \alpha$ ($\alpha \in N$). Уравнение (6) принимает вид:

$$\varepsilon^{h_1} \frac{dx}{dt} = \hat{C}(t, \varepsilon)x, \quad (9)$$

$$\hat{C}(t, \varepsilon) \sim \sum_{s=0}^{\infty} \varepsilon^s \hat{C}_s(t); \quad \hat{C}_s(t) = \sum_{i=0}^{s+\alpha} \tilde{B}_i(t) A_{s+\alpha-i}(t), \quad s \geq 0. \quad (10)$$

Вывод 1. Если $h_1 \leq 0$, то (9) будет регулярно возмущенным и интегрируется соответствующими асимптотическими методами. Если $h_1 \geq 1$, то (9) – сингулярно возмущенное уравнение вида (3). Его фундаментальные решения будут вида (5), где число h следует заменить на $h_1 = h - \alpha$ ($< h$).

Вывод 2. В случае $\det B_0(t) \neq 0$ переход от (1) к (6) или (9) с помощью построения и применения оператора $B^{-1}(t, \varepsilon)$ не является обязательным.

4. Случай вырожденного предельного оператора при производной

Рассмотрим теперь случай вырожденного оператора $B_0(t)$:

$$\det B_0(t) \equiv 0, \quad B_0(t) \neq 0. \quad (11)$$

Пусть дополнительно функция $B(t, \varepsilon)$ такова, что при некотором натуральном числе β выполняется условие:

$$\det B(t, \varepsilon) = \varepsilon^\beta b(t, \varepsilon), \quad \text{где } b(t, 0) \neq 0. \quad (12)$$

Тогда, учитывая (2), (11), (12), заключаем существование $B^{-1}(t, \varepsilon)$, причем

$$B^{-1}(t, \varepsilon) \sim \varepsilon^{-\beta} \sum_{s=0}^{\infty} \varepsilon^s \tilde{B}_s(t) \quad (\beta \geq 1).$$

Значит, (1) вновь сводится к виду (9) с коэффициентами (10), но здесь $h_1 = h + \beta - \alpha$, β – натуральное число из условия (12), α – наименьшее целое положительное число из условия (8). Поэтому из вывода 1, в частности, следует: в случае сингулярного возмущения (когда $h_1 \geq 1$) к (9) применимы описанные выше для (3) результаты с заменой в них числа h на $h + \beta - \alpha$.

Вывод 3. В случае вырожденного предельного оператора $B_0(t)$ при производной порядок сингулярности построенного уравнения (9) будет больше порядка сингулярности исходного уравнения (1), если $\beta - \alpha \geq 1$.

Итак, у (1) появились решения иной по сравнению с (5) структуры: их порядки сингулярности строго меньше числа $(-h)$, что ранее не наблюдалось и является отличительной особенностью уравнения (1) в вырожденном случае (11), что было отмечено в [7,8]:

Список литературы

1. Васильева А.Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений. М.: Высш. шк., 1990. 208 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Матричное исчисление с приложениями в теории динамических систем. М.: Изд-во URSS, 2016. 544 с.
3. Zhukova G.S. A Differential equation with a small parameter at the highest derivative // *Ukrainian Mathematical Journal*. 1989. Volume 40, № 4. P. 356-362.
4. Zhukova G.S. Asymptotics of solutions of a system of linear inhomogeneous singularly perturbed differential equations // *Ukrainian Mathematical Journal*. 1990. Volume 42, Issue 10, P. 1262–1266.
5. Жукова Г.С. Асимптотическое интегрирование обыкновенных линейных дифференциальных уравнений. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988. 200 с.
6. Жукова Г.С. Аналог метода диаграммы Ньютона для одного класса сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений. II // *Дифференц. уравнения*. 1990. Т. 26, № 9. С. 1500-1509.
7. Жукова Г.С. Асимптотическое решение сингулярно возмущенных дифференциальных систем с вырождением // *Системные технологии*. 2018. № 27. С. 81-85.
8. Жукова Г.С. Особенности асимптотики и количества независимых решений сингулярно возмущенных дифференциальных систем с вырождением при производной // *Системные технологии*. 2018. № 28. С. 113-118.
9. Ломов С.А. Введение в общую теорию сингулярных возмущений. М.: Наука, 1981. 398 с.
10. Самойленко А.М., Шкіль М.І., Яковець В.П. Лінійні системи диференціальних рівнянь з виродженнями. К.: Вища школа, 2000. 294 с.
11. Федорюк М.В. Асимптотические методы для линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Либроком, 2008. 354 с.
12. Щитов И.Н. Асимптотические разложения решений сингулярно возмущенных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений: Монография. М.: Физматлит, 2013. 172 с.
13. Яковець В.П. Асимптотическое решение задачи Коши для линейной сингулярно возмущенной системы в случае кратного спектра главного оператора // *Нелінійні коливання*. 2013. Т.16, № 2. С. 270-288.

01.01.04

Б.В. Заятуев, Ю.Ю. Нефедов

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

К-КОНТАКТНАЯ МЕТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НА КАСАТЕЛЬНОМ СФЕРИЧЕСКОМ РАССЛОЕНИИ

В статье показано, что на касательном сферическом расслоении над двумерным римановым многообразием постоянной гауссовой кривизны, снабженной канонической келеровой структурой, индуцируется К-контактная структура.

Ключевые слова: почти контактные структуры, К-контактная структура, почти эрмитовы многообразия.

В настоящей заметке построена и изучена почти контактная метрическая структура на касательном сферическом расслоении, рассматриваемом как гиперповерхность касательного расслоения, снабженного почти эрмитовой структурой 2-го рода ([1]).

Пусть M – гладкое многообразие размерности $2n$; $\chi(M)$ – модуль гладких векторных полей на многообразии M .

Определение 1. ([2]). Почти эрмитовой структурой на четномерном гладком многообразии M размерности $2n$ называется пара $\{J, g = (\cdot, \cdot)\}$, где J – почти комплексная структура, а g – риманова метрика на M , связанных условием $(JX, JY) = (X, Y)$, где $X, Y \in \chi(M)$.

Пусть N – гладкое многообразие размерности $2n - 1$; $\chi(N)$ – модуль гладких векторных полей на многообразии N .

Определение 2. ([2]). Почти контактной метрической структурой на гладком многообразии N называется совокупность $\{\eta, \xi, \Phi, g = \langle \cdot, \cdot \rangle\}$ тензорных полей на этом многообразии, где η – дифференциальная 1-форма, называемая контактной формой структуры, ξ – векторное поле, называемое характеристическим вектором, Φ – поле тензора типа $(1,1)$, называемое структурным эндоморфизмом, g – риманова метрика на N . При этом

$$\begin{aligned} 1) \eta(\xi) = 1; 2) \Phi(\xi) = 0; 3) \mu \circ \Phi = 0; \\ 4) \Phi^2 = -id + \mu \otimes \xi; 5) \langle \Phi X, \Phi Y \rangle = \langle X, Y \rangle - \mu(X)\mu(Y); \end{aligned} \quad (1)$$

где $X, Y \in \chi(N)$.

Многообразие с фиксированной почти контактной метрической структурой называется почти контактным метрическим многообразием.

Одним из наиболее изученных классов почти контактных метрических структур являются К-контактные структуры ([2]).

Определение 3 ([2]). Почти контактные метрические структуры $\{\eta, \xi, \Phi, g\}$, удовлетворяющие условию $\nabla_X(\eta)Y = \langle X, \Phi Y \rangle$, где ∇ – риманова связность метрики g , называются К-контактными.

С геометрическим смыслом приведенного тождества более подробно можно ознакомиться в учебнике [2].

Наша дальнейшая задача состоит в изучении почти контактных метрических структур на касательном сферическом расслоении.

Пусть $T(M), \bar{J}, \bar{g}$ – касательное расслоение, снабженное почти эрмитовой структурой 2-го рода [1], над почти эрмитовым многообразием (M, J, g) , где

$$\bar{J} = J_j^i e_i \otimes e^j + J_{\bar{j}}^{\bar{i}} e_{\bar{i}} \otimes e^{\bar{j}}; \bar{g} = g_{ij} e^i \otimes e^j + g_{\bar{i}\bar{j}} e^{\bar{i}} \otimes e^{\bar{j}},$$

$\{e_i = \left(\frac{\partial}{\partial x^i}\right)^H, e_{\bar{i}} = \left(\frac{\partial}{\partial x^{\bar{i}}}\right)^V\}$ – адаптированный к римановой связности ∇ базис $((\dots)^H, (\dots)^V)$ – горизонтальный и вертикальный лифты [3]).

Рассмотрим касательное сферическое расслоение $T_1(M) = \{(x, \xi) | g(\xi, \xi) = 1\}$ как подмногообразие в $T(M)$. В индуцированной системе координат (x^i, y^j) подмногообразие $T_1(M)$ задается уравнением

$$F(x, y) = g_{ij}(x)y^i y^j - 1 = 0.$$

Вычислив градиент функции F , получим $grad(F) = 2y^V$. Таким образом, единичное векторное поле нормали к гиперповерхности $T_1(M)$ имеет вид

$$N = y^i \left(\frac{\partial}{\partial x^i} \right)^V.$$

Напомним, что в [4] были получены следующие формулы

1. $\bar{\nabla}_{X^H} Y^H = (\nabla_X Y - D_{\nabla_X Y} Y)^H - \frac{1}{2}(R(X, Y)y)^V;$
2. $\bar{\nabla}_{X^H} Y^V = \frac{1}{2}(R(y, Y)X)^H + (\nabla_X Y - D_{\nabla_X Y} Y)^V; (1)$
3. $\bar{\nabla}_{X^V} Y^H = (D_X Y + \frac{1}{2}R(y, X)Y)^H;$
4. $\bar{\nabla}_{X^V} Y^V = (D_X Y)^V;$

где $\bar{\nabla}$ – риманова связность метрики $\bar{g}$, $D_X = X^i \frac{\partial}{\partial y^i}$, R – тензор кривизны связности $\bar{\nabla}$, $y = (y^1, \dots, y^n)$, $X, Y \in \chi(M)$.

Пусть $X^H, Y^V \in \chi(T_1(M))$. С учетом формулы (1)₂ имеем

$$\bar{\nabla}_{X^H} N = 0; (2)$$

$$\bar{\nabla}_{X^V} N = X^V.$$

Пусть $X^H, Y^H \in \chi(T_1(M))$. Тогда, с учетом формулы (1)₁, получим

$$\tilde{\nabla}_{X^H} Y^H = (\nabla_X Y - D_{\nabla_X Y} Y)^H - \frac{1}{2}(R(X, Y)y)^V; \quad (3)$$

$$h(X^H, Y^H) = 0;$$

где $\tilde{\nabla}$ – риманова связность на $T_1(M)$, индуцированная связностью $\bar{\nabla}$; h – вторая фундаментальная форма подмногообразия.

Аналогичным образом, для $X^H, Y^V \in \chi(T_1(M))$, $X^V, Y^H \in \chi(T_1(M))$ и $X^V, Y^V \in \chi(T_1(M))$, соответственно, имеем

$$\tilde{\nabla}_{X^H} Y^V = \frac{1}{2}(R(y, Y)X)^H + (\nabla_X Y - D_{\nabla_X Y} Y)^V \quad (4)$$

$$h(X^H, Y^V) = 0.$$

$$\tilde{\nabla}_{X^V} Y^H = (D_X Y + \frac{1}{2}R(y, X)Y)^H; \quad (5)$$

$$h(X^V, Y^H) = 0.$$

$$\bar{\nabla}_{X^V} Y^V = \tilde{\nabla}_Y Y^V - g(X, Y)N; \quad (6)$$

$$h(X^V, Y^V) = -g(X, Y).$$

Соотношения (3) – (6), (2) есть, соответственно, формулы Гаусса и Вейнгартена касательного сферического расслоения $T_1(M)$.

Имеем $N = y^V$ – единичный вектор нормали на $T_1(M)$. Положим $\xi = -2\bar{J}(N) = -(2Jy)^H$.

Пусть $\bar{X} \in \chi(T_1(M))$. Положим $\bar{J}(\bar{X}) = \Phi(\bar{X}) + \eta(\bar{X})N$,

где $\Phi(\bar{X}) \in \chi(T_1(M))$, $\eta(\bar{X}) = \frac{1}{2}\bar{g}(\bar{X}, \xi)$.

Непосредственной проверкой можно убедиться, что четверка $\{\eta, \xi, \Phi, \tilde{g} = \frac{1}{4}\bar{g}\}$ образует почти контактную метрическую структуру на касательном сферическом расслоении $T_1(M)$.

Вычислив, с учетом формул (2) – (6), ковариантные производные тензоров ξ , η в римановой связности $\tilde{\nabla}$, получим, соответственно

$$\tilde{\nabla}_{X^H} \xi = -(\nabla_X (Jy))^H + \frac{1}{2}(R(X, Jy)y)^V; \quad (7)$$

$$\tilde{\nabla}_{X^V} \xi = -(JX + \frac{1}{2}(R(y, X)Jy))^H;$$

$$\tilde{\nabla}_{X^H} (\eta)Y^H = -g(\nabla_X (Jy), Y);$$

$$\tilde{\nabla}_{X^H} (\eta)Y^V = \frac{1}{2}g(R(X, Jy)y, Y); \quad (8)$$

$$\begin{aligned}\tilde{\nabla}_{X^V}(\eta)Y^H &= g(X, JY) - \frac{1}{2}R(Y, Jy, y, X); \\ \tilde{\nabla}_{X^V}(\eta)Y^V &= 0.\end{aligned}$$

Предложение 1. Почти контактная метрическая структура $\{\eta, \xi, \Phi, \tilde{g}\}$ является контактной метрической структурой тогда и только тогда, когда (M, J, g) – келерово многообразие.

Доказательство: Для $\bar{X}, \bar{Y} \in \chi(T_1(M))$ имеем $\tilde{g}(\bar{X}, \Phi\bar{Y}) = \frac{1}{4}\bar{g}(\bar{X}, J\bar{Y}) - \eta(\bar{X})N = \frac{1}{4}\bar{g}(\bar{X}, J\bar{Y} - \eta(\bar{X})N) = \frac{1}{4}\bar{g}(\bar{X}, J\bar{Y})$. Следовательно

$$\begin{aligned}\tilde{g}(X^H, \Phi Y^H) &= \frac{1}{4}\bar{g}(X^H, (JY)^V) = 0; \\ \tilde{g}(X^V, \Phi Y^H) &= \frac{1}{4}\bar{g}(X^V, (JY)^V) = \frac{1}{4}g(X, JY); \\ \tilde{g}(X^V, \Phi Y^V) &= \frac{1}{4}\bar{g}(X^V, (JY)^H) = 0.\end{aligned}$$

Вычислив внешний дифференциал $d\eta(\bar{X}, \bar{Y}) = \frac{1}{2}(\tilde{\nabla}_{\bar{X}}(\eta)\bar{Y} - \tilde{\nabla}_{\bar{Y}}(\eta)\bar{X})$, с учетом формул (8), имеем

$$\begin{aligned}d\eta(X^H, Y^H) &= -\frac{1}{2}(-g(\nabla_X(J)y, Y) + g(\nabla_Y(J)y, X)); \\ d\eta(X^V, Y^H) &= \frac{1}{4}g(X, JY); \\ d\eta(X^V, Y^V) &= 0.\end{aligned}$$

Таким образом

$$d\eta(\bar{X}, \bar{Y}) = \tilde{g}(\bar{X}, \Phi\bar{Y}) \Leftrightarrow -g(\nabla_X(J)y, Y) + g(\nabla_Y(J)y, X) = 0.$$

Отсюда

$$\nabla_X(J)Y - \nabla_Y(J)X = 0.$$

Последнее соотношение, очевидно, эквивалентно $\nabla J = 0$, т.е. келеровости структуры $\{J, g\}$.

Предложение доказано.

Предложение 2. Почти контактная метрическая структура $\{\eta, \xi, \Phi, \tilde{g}\}$ является К-контактной структурой тогда и только тогда, когда (M, g) – двумерное многообразие постоянной секционной кривизны 1.

Доказательство: Известно, что К-контактная структура характеризуется условием $\tilde{\nabla}_{\bar{X}}\xi = -\Phi\bar{X}$ (см.[5]). В силу (7) получаем, что условие К-контактности структуры $\{\eta, \xi, \Phi, \tilde{g}\}$ равносильно двум условиям

1. $-(\nabla_X(J)y)^H + \frac{1}{2}(R(X, Jy)y)^V = -\frac{1}{2}\Phi X^H;$
2. $-(JX + \frac{1}{2}(R(y, X)Jy))^H = -\frac{1}{2}\Phi X^V.$

В силу келеровости структуры $\{J, g\}$ (см. Предложение 1) и известных свойств римановой кривизны R, условия 1, 2 эквивалентны соотношению

$$R(X, y)y = X;$$

или

$$\begin{aligned}R(X, y)y &= g(y, y)X + g(X, y)y; \\ (\text{т.к. } \bar{g}(y^V, y^V) &= g(y, y) = 1 \text{ и } \bar{g}(X^V, y^V) = g(X, y) = 0).\end{aligned}$$

Поляризуя последнее выражение и используя тождество Риччи, получим

$$R(X, Y)Z = g(Y, Z)X - g(X, Z)Y.$$

Таким образом, (M, J, g) – келерово многообразие постоянной кривизны 1. Как известно, в случае, когда $\dim(M) > 2$, келеровых многообразии постоянной секционной кривизны не существует. В случае, когда $\dim(M) = 2$, примером такого многообразия является двумерная сфера S^2 (или ее открытое подмногообразие), снабженное канонической келеровой структурой.

Предложение доказано.

Список литературы

1. Зяятуев Б.В. О некоторых классах АН-структур на касательном расслоении // Труды международной конференции, посвященной А.З. Петрову ,2001.-с.53-54.
2. Кириченко В.Ф., Дифференциально-геометрические структуры на многообразиях. М.:МПУ, 2003.
3. Yano K. and S. Ishihara. Tangent and Cotangent Bundles// New York, Marcel Dekker, INC., 1973, XII.
4. Zayatiev B.V. On some classes of almost Hermitian structures on the tangentbunde// Webs and Quasigroups, T.S.U., 2002.-p. 103-106.
5. Кириченко В.Ф., Аксиома Φ -голоморфных плоскостей в контактной метрической геометрии\\ Изв. АН СССР 48, №4 (1984), 711-739.

01.01.06

А.К. Мордовской канд. физ.-мат. наук, Т.А. Макунина

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова,
Институт математики и информатики,
кафедра алгебры, дискретной математики и прикладной информатики,
mak13@mail.ru, mcqueen01@mail.ru

ОПРЕДЕЛЯЕМОСТЬ АБЕЛЕВЫХ ГРУПП СВОИМИ ПОДГРУППАМИ

Описана связь корректности и определяемости своими (собственными) подгруппами для некоторых классов абелевых групп, получены критерии корректности для периодически полной p -группы.

Ключевые слова: почти изоморфизм, s -изоморфизм, t -изоморфизм, корректность абелевой группы, определяемость группы своими подгруппами (собственными подгруппами).

Две абелевы группы называются *почти изоморфными*, если каждая из них изоморфна подгруппе другой группы [1]. Две абелевы группы называются *почти изоморфными по подгруппам* с некоторым свойством, если каждая из них изоморфна некоторой подгруппе другой группы, обладающей этим свойством. Задача об изоморфизме почти изоморфных групп привлекала внимание многих алгебраистов. В одной из тестовых проблем Капланского [2] ставится вопрос об изоморфизме абелевых групп, почти изоморфных по прямым слагаемым. Для счетных редуцированных примарных групп эта проблема имеет положительное решение [2], однако П. Кроули привел пример неизоморфных p -групп, каждая из которых изоморфна прямому слагаемому другой группы [3]. В ряде работ исследуются, когда из почти изоморфизма абелевых групп по сервантным или вполне характеристическим подгруппам вытекает их изоморфизм (например, [4]–[8]).

Известная теоретико-множественная теорема Кантора-Шредера-Бернштейна являлась источником постановки аналогичных задач в алгебре не только для абелевых групп. В [9] изучается теоретико-кольцевой, а в [10] теоретико-категорный аналоги теоремы Кантора-Шредера-Бернштейна. Рассматриваются также почти изоморфные модули (например, [11]–[13]). Подобные задачи возникают и в других областях математики, в частности, в топологии [14, с. 20–21].

Существует также логический аспект задачи о почти изоморфизме, основанный на том, что если модули почти изоморфны по чистым подмодулям, то они элементарно эквивалентны [15].

Для рассмотренных аналогов теоремы Кантора-Шредера-Бернштейна характерно, в отличие от самой теоремы, наличие примеров отрицательного решения соответствующих задач, а также изучение классов объектов, для которых эти задачи имеют положительное решение.

Абелева группа A называется *корректной*, если для любой абелевой группы B из того, что $A \cong B'$ и $B \cong A'$, где A' , B' подгруппы групп A и B соответственно, следует изоморфизм $A \cong B$ [7].

Для абелевой группы A обозначим соответственно через $S(A)$ и $Sub(A)$ – множества ее подгрупп и ее собственных подгрупп.

Определение 1 [16]. Будем говорить, что группы A и B t -изоморфны (обозначение $A \overset{t}{\cong} B$), если существует биективное отображение множества $S(A)$ на множество $S(B)$, при котором соответствующие подгруппы групп A и B изоморфны.

Определение 2 [16]. Будем говорить, что группы A и B s -изоморфны (обозначение $A \overset{s}{\cong} B$), если существует биективное отображение множества $Sub(A)$ на множество $Sub(B)$, при котором соответствующие подгруппы групп A и B изоморфны.

Естественно возникают вопросы: как связаны между собой t -изоморфизм, s -изоморфизм и почти изоморфизм.

Приведем результаты о такой связи полученные ранее.

Теорема 3 [17]. Если абелевы группы A и B почти изоморфны, то они t -изоморфны.

Так как любые две t -изоморфные группы почти изоморфны, получаем

Следствие 4 [17]. Абелевы группы A и B t -изоморфны тогда и только тогда, когда они почти изоморфны.

Связь между t -изоморфизмом и s -изоморфизмом устанавливают следующие результаты.

Теорема 5 [17]. Если абелевы группы A и B t -изоморфны, то они s -изоморфны.

Теорема 6 [17]. Абелевы группы A и B , содержащие собственные подгруппы, изоморфные самим группам, t -изоморфны тогда и только тогда, когда они s -изоморфны.

Естественно возникает вопрос: в каких случаях t -изоморфные (s -изоморфные) группы изоморфны.

Определение 7. Если абелева группа A такова, что для любой абелевой группы B из $A \overset{t}{\cong} B$ ($A \overset{s}{\cong} B$) вытекает $A \cong B$, то будем говорить, что группа A *определяется своими подгруппами* (своими собственными подгруппами).

Вопрос об определяемости группы своими подгруппами (своими собственными подгруппами) представляет собственный интерес и как оказалось этот вопрос тесно связан с исследованием корректных абелевых групп.

Из приведенных выше теорем вытекают такие результаты.

Следствие 8 [17]. Абелева группа A определяется своими подгруппами тогда и только тогда, когда A – корректная группа.

Следствие 9 [17]. Абелева группа определяется своими подгруппами, если она определяется своими собственными подгруппами.

Следствие 10 [17]. Если абелева группа определяется своими собственными подгруппами, то она корректна.

Заметим, что определения почти изоморфизма, t -изоморфизма, s -изоморфизма можно дать аналогичным образом для двух универсальных алгебр A и B одной и той же сигнатуры. Также аналогично могут быть определены понятия корректной универсальной алгебры и алгебры, определяющей своими подалгебрами (своими собственными подалгебрами). В приведенных выше результатах никак не учитывается специфика абелевых групп, и поэтому эти результаты с соответствующей переформулировкой справедливы для произвольных универсальных алгебр.

Для прямых сумм циклических групп критерии определяемости своими подгруппами и своими собственными подгруппами были получены в [17], а некоторых классов групп без кручения в [18].

В настоящей работе исследуются периодически полные p -группы абелевы группы без кручения.

Пусть B p -группа, являющаяся прямой суммой циклических групп:

$B = \bigoplus_{i \in N} B_i$, где каждая группа B_i есть прямая сумма $l m_i$ циклических групп порядка p^i . Кардинальные числа $l m_i$ ($i \in N$) являются инвариантами группы B . Группу B назовем ступенчатой, если для любого $i \in N$ такого, что $l m_i \geq \aleph_0$ выполняется $l m_j > l m_i$ для всякого $j < i$.

Теорема 11. Для периодически полной p -группы A следующие условия эквивалентны:

- группа A корректна в классе периодически полных групп;
- базисная подгруппа группы A корректна в классе всех абелевых групп;
- базисная подгруппа группы A определяется своими подгруппами;
- базисная подгруппа группы A ступенчатая и ограниченная.

Для абелевых p -групп с одним ограничением на инварианты Ульма-Капланского доказана следующая теорема.

Теорема 12. Пусть A – абелева p -группа, у которой хотя бы для одного натурального числа n ее n -й инвариант Ульма-Капланского бесконечен. Тогда эквивалентны следующие условия:

- A – корректная группа;
- группа A определяется своими подгруппами;
- группа A определяется своими собственными подгруппами.

Список литературы

1. Jonson B. On direct decomposition of torsion free abelian groups // Math. Scand. 1959. №2. P. 361-371.
2. Kaplansky I. Infinite abelian groups. Ann Arbor: Univ. of Michigan Press, 1954.
3. Crawly P. Solution of Kaplansky's test problem for primary abelian groups // J. Algebra. 1965. №4. P. 413-431.
4. de Groot J. Equivalent abelian groups // Canad. J. Math. 1957. №9. P. 291-297.
5. Росошек С.К. Строго чисто корректные абелевы группы без кручения // Абелевы группы и модули. Томск, 1979. С. 143-150.
6. Шерстнева А.И. У-последовательности и почти изоморфизм абелевых p -групп по вполне характеристическим подгруппам // Изв. ВУЗов. Математика. 2001. № 5. С. 72-80.
7. Гриншпон С.Я. f.i.-корректность абелевых групп без кручения // Абелевы группы и модули. Томск, 1989. Вып. 8. С. 65-79.
8. Гриншпон С.Я. f.i.-корректные абелевы группы // Успехи матем. наук. 1999, № 6. С. 155-156.
9. Cornel I. Some ring theoretic Schroder-Bernstein theorems // Trans. Amer. Math. Soc. 1968. V. 132. P. 335-351.
10. Trnkova V., Koubek V. The Cantor-Bernstein theorem for functors // Comment. Math. Univ. Carol. 1973. V. 14. P. 197-204.
11. Bumby R. Modules which isomorphic to submodules each other // Arch. Math. 1965. V. 16. P. 184-185.
12. Holzsager R., Hallahan C. Mutual direct summands // Arch. Math. 1974. V. 25. P. 591-592.
13. Росошек С.К. Чисто корректные модули // Изв. ВУЗов. Математика. 1978. № 10. С. 143-150.
14. Борсук К. Теория ретрактов. М.: Мир, 1971.
15. Eklof P., Sabbagh G. Model-completions and modules // Ann. Math. Log. 1971. V. 2. P. 251-299.
16. Мордовской А.К. Изоморфизм подгрупп абелевых групп // Абелевы группы и модули. Томск, 2000. Вып. 15. С. 38-45.
17. Гриншпон С.Я., Мордовской А.К. Определяемость абелевых групп своими подгруппами и почти изоморфизм // Исследования по математическому анализу и алгебре. Томск, 2001. Вып. 3. С. 72-80.
18. Гриншпон С.Я., Мордовской А.К. Корректность абелевых групп без кручения и их определяемость своими подгруппами // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2014. № 5 (31). С. 16-29.

01.01.00

Ю.Г. Полкунов д-р техн. наук, М.Ю. Лобода

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра прикладной математики,
Оренбург, polkunov_ug@mail.ru, marianne_03@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОБЪЕМНЫХ ТРЕЩИН

Статья посвящена развитию метода разрывных смещений в объемной постановке для трещин ортогональной плоскости OYZ. В работе приведены результаты и анализ расчетов тестовых задач.

Ключевые слова: *метод разрывных смещений, трещина, напряжения.*

Исследования развития магистральных трещин в полу бесконечных областях находят большие практические приложения в направленном разрушении крепких горных пород [1].

Вывод метода разрывных смещений для объемных трещин, ортогональных плоскости OYZ, осуществлялся по алгоритму, приведенному в работе [2] для задач плоской деформации.

Алгоритм включает в себя:

1. Знание аналитического решения задачи о постоянном разрыве смещения на квадратном элементе, лежащем в плоскости OXY;
2. Осуществить связь локальной системы координат с глобальными координатами путем переноса и поворота квадратного элемента ортогональной плоскости OYZ против часовой стрелки на угол. Данные выражения позволяют связать смещения и напряжения локальной системы координат относительно глобальной системы;
3. Представить напряжения в глобальной системе координат относительно локальной;
4. Вычислить граничные коэффициенты влияния.

Граничные интегральные уравнения метода разрывных смещений в объемной постановке для трещин ортогональных плоскости OYZ сводятся к решению системы линейных алгебраических уравнений :

$$\begin{aligned}\sigma_{nx}^i &= \frac{G}{4\pi(1-\nu)} \sum_{j=1}^N [A11_{ij} D_{nxj} + A12_{ij} D_{nyj} + A13_{ij} D_{nzj}], \\ \sigma_{ny}^i &= \frac{G}{4\pi(1-\nu)} \sum_{j=1}^N [A21_{ij} D_{nxj} + A22_{ij} D_{nyj} + A23_{ij} D_{nzj}], \\ \sigma_{nz}^i &= \frac{G}{4\pi(1-\nu)} \sum_{j=1}^N [A31_{ij} D_{nxj} + A32_{ij} D_{nyj} + A33_{ij} D_{nzj}],\end{aligned}\quad (1)$$

где N - количество граничных элементов;

D_{nxj} , D_{nyj} , D_{nzj} - компоненты разрыва смещений j -го граничного элемента в касательных и нормальном направлениях соответственно;

σ_{nx}^i , σ_{ny}^i , σ_{nz}^i - касательные и нормальные напряжения, заданные на границе ($i=1, 2, \dots, N$);

$$A11_{ij} = -F_{121} \sin \gamma + F_{131} \cos \gamma;$$

$$A12_{ij} = -F_{122} \sin \gamma + F_{132} \cos \gamma;$$

$$A13_{ij} = -F_{123} \sin \gamma + F_{133} \cos \gamma;$$

$$A21_{ij} = -F_{221} \frac{1}{2} \sin 2\gamma + F_{331} \frac{1}{2} \sin 2\gamma + F_{231} \cos 2\gamma;$$

$$A22_{ij} = -F_{222} \frac{1}{2} \sin 2\gamma + F_{332} \frac{1}{2} \sin 2\gamma + F_{232} \cos 2\gamma;$$

$$A23_{ij} = -F_{223} \frac{1}{2} \sin 2\gamma + F_{333} \frac{1}{2} \sin 2\gamma + F_{233} \cos 2\gamma;$$

$$A31_{ij} = F_{221} \sin^2 \gamma + F_{331} \cos^2 \gamma - F_{231} \sin 2\gamma;$$

$$A32_{ij} = F_{222} \sin^2 \gamma + F_{332} \cos^2 \gamma - F_{232} \sin 2\gamma;$$

$$A33_{ij} = F_{223} \sin^2 \gamma + F_{333} \cos^2 \gamma - F_{233} \sin 2\gamma;$$

$$F_{111} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3 \frac{\bar{x} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x}^3 \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{112} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[(6\nu - 3) \frac{\bar{y} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x}^2 \bar{y} \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{113} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[(2\nu - 2) \frac{1}{r^3} + (3 - 6\nu) \frac{\bar{y}^2}{r^5} + 15 \frac{\bar{x}^2 \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{121} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3\nu \frac{\bar{y} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x}^2 \bar{y} \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{122} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3\nu \frac{\bar{x} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x} \bar{y}^2 \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{123} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[(2\nu - 1) 3 \frac{\bar{x} \bar{y}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x} \bar{y} \bar{z}^2}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{131} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-(1 + \nu) \frac{1}{r^3} + 3\nu \frac{\bar{y}^2}{r^5} + 15 \frac{\bar{x}^2 \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{132} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3\nu \frac{\bar{x} \bar{y}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x} \bar{y} \bar{z}^2}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{133} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3 \frac{\bar{x} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x} \bar{z}^3}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{221} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[(6\nu - 3) \frac{\bar{x} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x} \bar{y}^2 \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{222} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3 \frac{\bar{y} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{y}^3 \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{223} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[(2\nu - 2) \frac{1}{r^3} + (3 - 6\nu) \frac{\bar{x}^2}{r^5} + 15 \frac{\bar{y}^2 \bar{z}}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{231} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3\nu \frac{\bar{x} \bar{y}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x} \bar{y} \bar{z}^2}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{232} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-(1+\nu) \frac{1}{r^3} + 3\nu \frac{\bar{x}^2}{r^5} + 15 \frac{\bar{y}^2 \bar{z}^2}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{233} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3 \frac{\bar{y} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{y} \bar{z}^3}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{331} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3 \frac{\bar{x} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{x} \bar{z}^3}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{332} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-3 \frac{\bar{y} \bar{z}}{r^5} + 15 \frac{\bar{y} \bar{z}^3}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$F_{333} = \int_{-a}^a \int_{-a}^a \left[-\frac{1}{r^3} - 6 \frac{\bar{z}^2}{r^5} + 15 \frac{\bar{z}^4}{r^7} \right] d\xi_1 d\xi_2;$$

$$r = \sqrt{(\bar{x} - \xi_1)^2 + (\bar{y} - \xi_2)^2 + \bar{z}^2};$$

$$\bar{x} = x_i - x_j;$$

$$\bar{y} = (y_i - y_j) \cos \beta_j + (z_i - z_j) \sin \beta_j;$$

$$\bar{z} = -(y_i - y_j) \sin \beta_j + (z_i - z_j) \cos \beta_j;$$

$$A_{11_{ii}} = \frac{(2-\nu) \sqrt{2} G}{\pi (1-\nu) a_i}; \quad A_{22_{ii}} = \frac{(2-\nu) \sqrt{2} G}{\pi (1-\nu) a_i}; \quad A_{33_{ii}} = \frac{2 \sqrt{2} G}{\pi (1-\nu) a_i};$$

$$A_{12_{ii}} = A_{13_{ii}} = 0; \quad A_{21_{ii}} = A_{23_{ii}} = 0; \quad A_{31_{ii}} = A_{32_{ii}} = 0;$$

$\gamma = \beta_i - \beta_j$ - наклон i -го элемента относительно j -го элемента;

β_i - угол, образованный между i -м элементом и осью Oy ;

β_j - угол, образованный между j -м граничным элементом и осью Oy ;

x_i, y_i, z_i - координаты i -го граничного элемента;

x_j, y_j, z_j - координаты j -го граничного элемента.

Вычисление интегралов осуществлялось по квадратурным формулам Гаусса [3]:

$$\begin{aligned} \int_{-a}^a \int_{-a}^a f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \xi_1, \xi_2) d\xi_1 d\xi_2 &= \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, a t_1, a t_2) a^2 dt_1 dt_2 = \\ &= a^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_i A_j f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, a t_i, a t_j). \end{aligned}$$

Рассматривались две ортогональные трещины, одна из которых моделировала нижнее полупространство. Горизонтальная трещина имеет размеры $0,06 \times 0,06$ м², а вертикальная $0,03 \times 0,06$ м². Горизонтальная трещина разбивалась на 36 квадратных элементов, а вертикальная на 18, где $a = 0,005$ м.

Упругие характеристики песчаника: модуль Юнга $E = 2943$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$.

На рисунке 1 приведена схема нагружения нижней горизонтальной поверхности нормальным напряжением $\sigma_n = -9,81$ МПа и касательным напряжением равным по модулю $\sigma_s = 9,81$ МПа.

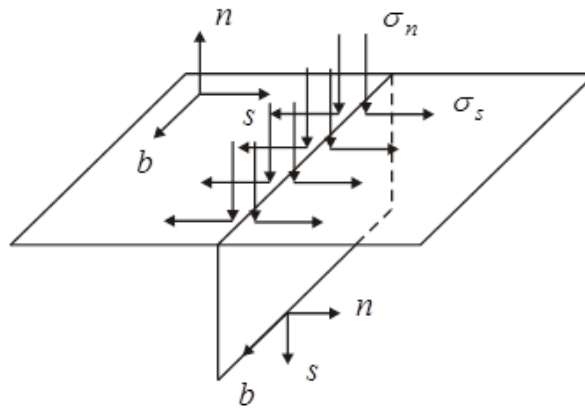


Рис. 1 - Полупространство с ортогональной трещиной

Результаты расчетов, вычисленные по формулам (1), приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Нормальные и касательные раскрытия берегов трещины от воздействия симметричной нагрузки

№	$x \cdot 10^2, \text{ м}$	$y \cdot 10^2, \text{ м}$	$z \cdot 10^2, \text{ м}$	$D_b, \text{ м}$	$D_s, \text{ м}$	$D_n \cdot 10^6, \text{ м}$
1	-2,5	0	-0,5	0	0	-19,484826
2	-1,5	0	-0,5	0	0	-29,432661
3	-0,5	0	-0,5	0	0	-30,310561
4	0,5	0	-0,5	0	0	-30,310561
5	1,5	0	-0,5	0	0	-29,432661
6	2,5	0	-0,5	0	0	-19,484826
7	-2,5	0	-1,5	0	0	-3,417068
8	-1,5	0	-1,5	0	0	-5,446117
9	-0,5	0	-1,5	0	0	-6,175282
10	0,5	0	-1,5	0	0	-6,175282
11	1,5	0	-1,5	0	0	-5,446117
12	2,5	0	-1,5	0	0	-3,417068
13	-2,5	0	-2,5	0	0	-2,039040
14	-1,5	0	-2,5	0	0	-2,969110
15	-0,5	0	-2,5	0	0	-3,377144
16	0,5	0	-2,5	0	0	-3,377144
17	1,5	0	-2,5	0	0	-2,969110
18	2,5	0	-2,5	0	0	-2,039040

Анализ результатов моделирования раскрытия берегов трещины показал, что при симметричном воздействии напряжений присутствуют только нормальные раскрытия берегов трещины.

Таким образом, приведенный объемный метод разрывных смещений, использующий квадратурные формулы Гаусса для расчета интегралов, позволяет исследовать развитие объемных трещин в пространстве, полосе, полупространстве и в четверти пространства, ортогональных плоскости OYZ.

Список литературы

1. Герике Б.Л. Математические модели циклического разрушения крепких горных пород дисковым инструментом/ Б.Л. Герике, Ю.Г. Полкунов, П.Б. Герике. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001. - 171 с.
2. Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела/ С. Крауч, А. Старфилд. М.: Мир, 1987. - 328 с.
3. Копченова Н.В. Вычислительная математика в примерах и задачах/ Н.В. Копченова, И.А. Марон.- М.: Наука, 1972. - 368 с.

01.01.02

А.С. Рябенко канд. физ.-мат. наук

Воронежский государственный университет,
 математический факультет,
 кафедра уравнений в частных производных и теории вероятностей,
 Воронеж, alexr-83@yandex.ru

ПОСТРОЕНИЕ ОДНОГО РЕГУЛЯРИЗАТОРА

Строится регуляризатор, позволяющий уточнять зависимость решений задач для обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами и параметрами, рассмотренных в одномерном полупространстве, от параметров.

Ключевые слова: *регуляризатор, задачи с параметрами, эволюционные уравнения, поведение по времени.*

Введение

Одним из направлений качественной теории эволюционных дифференциальных уравнений является изучение поведения решений этих уравнений при большом времени [1-4].

Как известно, начальные и начально-краевые задачи для эволюционных уравнений и систем можно сводить к изучению задач с параметрами [5, 6]. При этом поведение решений задач для эволюционных уравнений и систем при большом времени тесно связано с формой зависимости решений задач с параметрами от параметров [6-9].

В случае, когда в задачах с параметрами переменные коэффициенты или форма представления их решения очень громоздка, приходится получать оценки зависимости решений задач от параметров при помощи оценок в некоторых функциональных пространствах [7, 9]. Зачастую вид полученных оценок дает грубую зависимость решения задачи от параметра [10]. В связи с этим возникает интерес к построению регуляризаторов, улучшающих стандартные оценки.

В [6] был построен регуляризатор, позволяющий уточнять зависимость решений задач для обыкновенных дифференциальных уравнений с параметрами, рассмотренных на полуоси, от параметров в случае, когда коэффициенты уравнений постоянные. В статье строится обобщение этого регуляризатора, дающее более точные результаты для задач с переменными коэффициентами.

Построение регуляризатора

Пусть σ – произвольное комплексное число такое, что $\operatorname{Re} \sigma = \sigma_1 > 0$, $a(x) \in C([0; \infty))$ и существуют положительные константы ε_1 и ε_2 такие, что при $x \in [0; \infty)$ $\varepsilon_1 \leq a(x) \leq \varepsilon_2$.

Через $\|g\|$ будем обозначать норму в пространстве $L_2([0; \infty))$, то есть

$$\|g\| = \left(\int_0^\infty |g(y)|^2 dy \right)^{1/2}.$$

Введем в рассмотрение функцию

$$\tilde{u}(x, \sigma) = \frac{1}{\sigma} (\tilde{I}_1(x, \sigma) + \tilde{I}_2(x, \sigma) - \tilde{I}_3(x, \sigma)), \quad (1)$$

$$\text{где } \tilde{I}_1(x, \sigma) = \int_x^\infty \frac{e^{-\frac{\sigma(y-x)}{a(y)}}}{2a(y)} f(y) dy, \quad \tilde{I}_2(x, \sigma) = \int_0^x \frac{e^{-\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}}}{2a(y)} f(y) dy, \quad \tilde{I}_3(x, \sigma) = \int_0^\infty \frac{e^{-\frac{\sigma(x+y)}{a(y)}}}{2a(y)} f(y) dy.$$

Теорема. Пусть $f(x) \in C([0; \infty)) \cap L_2([0; \infty))$, тогда выполнены следующие равенства: $\tilde{u}(0, \sigma) = 0$, $\lim_{x \rightarrow \infty} \tilde{u}(x, \sigma) = 0$. Если $a(x) \equiv a \equiv \text{const} \neq 0$, то функция $\tilde{u}(x, \sigma)$, будет решением задачи:

$$\tilde{u}''(x, \sigma) - \frac{\sigma^2}{a^2} \tilde{u}(x, \sigma) = -\frac{f(x)}{a^2}, \quad x \in [0; \infty), \quad (2)$$

$$\tilde{u}(0, \sigma) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \tilde{u}(x, \sigma) = 0. \quad (3)$$

Доказательство. Из (1) следует, что

$$\tilde{u}(0, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \left(\int_0^\infty \frac{e^{-\frac{\sigma y}{a(y)}}}{2a(y)} f(y) dy - \int_0^\infty \frac{e^{-\frac{\sigma y}{a(y)}}}{2a(y)} f(y) dy \right) = 0. \quad (4)$$

Оценим $\frac{1}{\sigma} \tilde{I}_1(x, \sigma)$. Так как $\operatorname{Re} \sigma = \sigma_1 > 0$, то из условий на функцию $a(x)$ и неравенства Коши-Буняковского получаем

$$\begin{aligned} \left| \frac{1}{\sigma} \tilde{I}_1(x, \sigma) \right| &\leq \frac{c}{|\sigma|} \int_x^\infty e^{-\frac{\sigma_1(y-x)}{\varepsilon_2}} |f(y)| dy \leq \frac{c}{|\sigma|} \left(\int_x^\infty e^{-\frac{2\sigma_1(y-x)}{\varepsilon_2}} dy \right)^{1/2} \left(\int_x^\infty |f(y)|^2 dy \right)^{1/2} \leq \\ &\leq \frac{c}{|\sigma|} \left(\int_x^\infty |f(y)|^2 dy \right)^{1/2} \left(-\frac{\varepsilon_2}{2\sigma_1} e^{-\frac{2\sigma_1(y-x)}{\varepsilon_2}} \right) \Big|_{y=x}^\infty \Big)^{1/2} \leq \\ &\leq \frac{c_1}{|\sigma| \sqrt{\sigma_1}} \left(\int_x^\infty |f(y)|^2 dy \right)^{1/2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где c_1 – константа, не зависящая от σ .

Из (5) следует, что

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{\sigma} \tilde{I}_1(x, \sigma) = 0. \quad (6)$$

Оценим $\frac{1}{\sigma} \tilde{I}_3(x, \sigma)$. Так как $\operatorname{Re} \sigma = \sigma_1 > 0$, то из условий на функцию $a(x)$ и неравенства Коши-Буняковского получаем

$$\begin{aligned} \left| \frac{1}{\sigma} \tilde{I}_3(x, \sigma) \right| &\leq \frac{ce^{-\frac{\sigma_1 x}{\varepsilon_2}}}{|\sigma|} \int_0^\infty e^{-\frac{\sigma_1 y}{\varepsilon_2}} |f(y)| dy \leq \\ &\leq \frac{ce^{-\frac{\sigma_1 x}{\varepsilon_2}}}{|\sigma|} \left(\int_0^\infty e^{-\frac{2\sigma_1 y}{\varepsilon_2}} dy \right)^{1/2} \left(\int_0^\infty |f(y)|^2 dy \right)^{1/2} \leq \frac{c_1 e^{-\frac{\sigma_1 x}{\varepsilon_2}}}{|\sigma| \sqrt{\sigma_1}} \|f\|, \end{aligned} \quad (7)$$

где c_1 – константа, не зависящая от σ .

Из (7) следует, что

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{\sigma} \tilde{I}_3(x, \sigma) = 0. \quad (8)$$

Пусть $\psi(x)$ – произвольная финитная на $[0; \infty)$ функция и $\operatorname{supp} \psi(x) \subset [0; N]$, тогда

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \int_0^x \frac{e^{-\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}}}{2a(y)} \psi(y) dy = \int_0^N \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{e^{-\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}}}{2a(y)} \psi(y) dy = 0. \quad (9)$$

Докажем, что $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{\sigma} \tilde{I}_2(x, \sigma) = 0$. Так как функция $f(x) \in L_2([0; \infty))$, то существует последовательность $\{\psi_k(x)\}_{k=1}^\infty$ финитных функций таких, что

$$\|f - \psi_k\|_{k \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (10)$$

Оценим $\frac{1}{\sigma} \tilde{I}_2(x, \sigma)$.

Для любой функции $g(x) \in L_2([0; \infty))$

$$\begin{aligned} \left| \frac{1}{\sigma} \int_0^x e^{\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}} g(y) dy \right| &\leq \frac{c}{|\sigma|} \int_0^x e^{\frac{\sigma_1(x-y)}{\varepsilon_2}} |g(y)| dy \leq \frac{c}{|\sigma|} \left(\int_0^x e^{\frac{2\sigma_1(x-y)}{\varepsilon_2}} dy \right)^{1/2} \left(\int_0^x |g(y)|^2 dy \right)^{1/2} \leq \\ &\leq \frac{c \|g\|}{|\sigma|} \left(\frac{\varepsilon_2}{2\sigma_1} e^{\frac{2\sigma_1(x-y)}{\varepsilon_2}} \right)_{y=0}^{x=0} = \frac{c \|g\|}{|\sigma|} \left(\frac{\varepsilon_2(1 - e^{-\frac{2\sigma_1 x}{\varepsilon_2}})}{2\sigma_1} \right)^{1/2} \leq \frac{c_1 \|g\|}{|\sigma| \sqrt{\sigma_1}}, \end{aligned}$$

тогда

$$\begin{aligned} \left| \frac{1}{\sigma} \tilde{I}_2(x, \sigma) \right| &= \frac{1}{|\sigma|} \left| \int_0^x e^{\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}} (f(y) - \psi_k(y) + \psi_k(y)) dy \right| \leq \\ &\leq \frac{1}{|\sigma|} \left| \int_0^x e^{\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}} \psi_k(y) dy \right| + \frac{1}{|\sigma|} \left| \int_0^x e^{\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}} (f(y) - \psi_k(y)) dy \right| \leq \\ &\leq \frac{1}{|\sigma|} \left| \int_0^x e^{\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}} \psi_k(y) dy \right| + \frac{c_1 \|f - \psi_k\|}{|\sigma| \sqrt{\sigma_1}}, \end{aligned} \quad (11)$$

где c_1 – константа, не зависящая от σ .

Из (9), (10), (11) следует, что

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{\sigma} \tilde{I}_2(x, \sigma) = 0. \quad (12)$$

Из (1), (6), (8) и (12) получаем, что

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \tilde{u}(x, \sigma) = 0. \quad (13)$$

Вычислим первую и вторую производные от функции $\tilde{u}(x, \sigma)$.

Из (1) следует, что

$$\tilde{u}'(x, \sigma) = \int_x^\infty \frac{e^{\frac{\sigma(y-x)}{a(y)}}}{2(a(y))^2} f(y) dy - \int_0^x \frac{e^{\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}}}{2(a(y))^2} f(y) dy + \int_0^\infty \frac{e^{\frac{\sigma(x+y)}{a(y)}}}{2(a(y))^2} f(y) dy. \quad (14)$$

Из (14) получаем, что

$$\tilde{u}''(x, \sigma) = -\frac{f(x)}{(a(x))^2} + \sigma(\tilde{I}_1(x, \sigma) + \tilde{I}_2(x, \sigma) - \tilde{I}_3(x, \sigma)), \quad (15)$$

$$\text{где } \tilde{I}_1(x, \sigma) = \int_x^\infty \frac{e^{\frac{\sigma(y-x)}{a(y)}}}{2(a(y))^3} f(y) dy, \quad \tilde{I}_2(x, \sigma) = \int_0^x \frac{e^{\frac{\sigma(x-y)}{a(y)}}}{2(a(y))^3} f(y) dy, \quad \tilde{I}_3(x, \sigma) = \int_0^\infty \frac{e^{\frac{\sigma(x+y)}{a(y)}}}{2(a(y))^3} f(y) dy.$$

Если $a(x) \equiv a \equiv \text{const} \neq 0$, то

$$\frac{\tilde{I}_1(x, \sigma)}{a^2} = \tilde{I}_1(x, \sigma), \quad \frac{\tilde{I}_2(x, \sigma)}{a^2} = \tilde{I}_2(x, \sigma), \quad \frac{\tilde{I}_3(x, \sigma)}{a^2} = \tilde{I}_3(x, \sigma).$$

Воспользовавшись (1), (15) и последними равенствами находим, что при $a(x) \equiv a \equiv \text{const} \neq 0$ функция $\tilde{u}(x, \sigma)$, является решением уравнения (2). С учетом (4) и (13) получаем, что функция $\tilde{u}(x, \sigma)$ является решением задачи (2)-(3).

Теорема доказана.

Список литературы

1. Репников В.Д. О равномерной стабилизации решений задачи Коши для параболических уравнений // Док. Акад. Наук СССР. – 1964. – Т. 157. – С. 532-535.
2. Маслов В.П. О существовании убывающего при $t \rightarrow \infty$ решения уравнения Соболева для малых колебаний вращающейся жидкости в цилиндрической области // СМЖ. – 1968. – Т. IX. - № 6. – С. 1351-1360.
3. Валицкий Ю.Н., Эдельман С.Д. Необходимые и достаточные условия стабилизации положительных решений уравнения теплопроводности // Сибир. Мат. Журнал. – 1976. – Т. 17. - № 4. – С. 744-756.
4. Кондратьев В.А. Об асимптотических свойствах решений нелинейных уравнений теплопроводности // Дифференциальные уравнения. – 1998. – Т.34. - № 2. – С. 246-255.
5. Агранович М.С., Вишик М.И. Эллиптические задачи с параметрами и параболические задачи общего вида // Успехи математических наук. – 1964. – Т. XIX - Вып. 3. – С. 53-161.
6. Глушко А.В. Асимптотические методы в задачах гидродинамики // Воронежский государственный университет. – 2003. – 300 с.
7. Рябенко А.С. Оценка при $t \rightarrow \infty$ решения задачи о распределения тепла в полупространстве с переменным коэффициентом теплопроводности // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2007. - № 1. – С. 95-99.
8. Глушко А.В., Рябенко А.С. О малых одномерных акустических колебаниях стратифицированной жидкости // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2008. - № 1. – С. 226-231.
9. Рябенко А.С. Оценка компонентов решения задачи, описывающей колебания в вязкой сжимаемой стратифицированной жидкости // Вестник СамГУ. Естественная серия. – 2008. - № 6. – С. 185-192.
10. Рябенко А.С. Априорные оценки одной краевой задачи с комплексным параметром // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. - № 3. – С. 38-42.

01.01.07

К.Э. Сибгатуллин канд. техн. наук, Э.С. Сибгатуллин д-р физ.-мат. наук

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

СТРУКТУРНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ БРУСЬЕВ С ИЗОТРОПНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ ИХ СЛОЖНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

В работе получены параметрические уравнения предельной поверхности (поверхности прочности) в шестимерном пространстве внутренних силовых факторов (ВСФ). Прочности компонент композиционного материала (КМ) описываются феноменологически; прочностные характеристики композитных брусьев определяются с использованием структурного метода. Использованы жёсткопластическая модель деформируемого твёрдого тела, соотношения теории пластического течения, традиционные гипотезы статического и кинематического характеров для брусьев. Предполагается, что перемещения, повороты и деформации малы, а нагрузки – кратковременные статические. Приведены результаты решения ряда задач построения предельных кривых в плоскостях различных ВСФ для поперечного сечения предварительно напряжённой железобетонной балки.

Ключевые слова: композитные брусья, изотропные компоненты, сложное сопротивление, прочность, параметрические уравнения предельной поверхности.

Вывод параметрических уравнений предельной поверхности в пространстве ВСФ.

Параметрические уравнения предельной поверхности в пространстве внутренних сил и моментов впервые приведены в работе [1] (для изотропных оболочек). Для относительно простых форм поперечных сечений стержней (кольцо, прямоугольник, двутавр, тавр, круглое и эллиптическое сечения) и частных видов их сложного сопротивления (косой изгиб, внецентренное сжатие, изгиб с кручением) решения аналогичных задач приводились, например, в работах [2-5]. Для произвольных форм брусьев и общего случая их сложного сопротивления, когда в их сечениях одновременно могут быть отличны от нуля все ВСФ, параметрические уравнения предельных поверхностей приведены: для однородных изотропных брусьев, одинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию – в работе [6]; для однородных анизотропных брусьев – в работе [7]; для композитных брусьев с изотропными компонентами – в настоящей работе.

Пусть точка O – центр площади рассматриваемого сечения бруса, $O\xi_1\xi_2\xi_3$ – эйлера система координат (система наблюдателя) [8], $O\xi'_1\xi'_2\xi'_3$ – лагранжева система, неизменно связанная с брусом. До деформации эти две системы совпадают; ось ξ_1 направлена нормально к рассматриваемому сечению бруса; оси ξ_2 и ξ_3 лежат в плоскости поперечного сечения. Гипотезы статики выражаются тождествами $\sigma_{22} \cong 0$, $\sigma_{33} \cong 0$, а гипотезы геометрии – тождествами $\varepsilon_{23} \cong \varepsilon_{32} \cong 0$. Полагаем, что сдвиги в плоскостях $(\xi_1\xi_2)$ и $(\xi_1\xi_3)$ в общем случае не равны нулю. Следствием геометрических гипотез является то, что напряжения $\sigma_{23} = \sigma_{32}$ не являются обобщёнными силами (они не совершают работу при деформации бруса). При принятых гипотезах феноменологический критерий прочности для j -ой однородной изотропной компоненты композитного бруса можно записать в следующем виде:

$$\Phi_j \equiv (A\sigma_{11}^2 + L\sigma_{21}^2 + L\sigma_{31}^2 + 2D\sigma_{11} - 1)_j = 0, \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Критерий прочности (1) представляет собой вариант известных феноменологических критериев (см., например, [9]) для рассматриваемых здесь случаев. Коэффициенты A_j, L_j, D_j в (1) определяются по результатам соответствующих испытаний материалов на прочность. Уравнение (1) описывает поверхность прочности (как правило – эллипсоид) в трёхмерном пространстве напряжений $\sigma_{11}, \sigma_{21}, \sigma_{31}$. Используя ассоциированный с условием (1) закон деформирования [10], найдём скорости деформации $\dot{\varepsilon}_{ik}^j$:

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_{11}^j &= \left(\dot{\lambda} \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{11}} \right)_j \equiv 2 \left[\dot{\lambda} (A \sigma_{11} + D) \right]_j; \\ \dot{\varepsilon}_{21}^j &= 2 \left(\dot{\lambda} L \sigma_{21} \right)_j; \quad \dot{\varepsilon}_{31}^j = 2 \left(\dot{\lambda} L \sigma_{31} \right)_j.\end{aligned}\quad (2)$$

Здесь $\dot{\lambda}(\dot{\varepsilon}_{11}^j, \dot{\varepsilon}_{21}^j, \dot{\varepsilon}_{31}^j) \geq 0$ – скалярный множитель. Решая (2) относительно σ_{ik}^j , находим

$$\sigma_{11}^j = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{11}^j}{2 \dot{\lambda} A} - \frac{D}{A} \right)_j; \quad \sigma_{21}^j = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{21}^j}{2 \dot{\lambda} L} \right)_j; \quad \sigma_{31}^j = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{31}^j}{2 \dot{\lambda} L} \right)_j. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1), находим

$$\dot{\lambda}_j^2 = (L \dot{\varepsilon}_{11}^2 + A \dot{\varepsilon}_{21}^2 + A \dot{\varepsilon}_{31}^2)_j / 4 S_\Delta^j. \quad (4)$$

Здесь $S_\Delta^j = L_j (A + D^2)_j$.

Формулы Кирхгофа для скоростей деформации [11]:

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_{11} &= \dot{e}_1 - \dot{a}_{21} \xi_2 + \dot{a}_{31} \xi_3; \\ \dot{\varepsilon}_{21} &= 0.5(\dot{\gamma}_{21} - \dot{a}_{11} \xi_3); \\ \dot{\varepsilon}_{31} &= 0.5(\dot{\gamma}_{31} + \dot{a}_{11} \xi_2).\end{aligned}\quad (5)$$

Здесь $\dot{e}_1$ – скорость деформации оси ξ_1' в направлении оси ξ_1 ; $\dot{\gamma}_{21}, \dot{\gamma}_{31}$ – скорости сдвигов в плоскостях $(\xi_1 \xi_2)$ и $(\xi_1 \xi_3)$ соответственно; $\dot{a}_{11}$ – скорость изменения закрутки оси ξ_1' в системе $O \xi_1 \xi_2 \xi_3$; $\dot{a}_{21}$ – скорость изменения кривизны проекции оси ξ_1' на плоскость $(\xi_1 \xi_2)$; $\dot{a}_{31}$ – то же, на плоскость $(\xi_1 \xi_3)$. В пределах рассматриваемого сечения бруса эти величины не зависят от координат ξ_2, ξ_3 рассматриваемой точки сечения.

Подставляя (5) в (4), получим

$$\begin{aligned}\dot{\lambda}_j^2 &= [L_j \dot{e}_1^2 + 0.25 A_j (\dot{\gamma}_{21}^2 + \dot{\gamma}_{31}^2) + 2 \xi_2 (-L_j \dot{e}_1 \dot{a}_{21} + 0.25 A_j \dot{\gamma}_{31} \dot{a}_{11}) + \\ &+ 2 \xi_3 (L_j \dot{e}_1 \dot{a}_{31} - 0.25 A_j \dot{\gamma}_{21} \dot{a}_{11}) + \xi_2^2 (L_j \dot{a}_{21}^2 + 0.25 A_j \dot{a}_{11}^2) + \\ &+ 2 \xi_2 \xi_3 (-L_j \dot{a}_{21} \dot{a}_{31}) + \xi_3^2 (L_j \dot{a}_{31}^2 + 0.25 A_j \dot{a}_{11}^2)] / (4 S_\Delta^j).\end{aligned}\quad (6)$$

Подставляя (5) в (3), получим

$$\begin{aligned}\sigma_{11}^j &= \frac{1}{2 \dot{\lambda}_j A_j} (\dot{e}_1 - \dot{a}_{21} \xi_2 + \dot{a}_{31} \xi_3) - \frac{D_j}{A_j}; \\ \sigma_{21}^j &= \frac{1}{4 \dot{\lambda}_j L_j} (\dot{\gamma}_{21} - \dot{a}_{11} \xi_3); \quad \sigma_{31}^j = \frac{1}{4 \dot{\lambda}_j L_j} (\dot{\gamma}_{31} + \dot{a}_{11} \xi_2).\end{aligned}\quad (7)$$

Внутренние силы и моменты в сечении бруса в системе $O \xi_1 \xi_2 \xi_3$ определяются формулами [12]:

$$\begin{aligned}N_1 &= \sum_{j=1}^n \int_{A_\Delta^j} \sigma_{11}^j dA_\Delta; \quad Q_{21} = \sum_{j=1}^n \int_{A_\Delta^j} \sigma_{21}^j dA_\Delta; \quad Q_{31} = \sum_{j=1}^n \int_{A_\Delta^j} \sigma_{31}^j dA_\Delta; \\ M_1 &= \sum_{j=1}^n \int_{A_\Delta^j} (\sigma_{31}^j \xi_2 - \sigma_{21}^j \xi_3) dA_\Delta; \quad M_2 = \sum_{j=1}^n \int_{A_\Delta^j} \sigma_{11}^j \xi_3 dA_\Delta; \quad M_3 = - \sum_{j=1}^n \int_{A_\Delta^j} \sigma_{11}^j \xi_2 dA_\Delta.\end{aligned}\quad (8)$$

Здесь n - число компонент композита; A_j^* - площадь сечения j -й компоненты; N_1 - нормальная к сечению сила; Q_{21} , Q_{31} - касательные к сечению силы; M_1 - момент относительно оси ξ_1 («крутящий» момент); M_2 , M_3 - моменты относительно осей ξ_2 и ξ_3 , соответственно («изгибающие» моменты).

Подставляя (7) в (8), получаем

$$\begin{aligned} N_1 &= \sum_{j=1}^n \frac{1}{2A_j} (I_{1j}\dot{e}_1 - I_{2j}\dot{e}_{21} + I_{3j}\dot{e}_{31} - 2D_j A_j^*); \\ Q_{21} &= \sum_{j=1}^n \frac{1}{4L_j} (I_{1j}\dot{\gamma}_{21} - I_{3j}\dot{e}_{11}); \\ Q_{31} &= \sum_{j=1}^n \frac{1}{4L_j} (I_{1j}\dot{\gamma}_{31} + I_{2j}\dot{e}_{11}); \\ M_1 &= \sum_{j=1}^n \frac{1}{4L_j} [I_{2j}\dot{\gamma}_{31} - I_{3j}\dot{\gamma}_{21} + (I_{4j} + I_{6j})\dot{e}_{11}]; \\ M_2 &= \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{2A_j} (I_{3j}\dot{e}_1 - I_{5j}\dot{e}_{21} + I_{6j}\dot{e}_{31}) - \frac{D_j}{A_j} S_{2j} \right]; \\ M_3 &= - \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{2A_j} (I_{2j}\dot{e}_1 - I_{4j}\dot{e}_{21} + I_{5j}\dot{e}_{31}) - \frac{D_j}{A_j} S_{3j} \right]; \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь

$$\begin{aligned} I_{1j} &= \int_{A_j^*} \frac{dA^*}{\dot{\lambda}_j}; \quad I_{2j} = \int_{A_j^*} \frac{\xi_2 dA^*}{\dot{\lambda}_j}; \quad I_{3j} = \int_{A_j^*} \frac{\xi_3 dA^*}{\dot{\lambda}_j}; \quad I_{4j} = \int_{A_j^*} \frac{\xi_2^2 dA^*}{\dot{\lambda}_j}; \\ I_{5j} &= \int_{A_j^*} \frac{\xi_2 \xi_3 dA^*}{\dot{\lambda}_j}; \quad I_{6j} = \int_{A_j^*} \frac{\xi_3^2 dA^*}{\dot{\lambda}_j}; \quad S_{2j} = \int_{A_j^*} \xi_3 dA^*; \quad S_{3j} = \int_{A_j^*} \xi_2 dA^*. \end{aligned} \quad (10)$$

Параметрические уравнения (9) описывают предельную поверхность в пространстве ВСФ N_1 , Q_{21} , Q_{31} , M_1 , M_2 , M_3 . Параметрами в них являются отношения величин $\dot{e}_1$, $\dot{\gamma}_{21}$, $\dot{\gamma}_{31}$, $\dot{e}_{11}$, $\dot{e}_{21}$, $\dot{e}_{31}$ между собой. Как отмечено в работе [12], задав некоторое кинематически возможное поле скоростей деформаций, которое, в общем случае, не совпадает с соответствующим истинным полем, мы накладываем на механическую систему дополнительные связи, что делает систему «жестче». Поэтому использование соотношений (5) и других геометрических гипотез приводит к тому, что уравнения (9) оценивают прочностные характеристики композитных брусьев «сверху», которые могут совпасть, а могут и не совпасть, с соответствующими истинными прочностными характеристиками. Уравнения (9) могут быть использованы, в частности, для оценки прочности железобетонных брусьев (в общем случае в рассматриваемом сечении бруса могут присутствовать сечения арматур различных классов), брусьев, сечения которых составлены из различных изотропных материалов. Причём могут рассматриваться не только поперечные, но и произвольные, наклонные по отношению к продольной оси, сечения рассматриваемого бруса.

Алгоритм построения сечений поверхности прочности.

В общем случае не удаётся исключить параметры из системы уравнений (9). Чтобы наглядно представить, с чем мы имеем дело, и не упустить из виду характерные точки поверхности (9), приходится строить её различные сечения, с использованием соответствующих алгоритма и программы для ЭВМ. Рассмотрим алгоритм построения сечения поверхности (9) на примере её пересечения с плоскостью $M_1 M_2$:

1. Задать последовательность значений $\dot{a}_{11}^l, \dot{a}_{31}^l, l = 1, 2, 3, \dots$.
2. Решить систему уравнений

$$N_1^l = 0, Q_{21}^l = 0, Q_{31}^l = 0, M_3^l = 0 \quad (11)$$

относительно $\dot{e}_1^l, \dot{\gamma}_{21}^l, \dot{\gamma}_{31}^l, \dot{a}_{21}^l$. Левые части уравнений (11) определяются правыми частями формул (9).

3. По известным значениям $\dot{e}_1^l, \dot{\gamma}_{21}^l, \dot{\gamma}_{31}^l, \dot{a}_{11}^l, \dot{a}_{31}^l, \dot{a}_{21}^l$, используя (9), определить $N_1^l, Q_{21}^l, Q_{31}^l, M_1^l, M_2^l, M_3^l$. Точка, координаты которой равны этим значениям внутренних сил и моментов, лежит одновременно на поверхности (9) и на плоскости M_1OM_2 , т. е. принадлежит искомому сечению.

4. Повторяя эту процедуру для различных комбинаций $\dot{a}_{11}^l, \dot{a}_{31}^l$, получим ряд точек, принадлежащих предельной кривой на плоскости M_1OM_2 . Найдя достаточное число таких точек, строим искомую кривую.

Система, аналогичная (11), может содержать от одного до пяти уравнений. Решение таких систем не представляет собой тривиальную задачу, так как искомые переменные $\dot{e}_1^l, \dot{\gamma}_{21}^l, \dot{\gamma}_{31}^l, \dot{a}_{21}^l$, например, входят в выражение (6) для $\dot{\lambda}_j^l$, а через неё – в интегралы (10). Так как имеет значение только направление вектора $\{\dot{e}_1^l, \dot{\gamma}_{21}^l, \dot{\gamma}_{31}^l, \dot{a}_{11}^l, \dot{a}_{31}^l, \dot{a}_{21}^l\}^T$ а не его длина, то можно задать значения $\dot{a}_{11}^l, \dot{a}_{31}^l$, например, используя формулы

$\dot{a}_{11}^l = \cos(l \cdot \Delta\alpha), \dot{a}_{31}^l = \sin(l \cdot \Delta\alpha), l = \overline{1, m}$, где $\Delta\alpha = 2\pi/m$, где m - число искомых точек на плоскости M_1OM_2 .

Примеры расчётов.

Железобетонная балка покрытия промышленного здания имеет длину 20 м (рис. 1а). Соппротивление бетона сжатию для первой группы предельных состояний [13] принято 25,35 МПа. Рабочая арматура – преднапряжённая, класса К-19. Схема армирования поперечного сечения балки приведена на рис. 1б. Диаметр сечения одного армирующего троса – 0,014 м. Прочность арматуры принята равной 1160 МПа. На рис. 2 О – центр площади поперечного сечения балки, $\xi_2\xi_3$ - главные центральные оси, сетка координат – в м. На этом же рисунке указано разбиение сечения на треугольные конечные элементы при численном определении интегралов (10). В таблице 1 приведены расчетные значения изгибающих моментов в различных поперечных сечениях балки. Здесь L_x - расстояние от опоры до рассматриваемого сечения балки, L - длина пролёта, γ_f - коэффициент надёжности по нагрузке. На рис. 3а приведена предельная кривая в плоскости $Q_{31}M_2$ (поперечный прямой изгиб, Q_{31} - горизонтальная ось) для сечения, изображённого на рис. 1б (сечение 6-6, табл. 1), построенная с использованием вышеописанного алгоритма и уравнений (9). При этом в пространстве напряжений условие предельного состояния бетона определяется уравнением

$$0,0272\sigma_{11}^2 + 0,650\sigma_{11} + 0,1189\sigma_{12}^2 + 0,1189\sigma_{13}^2 = 1, \quad (12)$$

а для стали – уравнением

$$\sigma_{11}^2 + 3\sigma_{12}^2 + 3\sigma_{13}^2 = 1160^2 \quad (13)$$

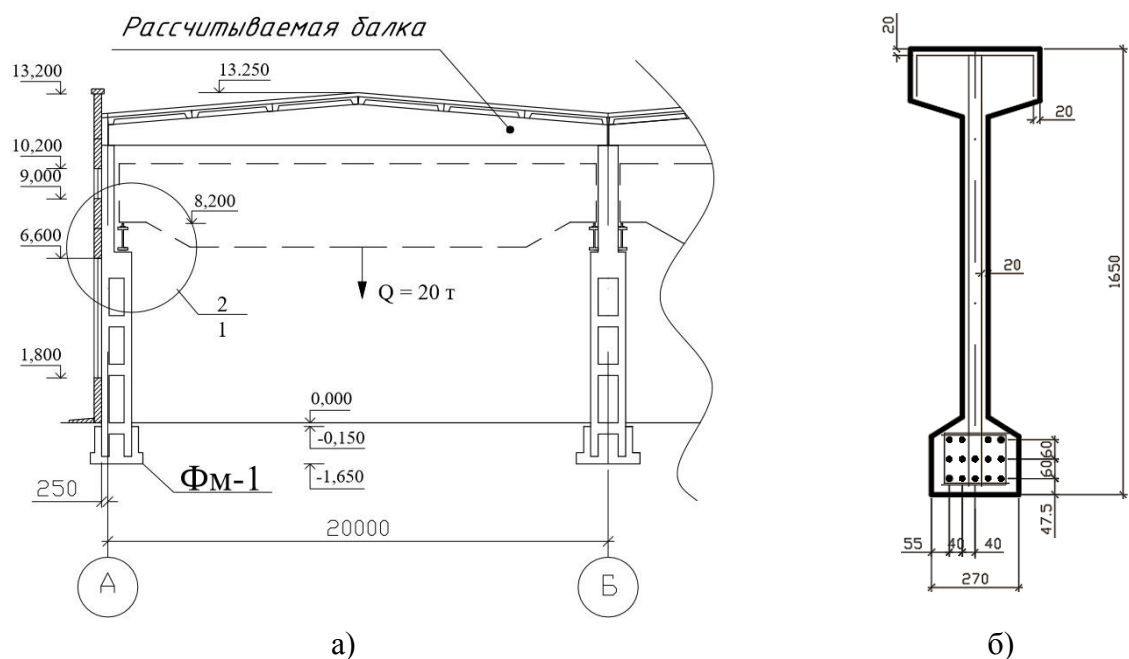


Рис. 1 – а) фрагмент поперечного сечения промышленного здания с указанием рассчитываемой балки; б) схема армирования поперечного сечения балки

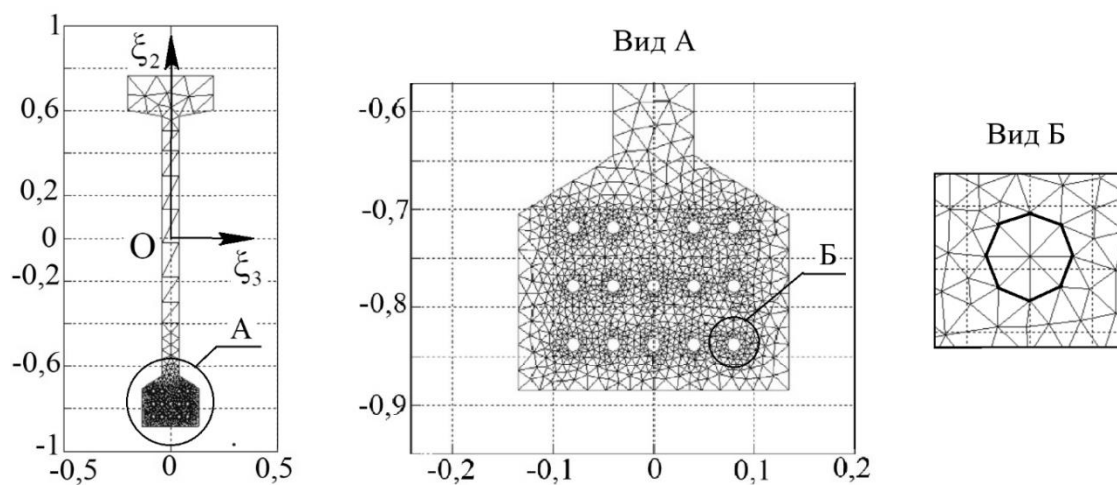
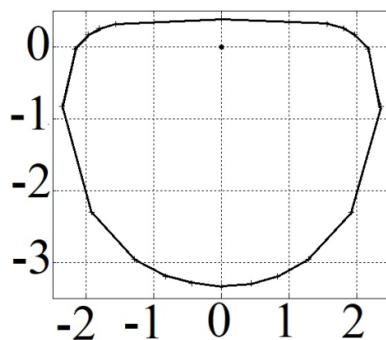
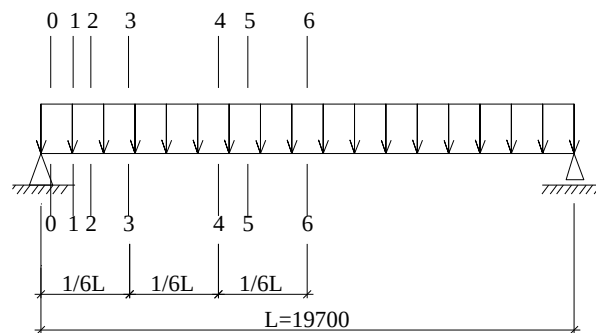


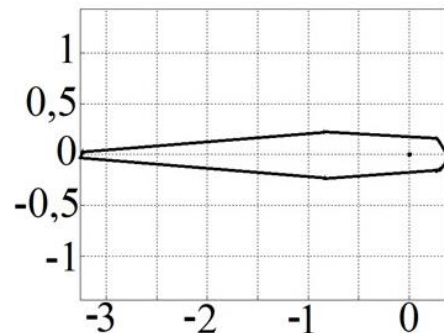
Рис. 2 – Система координат $O\xi_1\xi_2\xi_3$ и схема разбиения поперечного сечения балки на конечные элементы

Таблица 1 – Расчетные значения изгибающих моментов в различных поперечных сечениях балки

Сечение балки	L_x/L	$L_x, м$	Значение моментов, кН·м, при нагрузках	
			полных расчетных при $\gamma_f = 1$	полных расчетных при $\gamma_f > 1$
0 – 0	0,0085	0,17	59,980	76,959
1 – 1	0,03	0,6	207,104	265,729
2 – 2	0,059	1,16	395,128	506,975
3 – 3	0,167	3,29	990,051	1270,301
4 – 4	0,333	6,56	1580,761	2028,221
5 – 5	0,35	6,9	1619,115	2077,431
6 – 6	0,5	9,85	1779,247	2282,891



а)



б)

Рис. 3 – Предельные кривые: а) в плоскости $Q_{31}M_2$, б) в плоскости M_2M_3

На рис. 3б приведена предельная кривая в плоскости переменных M_2M_3 (косой изгиб, M_2 - горизонтальная ось). На этих рисунках силы – в МН, моменты- в МНм. Из соответствующей рис. 3а таблицы (которая здесь не приведена) следует, что предельная комбинация ВСФ имеет следующие значения: $N_1 = -0.0115$ МН; $Q_{21} = 0$ МН; $Q_{31} = 0$ МН; $M_1 = 0$ МНм; $M_2 = -3.2588$ МНм; $M_3 = -0.0316$ МНм; Здесь значения Q_{21} , Q_{31} , M_1 , M_3 незначительно отличаются от нуля, что связано с численным методом решения системы уравнений, аналогичной (11). Как видно из приведённых значений, коэффициент запаса по изгибающему моменту M_2 для сечения 6-6 (табл. 1) равен $3.2588/2,282891 \approx 1,428$. Отметим ещё раз, что уравнения (9) оценивают несущую способность рассматриваемой балки сверху. Следует также отметить, что предельное состояние балки по второй группе (по раскрытию трещин, по перемещениям) [13] нами в данной работе не исследовано.

Список литературы

1. *Ильюшин А.А.* Пластичность. М. – Л.: Гостеортехиздат, 1948. – 375 с.
2. *Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д., Салам А.* Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при внецентренном сжатии и изгибе // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1992. № 3. С. 9–17.
3. *Shen W.Q.* Interaction yield hypersurfaces for the plastic behaviour of beams. I. Combining bending, tension and shear. // *International Journal of Mechanical Sciences*. 1995. Vol. 37. N 3. P. 221–238.
4. *Shen W.Q.* Interaction yield hypersurfaces for the plastic behaviour of beams. II. Combining bending, tension, shear and torsion// *International Journal of Mechanical Sciences*. 1995. Vol. 37. N 3. P. 239–247.
5. *Мищенко А.В.* Предельное равновесие слоистых стержневых систем // *Доклады АН ВШ России*. 2004. № 2. С. 68–75.
6. *Сибгатуллин К.Э., Сибгатуллин Э.С.* Метод вычисления предельных сил и моментов для изотропных стержней произвольного поперечного сечения в общем случае их сложного сопротивления // *Известия вузов. Авиационная техника*. – Казань: Изд-во КГТУ, 2008. - №2. - С. 14-16.
7. *Сибгатуллин К.Э., Сибгатуллин Э.С.* Оценка прочности анизотропных брусьев произвольного поперечного сечения в общем случае их сложного сопротивления // *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*. – 2010. - №1. - С.84-92.
8. *Седов Л.И.* Механика сплошной среды. Т. I. М.: Наука, 1976. – 536 с.
9. *Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А.* Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
10. *Качанов Л.М.* Основы теории пластичности. – М.: Наука, 1969. – 420 с.
11. *Ляв А.* Математическая теория упругости. М.: Л.: Глав. ред. общетехн. лит-ры и номогр., 1935. – 674 с.
12. *Терегулов И.Г.* Сопротивление материалов и основы теории упругости и пластичности. М.: Высшая школа, 1984. – 472 с.
13. *Байков В.Н., Сигалов Э.Е.* Железобетонные конструкции: Общий курс. М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.05

Д.А. Пономарев, А.Б. Шеин д-р хим. наук, С.Н. Шуров д-р хим. наук

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
химический факультет,
кафедра физической химии,
Пермь, ashein@psu.ru

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ 2-АМИНО-1,3-ТИАЗОЛА И 2-АМИНО-1,3,4-ТИАДИАЗОЛА В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ КИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ

Показано, что 2-амино-1,3-тиазол значительно эффективнее замедляет коррозию стали в хлороводородной кислоте, чем 2-амино-1,3,4-тиадиазол. Для объяснения этого различия использованы квантово-химические методы расчета структуры исследуемых соединений, также определено изменение рН при реакции исследуемых соединений с эквивалентным количеством хлороводородной кислоты. Установлено, что в тиазольном кольце атом азота несет достаточно большой по модулю отрицательный заряд, в отличие от обоих атомов азота в тиадиазольном кольце, что повышает вероятность протонирования тиазольного кольца. В растворе хлороводородной кислоты поверхность металла адсорбирует хлорид-ионы и заряжается отрицательно, поэтому более протонированный ион с большим положительным зарядом лучше адсорбируется на поверхности металла и показывает больший защитный эффект.

Ключевые слова: 2-амино-1,3-тиазол, 2-амино-1,3,4-тиадиазол, коррозия, квантово-химические расчеты, электронная плотность, протонирование.

Введение

Амины являются распространенными ингибиторами коррозии металлов, благодаря образованию донорно-акцепторной связи между атомами азота и поверхностью металла. Представляет интерес исследовать в качестве ингибиторов соединения, содержащие атомы азота как в аминной группе, так и в заместителях при ней.

Ранее нами исследован ряд производных тиадиазола, а также тиазола в качестве ингибиторов коррозии в кислых средах [1,2]. Основными методами исследований эффективности потенциальных ингибиторов обычно являются гравиметрический метод определения скорости коррозии стальных образцов, метод поляризационных кривых, метод электрохимической импедансной спектроскопии.

Результаты и их обсуждение

Гравиметрический метод определения защитного действия ингибитора достаточно информативен, поскольку образцы выдерживаются в коррозионной среде длительное время (24 ч). В данной работе исследования проведены в растворе хлороводородной кислоты с концентрацией 5% и 20% (масс.), концентрация ингибитора в каждом растворе составляла 0.05 и 0.1 г/л.

Защитное действие ингибитора определяли по формуле:

$$Z, \% = \frac{(K_0 - K) \times 100}{K_0},$$

где K_0 - скорость коррозии без ингибитора, K - скорость коррозии с ингибитором, г/м²*ч.

Для гравиметрических испытаний образцы стали марки Ст3 состава, % мас.: Fe – 98,36; C – 0,2; Mn – 0,5; Si – 0,15; P – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,3; Ni – 0,2; Cu – 0,2 помещали в чистый раствор хлороводородной кислоты, а также с концентрацией ингибитора 0.05 и 0.1 г/л.

Результаты гравиметрического исследования защитного действия 2-аминотиазола и 2-амино-1,3,4-тиадиазола в среде хлороводородной кислоты с концентрацией 5% и 20% масс. представлены в таблице 1. Поскольку молекулярная масса соединений близка (100.14 г/моль для 2-амино-1,3-тиадиола и 101.13 г/моль для 2-амино-1,3,4-тиадиадиола), то можно считать, что при одинаковых весовых концентрациях (г/л), использованных при испытаниях, молярные концентрации ингибиторов тоже достаточно близки для сравнения ингибирующего эффекта двух молекул.

Таблица 1. Защитное действие ингибиторов, определенное гравиметрическим методом

Ингибитор	Концентрация кислоты, % масс.	Концентрация ингибитора в растворе кислоты, г/л	Z, %
2-амино-1,3-тиазол	5	0.05	52.4
		0.1	70.9
	20	0.05	35.3
		0.1	41.4
2-амино-1,3,4-тиадиазол	5	0.05	40.1
		0.1	46.2
	20	0.05	26.5
		0.1	32.1

Видно, что 2-аминотиазол во всех случаях показывает лучшее защитное действие, чем 2-амино-1,3,4-тиадиазол. Незначительное различие в строении вызывает существенное изменение защитного действия. Целью статьи является объяснение этого факта.

Разницу в защитном эффекте ингибиторов можно объяснить с помощью квантово-химических расчетов, для выполнения которых использован программный комплекс Firefly 820 [3]. Для поиска информации о геометрии молекул использована база данных PubChem [4,5].

Расчеты выполнены с использованием базиса 6-311G(d) по методу теории функционала плотности с функционалом B3LYP с полной оптимизацией геометрии молекулы. Гидратация молекул и ионов учтена с помощью сольватационной модели DPCM.

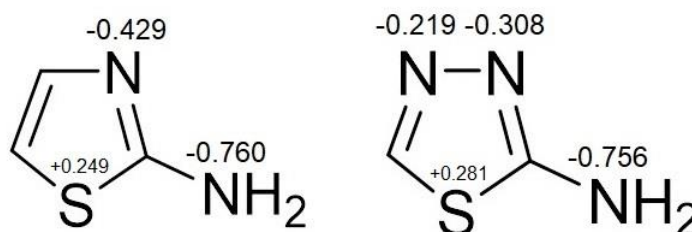
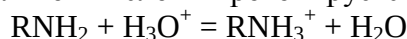


Рис. 1 Значения электронной плотности на атомах азота в молекулах ингибиторов

На рис.1 приведены значения электронной плотности (в долях заряда электрона) на атомах азота в рассматриваемых молекулах.

Молекула амина в растворе сильной кислоты протонируется по реакции:



Тиазольное и тиadiaзольное кольца в молекулах также могут протонироваться. Сам по себе 1,3-тиазол — более сильное основание, чем 1,3,4-тиадиазол. Согласно [6], показатель константы основности 1,3-тиадиола равен 11,47, показатель константы основности 1,3,4-тиадиадиола (по первой ступени) равен 14,9 [7]. Показатель константы основности 1,3,4-тиадиадиола по второй ступени неизвестен. Предполагается, что протонирование обоих атомов азота в тиadiaзольном кольце маловероятно [7].

Как видно из рисунка, атомы серы в обоих соединениях несут примерно одинаковый заряд. В тиазольном кольце заряд на атоме азота превышает по модулю заряд обоих атомов

азота тиадиазольного кольца. Достаточно большой отрицательный заряд атома азота говорит о том, что тиазольное кольцо более склонно к протонированию, чем тиадиазольное.

В растворе хлороводородной кислоты сталь насыщается хлорид-ионами и приобретает отрицательный заряд [8]. Это значит, что в среде хлороводородной кислоты будут эффективны ингибиторы, образующие положительно заряженные ионы. Многозарядный ион обеспечивает лучшую диффузию к поверхности металла и лучшую адсорбцию. Можно предположить, что 2-амино-1,3-тиазол более склонен к образованию двухзарядного иона (за счет протонирования аминогруппы и атома азота в кольце). Конечно, 2-амино-1,3,4-тиадиазол также может образовать многозарядный ион (двух- или трехзарядный). Но, учитывая более низкую электронную плотность на атомах азота в тиадиазольном кольце, можно предположить, что концентрация многозарядных ионов в случае 2-амино-1,3,4-тиадиазола будет ниже.

Для проверки этой гипотезы следует оценить константы основности аминогрупп и тиазольного/тиадиазольного колец.

Экспериментально оценить основность исследуемых соединений можно с помощью измерения pH. Для этого нужно сравнить, насколько данные соединения повышают pH раствора хлороводородной кислоты. Оценка основности ингибиторов проводилась по следующему алгоритму:

1. Приготовление раствора хлороводородной кислоты с концентрацией $1.2 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Такая концентрация выбрана в связи с удобством приготовления раствора и из соображений экономного расходования ингибитора. Кислота с концентрацией 37% (масс.) имеет молярную концентрацию 12.01 моль/л. 0.1 мл раствора концентрированной кислоты — объем, который легко отмерить с помощью пипетки, — содержит $1.2 \cdot 10^{-3}$ моль хлороводорода. Этот объем концентрированной кислоты добавляли в колбу объемом 1 л и доводили до метки дистиллированной водой. С помощью pH-метра Анион 4100 и электрода ЭСК-10601/7 определяли pH полученного раствора.

2. Добавление в раствор ингибитора в количестве, равном количеству кислоты. Для реакции ингибитора с 500 мл $1.2 \cdot 10^{-3}$ М раствора HCl нужно взять примерно 0.06 г ингибитора, такое количество, на наш взгляд, оптимально.

3. Измерение pH полученного раствора.

2-амино-1,3-тиазол растворяется в хлороводородной кислоте значительно быстрее, чем 2-амино-1,3,4-тиадиазол. Добавление эквивалентного количества 2-амино-1,3,4-тиадиазола к раствору $1.2 \cdot 10^{-3}$ М HCl повышает pH на 0.182 единицы, в то время как добавление эквивалентного количества 2-амино-1,3-тиазола к этому раствору повышает pH на 0.657 единиц. Это говорит о большей основности 2-амино-1,3-тиазола по сравнению с 2-амино-1,3,4-тиадиазолом. По данным расчетов электронной плотности, в обоих соединениях атомы азота аминогруппы имеют примерно одинаковый заряд, что говорит о близости констант основности аминогрупп [8]. Это дает возможность предположить, что разница в основности соединений обусловлена именно разной степенью протонирования тиазольного и тиадиазольного колец — тиазольное кольцо лучше протонируется, и 2-амино-1,3-тиазол с большей вероятностью образует двухзарядный ион, чем 2-амино-1,3,4-тиадиазол. Это значит, что 2-амино-1,3-тиазол лучше адсорбируется на поверхности стали, что и обуславливает его больший защитный эффект по сравнению с 2-амино-1,3,4-тиадиазолом.

Выводы

Таким образом, можно предположить, что тиазольное кольцо, введенное в молекулу ингибитора, обеспечивает лучшее защитное действие, чем тиадиазольное, что обуславливается лучшей диффузией ингибитора к поверхности металла. Однако это выполняется только для кислых коррозионных сред, в которых поверхность металла заряжается отрицательно. Практическая польза данного исследования состоит в том, что в уже исследованных производных 1,3,4-тиадиазола [1,2] можно заменить тиадиазольное кольцо на тиазольное, что может привести к росту защитного действия ингибиторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-43-590419).

Список литературы

1. *Шеин А.Б., Пантелеева В.В.* Исследование производных тиазола и тиадиазола в качестве ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали в соляной кислоте // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №11. С. 79-83.
2. *Пономарев Д.А., Плотникова М.Д., Шеин А.Б., Рубцов А.Е.* Исследование защитного действия производных тиазола и тиадиазола на малоуглеродистой стали в растворе соляной кислоты // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2018. Т.8. Вып.3. С.349-359.
3. *Alex A. Granovsky*, Firefly version 8.0.0, [www http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html](http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html)
4. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-aminothiazole> (дата обращения: 20.03.2019)
5. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Amino-1_3_4-thiadiazole (дата обращения: 20.03.2019)
6. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4425.html> (дата обращения 20.03.2019).
7. <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/thiadiazoles> (дата обращения: 20.03.2019)
8. *Иванов Е.С.* Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах. М: Металлургия, 1986. С.22, 46.

02.00.00

Н.А. Рогожников, Е.Н. Калмыкова д-р хим. наук

Липецкий государственный технический университет,
кафедра Химии,
ronikan@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОСОРБЕНТОВ

Проведена оценка сорбционной активности полисахарида гиалуроновой кислоты (гиалуронана) в отношении двухвалентных ионов тяжёлых металлов (Pb^{2+} , Cd^{2+}) методом пьезокварцевого микровзвешивания. Показано, что эффективность сорбции ионов свинца гиалуронаном в три раза выше, чем для ионов кадмия.

Ключевые слова: биосорбенты, гиалуроновая кислота, ионы тяжёлых металлов, пьезокварцевые сенсоры.

Использование биосорбентов различной природы (углеводы, белки, конъюгаты на их основе - гликолипиды, гликопротеины) для выведения ионов тяжелых металлов из организма в последнее время находит широкое применение в медицине поскольку, обладая высокими сорбционными свойствами, они не оказывают негативного влияния на организм.

Общий подход к определению сорбционной активности сорбента методами, традиционно используемыми для этой цели, предусматривает замеры исходной концентрации ионов металла в растворе и остаточной концентрации в растворе после добавления сорбента с последующим пересчетом количества сорбированного вещества на 1 г сорбента [1, 2]. При этом, проведение анализа осуществляется в несколько последовательных стадий:

- приготовление модельного раствора с известной концентрацией;
- внесение заданного количества биосорбента;
- экспозиция биосорбента в растворе при определённых условиях (скорость перемешивания, температура, pH) в течение фиксированного времени;
- удаление биосорбента из раствора;
- определение остаточного содержания ионов металлов в растворе.

Контроль остаточного содержания ионов металла в растворе может производиться различными методами, при этом наибольшее распространение получили: титриметрия [2], атомно-абсорбционная спектроскопия [3], инверсионная вольтамперометрия [4], атомно-эмиссионная спектрофотометрия [5].

Несмотря на широкое распространение и общепризнанность данного подхода при определении сорбционной активности нельзя не отметить следующие недостатки:

- многостадийность анализа;
- необходимость использования достаточно большого количества полисахарида (граммы) и продолжительность процесса сорбции ионов из раствора;
- длительность, трудоёмкость и необходимость использования дорогостоящего оборудования, а также высокие требования к квалификации персонала;
- косвенное определение количества сорбированного вещества по изменению его исходной концентрации.

Одним из перспективных методов определения сорбционной активности биосорбентов является гравиметрическое детектирование, которое позволяет значительно сократить время анализа (несколько минут) и использовать меньшее количество тестируемого образца (количество сорбента для анализа 0,5 - 1,0 миллиграмма). Кроме этого, поскольку определение массы сорбированного вещества осуществляется непосредственно по приращению массы гидрогеля на поверхности детектора, анализ производится одну стадию.

Пьезокварцевый биосенсор, как описано в целом ряде работ [6 - 8], представляет собой комбинированное устройство, состоящее из двух частей - биохимической (распознающий слой) и физической (регистратор сигнала). Аналитическим сигналом такого сенсора, служит изменение частоты колебаний пьезокварцевого резонатора (ΔF) при изменении массы биослоя [9].

В экспериментах использовали пьезокварцевые термостабильные резонаторы АТ-среза (10 МГц $\pm$ 1 Гц), с золотыми электродами диаметром 4 мм (ЗАО «ЭТНА, Россия), на поверхности которых закрепляли гиалуронан, выделенный из пупочных канатиков ($M=40-1000$ кДа, ООО НЛП «Жеспар-Биос», г.Уфа). Для получения тонкой пленки на поверхности электродов использовали водные растворы гиалуронана различных концентраций (0,1 – 2,0%). Закрепление молекул полисахарида на поверхности электрода осуществляли двумя методами: кросс-связыванием и ковалентной пришивкой [7].

Результаты влияния способа формирования рецепторного покрытия электрода на характеристики биосенсора представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Влияние способа формирования рецепторного покрытия электрода на характеристики биосенсора

Способ иммобилизации	C_{HA} , %	$m_{АПТЭС}$, мкг	m_{HA} , мкг	$m_{биос}$, мкг	S_m биослоя, Гц/мкг	Количество измерительных циклов
Кросс-связывание	0,1	-	-	3,39	37,39	5
	0,25	-	-	3,78	45,42	6
	0,5	-	-	4,11	60,51	7
	1,0	-	-	4,56	120,76	16
	2,0	-	-	5,03	145,48	21
Ковалентное закрепление	0,1	16,28	61,38	77,66	7,32	8
	0,25	16,32	109,02	125,34	12,89	11
	0,5	16,27	145,52	161,79	19,94	13
	1,0	16,29	182,27	198,56	20,86	17
	2,0	16,31	217,81	234,12	24,70	19

Установлено, что способ иммобилизации полисахарида существенным образом влияет на массу и чувствительность биослоя. Так при использовании 2 %-ых растворов полисахарида кросс-связывание позволяет получать более тонкие плёнки по сравнению ковалентной иммобилизацией (5,03 и 234,12 мкг соответственно) при сравнимом уровне устойчивости плёнок (21 и 19 соответственно).

Для исключения перегрузки сенсора во время измерений необходимо чтобы масса рецепторного слоя пьезокварцевого биосенсора была минимальна, поэтому дальнейшие измерения производили на сенсорах иммобилизованных кросс-связыванием с использованием 1 % раствора гиалуронана.

Сорбционную активность полисахарида оценивали по способности связывать ионы кадмия и свинца в модельных растворах $Cd(NO_3)_2$, $Pb(NO_3)_2$ с молярной концентрацией 0,03 моль/л, рис. 1.

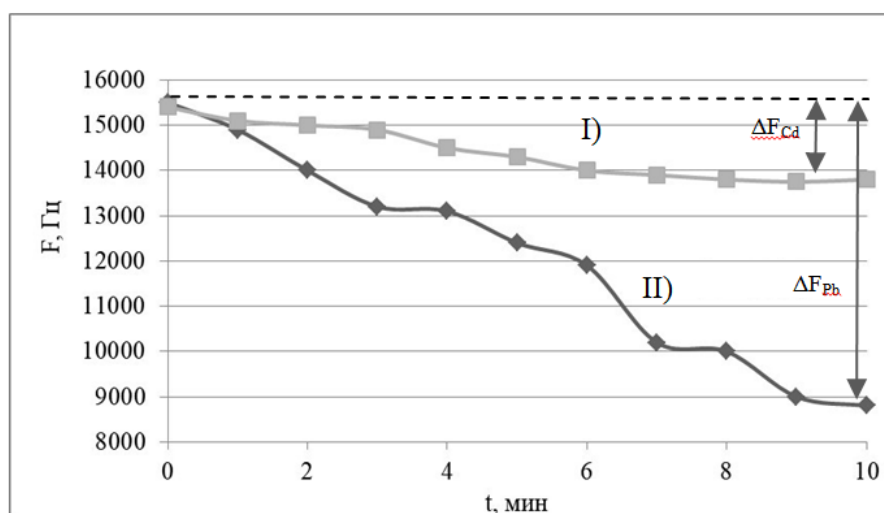


Рис. 1 - Зависимость аналитического сигнала сенсора от природы катиона (I – катионы кадмия, II – катионы свинца)

Максимальная величина аналитического сигнала сенсора наблюдается при сорбции ионов свинца ($\Delta F=5273$ Гц), для кадмия - значительно ниже ($\Delta F=1577$ Гц). Это может быть связано как с молекулярной массой иона (свинец - $M=207,19$ г/моль, кадмий - $M=112,40$ г/моль), так и с его радиусом (120 пм и 97 пм соответственно).

Установлен линейный диапазон определяемых концентраций для катионов свинца (Pb^{2+}) и кадмия (Cd^{2+}), составляющий 0,16-10,00 мкг/мл и 0,32-16,00 мкг/мл соответственно [8].

На основании полученных данных с учетом уравнения Зауэрбрея [9] произведён расчет массы сорбированных ионов свинца и кадмия и определена сорбционная активность гиалуронана в тонкой плёнке, табл. 2.

Таблица 2. Сорбционная активность гиалуронана по отношению к ионам свинца и кадмия.

Определяемые ионы	$m_{\text{биослой}}$, МКГ	$m_{\text{сорб ионы}}$, МКГ	Сорбционная ёмкость, мкг металла/мкг пленки
Pb^{2+}	4,56	1,19	0,26
Cd^{2+}		0,36	0,08

Как видно из полученных данных, гиалуронан в три раза более активно сорбирует ионы свинца (0,26 мкг на мкг пленки), что может быть обусловлено более высокой массой иона. Расчет числа моль каждого иона указывает на их близкие значения (0,005 и 0,003), однако, более крупные ионы свинца, вероятно, взаимодействуют с большим числом активных центров макромолекул полисахарида.

В результате проведенного исследования показана возможность оценки сорбционной активности гиалуронана по отношению к ионам свинца и кадмия методом пьезокварцевого детектирования.

Показано, что более простым и эффективным способом получения рецепторных пленок на поверхности пьезокварцевого резонатора является кросс-связывание с использованием глутарового альдегида.

Изучено влияние различных факторов (масса и метод формирования пленки, концентрация полисахарида при получении оптимального по чувствительности тонкого слоя) для быстрого (не более 10 минут) определения активности биосорбента.

Исследовано влияние концентрации водного раствора полисахарида на качество рецепторного покрытия электрода пьезокварцевого сенсора. Показано, что наиболее активные и устойчивые пленки получены при использовании концентрации гликана, соответствующей 1%.

Для оценки активности полисахаридных биосорбентов в отношении ионов тяжёлых металлов (Pb^{2+} , Cd^{2+}) предложен гравиметрический метод, который позволяет с высокой чувствительностью (на уровне мкг) осуществлять определение сорбционной активности в одну стадию, а также значительно сократить время анализа и расход полисахарида.

Список литературы

1. Мыкоц Л.П., Романцова Н.А., Гущина А.В. Изучение сорбционной способности пектина, выделенного из плодов калины обыкновенной, по отношению к ионам свинца // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 3 (1) – С. 197-200.
2. Хотимченко М.Ю., Ленская К.В., Петракова М.Ю., Хотимченко Ю.С., Ковалёв В.В. Ртутьсвязывающая активность пектина, выделенного из морской травы *Zostera Marina* // *Биология моря*. – 2006. – Т.32 – № 3 – С. 376-370.
3. Тунакова Ю.А., Файзуллина Р.А., Шмакова Ю.А. Использование модельных растворов для оценки Сорбционной емкости биополимерных сорбентов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2011. – № 5 – С. 57-61.
4. Первова И.Г., Маслакова Т.И., Скорых Т.В., Мельник Т.А., Липунов И.Н. Сорбционно-аналитические свойства минеральных сорбентов с иммобилизованными гетарилформазановыми группировками // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2009. – Т. 9 (3) – С. 383-390.
5. Большаков А.А., Ганеев А.А., Немец В.М. Перспективы аналитической атомной спектроскопии // *Успехи химии*. – 2006. – Т. 75. - №4 – С. 322-338.
6. Тёрнер Э., Карубе И. Биосенсоры: основы и приложения // М.: Мир. - 1992.
7. Калмыкова Е.Н. Пьезокварцевые углеводные биосенсоры// *Материалы 18-го Европейского симпозиума (18 European Carbohydrate Symposium "EUROCARB-2015, 2-6- of August, Moscow. 2015, Russia". P-091).*
8. Калмыкова Е.Н., Пушилина М.Ю., Изучение сорбции ионов тяжелых металлов гиалуроновой кислотой с помощью пьезокварцевого сенсора // *Научно-практическая конференция, посвященная 10-летию создания Учебно-научного центра «Физико-химическая биология» в республике Коми, 7-9 октября 2009 г., Сыктывкар, С. 49-50.*
9. Sauerbrey G. Verwendung von Schwingquarzen für Wägung Dünner Schichten und für Mikrowägung // *Z. Physik*. – 1959 – V. 155 – P. 206–222.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.22

А.П. Буйносов д-р техн. наук, А.Р. Динисламов

Уральский государственный университет путей сообщения,
Кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, al.dinislamov@gmail.com

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ГЛУБИНЫ
ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВОВ**

Исследуются вопросы выбора наилучшего материала для призмы пьезоэлектрического преобразователя для разработанного ультразвукового метода контроля глубины поверхностной закалки деталей механической части локомотивов.

Ключевые слова: локомотив, механическая часть, деталь, закалка, глубина, метод, неразрушающий контроль, совершенствование.

Высокая конкуренция в транспортном секторе диктует обновленные нормы скоростей перевозки и безотказности в эксплуатации локомотивов. При этом диагностические параметры одних из самых динамически нагружаемых поверхностно закаленных деталей механической части – не контролируются или контролируются устаревшими разрушающими методами. Для решения этой проблемы, нами был разработан неразрушающий ультразвуковой метод контроля глубины термоупрочненного профиля поверхностно закаленных деталей механической части локомотивов [1]. Амплитуда сигналов рассеяния вплотную приближается к максимальной чувствительности приемника стандартного дефектоскопа, таким образом полезный сигнал рассеяния может не разрешаться с электрическими и структурными шумами на А-скане. Чтобы увеличить соотношение «сигнал/шум» необходимо: применить методы коррекции сигналов и аппаратной коррекции сигналов [2]; уменьшить потери ультразвуковой энергии в системе «пьезоэлектрический преобразователь – объект контроля» («ПЭП–ОК»).

Ультразвуковая энергия излучается пьезопластиной в призму. В призме возбуждается продольная ультразвуковая волна. Волна распространяется до границы призмы – тонкий слой контактной жидкости – металл, частично затухнув. Далее, на границе часть энергии отразится обратно в призму, а остальная ультразвуковая энергия уйдет в слой контактной жидкости и далее в объект контроля. Следовательно, для того чтобы максимальное количество энергии перешло из преобразователя в «ОК» необходимо выполнение следующих условий: 1) затухание ультразвуковой волны в призме должно быть минимальным; 2) коэффициент прозрачности по энергии на границе «призма – контактная жидкость – металл» должен быть максимальным.

Добиться этого можно выбором наилучшего материала для призмы ультразвукового датчика. Ослабление ультразвуковой волны происходит за счет расхождения пучка, а также за счет затухания волны в среде распространения. Расхождение пучка оказывает сильное негативное влияние на амплитуду сигналов только на расстоянии больше зоны Френеля $x > N$, которая определяется как:

$$N = \frac{d^2}{4 \cdot \lambda}, \quad (1)$$

где d – диаметр пьезопластины, λ – длина волны в призме.

Для частоты $f = 15$ МГц и $d = 6$ мм [3], получаем для оргстекла $N = 50$ мм. Что больше пути ультразвуковой волны в призме. То есть $x < N$, волна распространяющаяся в пределах зоны Френеля, следовательно, волна плоская. Таким образом расхождением ультразвукового пучка можно пренебречь.

Затухание ультразвуковой волны в среде описывается коэффициентом затухания δ , он показывает на каком расстоянии x от излучателя начальное акустическое давление p_0 ослабнет в e раз [4]:

$$p = p_0 \cdot e^{-\delta x} \quad (2)$$

Коэффициент затухание ультразвука δ складывается из двух составляющих:

$$\delta = \delta_n + \delta_p, \quad (3)$$

где δ_n – коэффициент поглощения, δ_p – коэффициент рассеяния.

В качестве материала для призмы в основном используют различные пластики, они обладают микрогетерофазной структурой, т. е. образованной частицами и агрегациями микродисперсной фазы, распределенными в однородной дисперсионной среде. Даже для достаточно высоких частот выполняется условие:

$$\lambda \ll D_n, \quad (4)$$

где D_n – средний размер частиц микродисперсной фазы.

Для оргстекла $D_n = 0,1\text{--}2,5$ мкм [4], что на три порядка меньше длины волны частотой 15 МГц. Таким образом, эффектом рассеяния в призме, так же можно пренебречь. Поглощение представляет собой непосредственное преобразование ультразвуковой энергии в тепло. В нашем случае, основной вклад в затухание оказывает поглощение ультразвуковой энергии средой.

Определим, какая часть ультразвуковой энергии попадает из призмы в объект контроля. На рис. 1 схематично изображен процесс отражения и прохождения ультразвуковой волны на границе «призма – объект контроля».

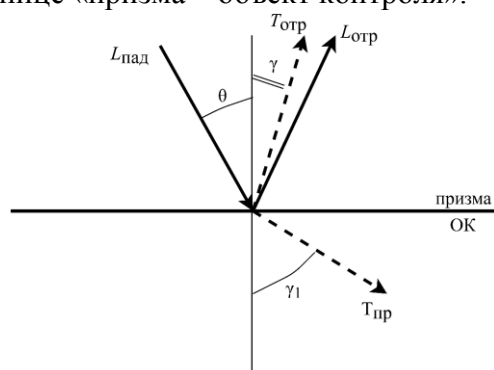


Рис. 1. Схема падения линейно поляризованной волны на границу двух сред

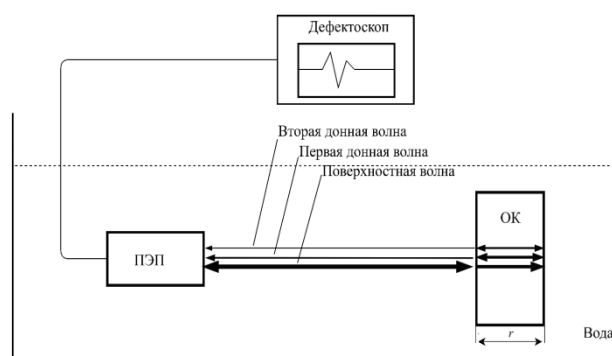


Рис. 2. Принципиальная схема измерения коэффициента поглощения

Линейно-поляризованная волна ($L_{пад}$) падает на границу раздела сред. Далее часть волны отражается от поверхности, преобразовываясь при этом в отраженную линейно-поляризованную волну ($L_{отр}$) и поперечно-поляризованную волну ($T_{отр}$). Остальная энергия проходит через границу, преобразовываясь в поперечно-поляризованную прошедшую волну ($T_{пр}$). Линейно-поляризованная волна в объекте контроля ($L_{пр}$) не возбуждается, так как волна $L_{пад}$ падает между первым и вторым критическими углами.

В нашем случае угол преломления γ_1 определен [5] и составляет 45° . Углы θ и γ определяются из соотношения Снелиуса. Характеристики упругих сред, призмы и объекта контроля: ρ и ρ_1 – плотности сред; k , κ , k_1 , κ_1 – волновые числа продольных и поперечных волн; c , b , c_1 , b_1 – скорости продольных и поперечных волн, соответственно. Тогда коэффициент прозрачности по энергии E_{lt} (или коэффициент трансформации по энергии) для поперечно-поляризованной волны в валике рессорного подвешивания $T_{пр}$ определяется как [6]:

$$E_{lt} = \frac{\rho_1 \cdot \operatorname{tg} \theta}{\rho \cdot \operatorname{tg} \gamma_1} \cdot |W_{lt}|^2, \quad (5)$$

где W_{lt} – коэффициент прозрачности по амплитуде.

Экспериментальные исследования проводились на установке «Эталон». Образец помещался в иммерсионную ванну и измерялось относительное падение амплитуды между первым и вторым донными сигналами. Принципиальная схема измерений изображена на рис. 2.

ПЭП и образец толщиной r помещаются в иммерсионную ванну с водой. Пьезоэлектрический преобразователь излучает ультразвуковую волну в иммерсионную среду [5]. Достигнув объекта контроля волна частично отражается от лицевой поверхности ОК и попадает обратно на ПЭП (поверхностный сигнал), частично проникает в ОК. Далее волна распространяется в ОК и достигнув донной поверхности отражается от нее. Достигнув лицевой поверхности, ультразвуковая волна частично проходит сквозь нее в иммерсионную среду и далее на ПЭП (первый донный сигнал, A_I), частично отражается от нее и движется к донной поверхности [6]. Далее опять происходит отражение от донной поверхности и на ПЭП попадает второй донный сигнал A_{II} . Коэффициент поглощения (затухания) вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{A_I - A_{II}}{2 \cdot r}. \quad (6)$$

В качестве образцов использовались следующие пластики: кристаллический полистирол, оргстекло, оргстекло марки «plexiglass», полиацеталь, ЭД-20 [11]. Результаты представлены в таблице.

Таблица

Результаты измерений коэффициентов поглощения
и прозрачности для различных материалов

Материал	Коэффициент поглощения, δ , дБ/мм	Коэффициент прозрачности по энергии, E_{lt} , %
полистирол	0,324	20,6
оргстекло	1,411	22,6
plexiglass	1,253	21,6
полиацеталь	—	26,7
ЭД-20	—	24,5

Для образцов, выполненных из полиацетала и ЭД-20 не определен коэффициент поглощения, так как не удалось измерить второй донный сигнал, в виду большого затухания в этих материалах. Минимальное значение коэффициента поглощения равно 0,324 дБ/мм соответствует кристаллическому полистиролу. Что касается коэффициента прозрачности по энергии, то максимальное значение 26,7 % соответствует полиацеталу. Минимальное значение 20,6 % характеризует полистирол. В данном случае ввиду небольшого различия по коэффициенту прозрачности и значительному различию в коэффициенте поглощения, в качестве призмы ПЭП предпочтительно использовать полистирол.

В результате выполненного исследования определен наилучший материал для призмы пьезоэлектрического преобразователя. Приведены результаты измерения коэффициентов затухания ультразвука и коэффициентов прозрачности по энергии для различных материалов ПЭП. Минимальное затухание $\delta = 0,324$ дБ/мм на частоте 15 МГц наблюдается в кристаллическом полистироле, этому же образцу соответствует минимальный коэффициент прозрачности $E_{lt} = 20,6$ %. Из-за незначительной разницы между коэффициентами прозрачности (максимальный 26,7 %) и значительной разницы в затухании, в качестве наилучшего материала призмы ПЭП выбран кристаллический полистирол.

Список литературы

1. Буйносов А.П., Динисламов А.Р. Выбор метода неразрушающего контроля термоупрочненных деталей механической части электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 1. С. 50-52.
2. Наговицын В.С., Буйносов А.П. Структурная классификация технических средств диагностики тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 326-329.
3. Буйносов А.П., Волков Д.В., Динисламов А.Р. Ультразвуковой неразрушающий метод контроля глубины поверхностной закалки деталей механической части подвижного состава // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2018. № 1. С. 104-108.
4. Буйносов А.П., Динисламов А.Р. Уменьшение погрешности измерения глубины поверхностного термоупрочнения деталей локомотивов неразрушающим ультразвуковым способом // Транспорт Урала. 2018. № 2(57). С. 69-72.
5. Буйносов А.П., Динисламов А.Р. Уменьшения погрешности измерения глубины поверхностного термоупрочнения деталей локомотивов неразрушающим ультразвуковым методом // Вестник транспорта Поволжья. 2018. № 1. С. 7-11.
6. Буйносов А.П., Динисламов А.Р. Неразрушающий контроль деталей механической части локомотивов на примере валика рессорного подвешивания ТЭМ2У.35.30.102-0 // Наука и образование транспорту. 2018. № 1. С. 11-13.

05.02.10

¹С.А. Вологжанина д-р техн. наук, А.Ф. Иголкин канд. техн. наук, ²А.А. Перегудов

Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной техники и энергетики,
Санкт-Петербург, ¹vologjanina@corp.ifmo.ru, ²mikki435@gmail.com

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 30ХМА

В работе приведены данные испытаний на ударный изгиб образцов сварных соединений из стали 30ХМА в интервале температур от +20 до +250 °С. Показано, что применение сварных соединений из этой стали при динамическом нагружении следует ограничивать при температурах, близких к 100 °С.

Ключевые слова: сварные соединения, сталь 30ХМА, работоспособность.

Разрушение крупногабаритных конструкций зачастую проходит по сварным швам, которые могут стать инициаторами хрупких трещин. В таких изделиях наличие самой зоны сварного шва и зон термического влияния сказывается на склонность к хрупкому разрушению значительно сильнее, чем неравномерность структуры свариваемого материала, получаемой в результате неполной прокаливаемости [1, 2].

Если при исследованиях на склонность к хрупким разрушениям конструкционных материалов изучается влияние формы и глубины надреза и имеются многочисленные данные о влиянии масштабного фактора на результаты испытаний [3-5], то при испытаниях сварных соединений этим факторам уделяется незаслуженно малое внимание. В справочной литературе либо не приводится информация, либо крайне мало сведений о свойствах материала в зоне сварных соединений.

Изложенное послужило основанием проведения исследования влияния высоких температур и величины сечения на склонность к хрупким разрушениям сварных соединений, полученных на стали 30ХМА методом ручной аргоно-дуговой сварки.

Сталь 30ХМА применяется для изготовления валов, труб и деталей паропроводов, фланцев паровых турбин, эксплуатируемых при температурах до +450 °С [4, 5]. Поэтому важно иметь информацию о поведении сварных соединений из этой стали при повышенных температурах.

Исследованная сталь имеет следующий химический состав, мас. %: 0.29 С; 0.27 Si; 0.6 Mn; 0.95 Cr; 0.22 Mo; 0.02 S; 0.02 P; 0.2 Cu. Для получения сварных образцов использовали половинки ударных образцов сечением 10×10 и 30×30 мм. Сварка производилась «пакетом» попеременно с двух сторон способом ручной дуговой сварки. Предварительно производилась Х-образная разделка кромок на свариваемых элементах образцов. При сварке использовали присадочную проволоку марки Св-10ХМФТ Ø 1,6 мм для образцов сечением 10×10 и Ø 3 мм для образцов сечением 30×30 мм. Для образцов сечением 10×10 мм при сварке корневые проходы осуществляли при величине тока в диапазоне 120...160 А, остальные – при величине тока 160 А. Для образцов сечением 30×30 мм сварку корневых проходов осуществляли при величине тока в диапазоне 120...160 А, остальные – при величине тока 240 А.

После сварки для снятия остаточных внутренних напряжений заготовки подвергали отжигу при 650 °С. Затем образцы проходили механическую обработку в зоне шва, после чего в области шва прорезали V-образные надрезы с надрезом поверхности, параллельной поверхности контролируемого сварного соединения. Испытания образцов на динамический изгиб основного металла производили в соответствии [6], а образцов сварных соединений – в соответствии с [7]. Испытания проводили в диапазоне температур $T_{исп}$ от +20 до +250 °С. На

одну точку испытывали 3 образца. В ходе испытаний определяли значения ударной вязкости KCV. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица – Результаты испытаний на ударный изгиб образцов из стали 30ХМА

Размер сечения, мм	$T_{\text{исп}},$ °C	KCV, Дж/см ²	
		зона сварного шва	основной металл*
10×10	+20	36	120
	+60	46	126
	+100	96	156
	+140	154	184
	+200	162	232
	+250	165	236
30×30	+20	22	85
	+60	36	94
	+100	46	114
	+140	75	130
	+200	118	189
	+250	123	198

* Свойства основного металла после закалки 880 °C в масло и отпуска 540 °C.

Полученные данные показывают, что основной металл обладает высоким запасом вязкости при разных сечениях образцов. Это подтверждают результаты фрактографических исследований – доля вязкой составляющей в изломе образцов основного металла при всех исследованных температурах составляет 85-100 %.

Испытания сварных соединений на образцах с острым надрезом показали, что в них проявляется хрупкость в области сварного шва. Несмотря на то, что при повышении температуры испытания значения ударной вязкости возрастают как для сечения 10×10 мм, так и для 30×30 мм, возможен переход материала шва в хрупкое состояние.

Сравнение результатов испытаний сварных образцов 10×10 и 30×30 мм показало, что увеличение сечения приводит к некоторому снижению значений ударной вязкости. Вместе с тем, образцы большего сечения имеют и более высокую температуру перехода в хрупкое состояние: +112 °C для образцов 30×30 мм, а для образцов 10×10 мм она составила +72 °C. Причиной такого различия могут служить стеснение деформации в зоне шва и неоднородность его макро-и микроструктуры. Полученные данные показывают, что очень пластичный и вязкий материал может давать хрупкое разрушение в сварных соединениях.

Учитывая температуру применения этой стали до +450 °C, следует ограничивать применение сварных соединений из этой стали при динамическом нагружении уже при температурах, близких к 100 °C.

Список литературы

1. Введение в основы сварки /В.И. Васильев, Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 317 с.
2. Структура и свойства сварных соединений трубопроводов (справочные материалы). – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2010. – 88 с.
3. Солнцев Ю.П. Материаловедение специальных отраслей машиностроения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Солнцев Ю.П., Пирайнен В.Ю., Вологжанина С.А.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: ХИМИЗДАТ, 2016.— 784 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49796.html>.
4. Марочник сталей и сплавов / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко - М.: Машиностроение, 2016. – 1216 с.
5. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. /В.Г. Сорокин и др. Науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев, - М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 608 с.
6. ГОСТ Р ИСО 9016-2011 Испытания разрушающие сварных швов металлических материалов. Испытание на ударный изгиб. Расположение образца для испытания, ориентация надреза и испытание. <http://docs.cntd.ru/document/1200088811/>.
7. ГОСТ Р ИСО 148-1-2013 Материалы металлические. Испытание на ударный изгиб на маятниковом копре по Шарпи. Часть 1. Метод испытания. <http://docs.cntd.ru/document/1200108014>.

05.02.08

А.В. Завьялов, О.Е. Замураев, Ю.А. Орлов

Снежинский физико-технический институт
 филиал Национального Исследовательского Ядерного Университета
 Московский Инженерно-физический институт (МИФИ),
 кафедра технологии машиностроения,
 Снежинск, zavialov174@yandex.ru, zamuraev174@yandex.ru, orlovua174@yandex.ru

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В работе представлены теоретические и практические результаты по управлению режимами резания при растачивании отверстий на станках с ЧПУ. Особое внимание уделено многопроходной обработке. Для которой описывается методика нахождения оптимального плана обработки по критерию максимальной производительности.

Ключевые слова: станки с ЧПУ, растачивание отверстий, многопроходная обработка, оптимальные режимы резания.

Введение

Одним из основных средств автоматизации операций растачивания являются станки с ЧПУ. Очень часто при этом припуск на обработку изменяется вдоль контура обрабатываемой детали в широких пределах. В свою очередь, колебание припуска приводит к значительному колебанию силы резания и как следствие к возникновению дополнительной погрешности обработки [1].

При этом, от технолога требуется не только рассчитать траекторию движения инструмента, но и произвести адаптацию режимов и других факторов процесса резания к состоянию конкретной технологической системы.

Таким образом, назначаемые технологом режимы резания оказываются существенно зависимыми от его субъективных решений и требуют в дальнейшем многократных корректировок. Поэтому целью работы является разработка расчетных методик по выбору числа технологических переходов, глубин резания и подач для обеспечения точности и производительности растачивания отверстий на станках с ЧПУ.

Исследования показывают, что одной из доминирующих составляющих погрешности обработки на операциях растачивания являются погрешности от упругих деформаций элементов технологической системы [2].

Стабилизация упругих деформаций технологической системы для одного перехода легко реализуется на станке с ЧПУ путем управления силой резания за счет изменения подачи. Поэтому, на основе аналитических зависимостей на силы резания [3] разработана математическая модель управления подачей, функционально связывающая силы резания, жесткость технологической системы и погрешности обработки от колебаний её упругих деформаций.

$$S = \frac{\frac{K_y \cdot \delta \cdot \sin \omega_\phi}{a_i} - \left(\frac{K_{S1} \cdot K_{R1} \cdot \tau_{P \max}}{j_{\min}} l_{3 \max} - \frac{K_{S2} \cdot K_{R2} \cdot \tau_{P \min}}{j_{\max}} l_{3 \min} \right)}{\frac{\tau_{P \max}}{j_{\min}} K_{S1} \cdot K_{R1} - \frac{\tau_{P \min}}{j_{\max}} K_{S2} \cdot K_{R2}}, \quad (1)$$

где: K_y - коэффициент, учитывающий долю упругих деформаций в суммарной погрешности обработки; δ - допуск на выполняемый размер;

$\tau_{P \max}$, $\tau_{P \min}$ - предельные в партии деталей значения величины касательного напряжения в

условной плоскости сдвига; $l_{3\min}$ $l_{3\max}$ - фаска износа по задней поверхности соответственно острозаточенной и предельно изношенного инструмента; $j_{\min}$, $j_{\max}$ - минимальная и максимальная жесткость технологической системы в плоскости получаемых размеров; K_S, K_3, K_R - коэффициенты, учитывающие влияние на погрешность обработки площадки износа по задней поверхности инструмента и радиуса обрабатываемого участка контура (с индексом 1 - для участков детали с максимальным припуском, 2 - для участков детали с минимальным припуском).

Для проверки адекватности данной модели был проведён статистический анализ точности растачивания отверстий с данными подачами нескольких партий деталей на станке с ЧПУ модели 16К20Ф3 в условиях действующего производства. Результаты анализа показали, что полученная модель, верно, отражает влияние технологических параметров процесса механической обработки на разброс размеров в партии обрабатываемых деталей (расхождение действительных размеров и теоретически рассчитанных значений не превышало 10 – 15 %).

В случае обработки отверстия за несколько технологических переходов возникает задача выбора оптимального их количества переходов и распределения припуска по переходам. При решении этой задачи кроме ограничений по точности и шероховатости необходимо учитывать дополнительный комплекс ограничений, накладываемых на режимы резания технологической системой. К ним относятся ограничения по прочности механизма подачи станка, по мощности привода главного движения и другие. Ограничения, учитывающие возникающие силовые нагрузки, рассчитывались также с использованием аналитических силовых зависимостей.

В машиностроении наиболее полным критерием оптимальности при определении режимов резания является себестоимость технологической операции. К её снижению приводит, в частности, повышение производительности обработки, в том числе за счет уменьшения основного времени. Поэтому, в качестве функции цели принималось уравнение по определению основного времени T_o [4]:

$$T_o = \frac{L}{n_k \cdot S_{OK}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где k - номер перехода; n_k - частота вращения шпинделя; S_{OK} - подача на оборот.

Таким образом, задача выбора оптимального количества переходов, глубин резания и подач сводится к дискретной задаче отыскания кратчайшего по времени пути из начальной вершины графа, определяющей точность заготовки, в конечную вершину, определяющую точность готовой детали.

Поставленная оптимизационная задача была решена с использованием метода динамического программирования [5]: Функциональное уравнение динамического программирования имеет вид:

$$T_{i,j} = \min(T_{l,k} + \tau_{l,k}^{i,j}), T_{N,M} = 0, \quad (3)$$

где $T_{i,j}$ - время кратчайшего пути из начальной вершины графа с координатами N, M в вершину с координатами i, j , $\tau_{l,k}^{i,j}$ - время пути из вершины с координатами l, k в вершину с координатами i, j .

Компьютерное моделирование процесса формирования точности обработки детали при одном, двух, трёх, и т. д. числе переходов в условиях выполнения операции на одном станке, одним и тем же инструментом показывают, что заданная точность обработки может быть получена, либо путём обработки на малых минутных подачах за один переход, либо путём (постепенного) многократного уточнения за несколько переходов.

При этом на каждом из переходов используются более высокие минутные подачи, поэтому значение функции цели времени работы станка по программе будет часто меньше, чем за один переход. То есть при определённых условиях всегда можно найти оптимальное, по заданному критерию, количество переходов, при которых заданное значение функции цели будет минимальным.

Разработанная методика назначения количества переходов, глубин резания и управления подачей на каждом переходе, позволяющая обеспечить требуемую точность обработки при минимальных затратах основного времени, может быть использована в качестве блока САПР по расчету режимов резания операций растачивания, а также непосредственно введена в программу управления современным станком с ЧПУ.

Таким образом, в результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований впервые разработана научно обоснованная методика комплексного определения количества переходов, глубины резания и подачи для широкого диапазона варьирования переменных условий процесса растачивания. Получены расчетные методики и математические модели для определения оптимального количества переходов, глубины резания и управления подачей с целью повышения точности и производительности обработки.

Список литературы

1. *Ткаченко Б.О., Баланюк А.В.* Экспериментальные исследования колебаний и точности обработки при тонком растачивании // *Современные технологии в машиностроении: сб. науч. тр.* – Харьков: НТУ "ХПИ", 2018. – Вып. 13.- С. 111-124.
2. *Леонов С.Л., Шаяхметов Е.Я.* Влияние деформаций, износа инструмента и вибраций на шероховатость при растачивании // *Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LXI междунар. науч.-практ. конф. № 8(56).* – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 82-88.
3. *Розенберг Ю.А., Тахман С.И.* Силы резания и методы их определения. Расчет сил резания при различных видах обработки. Учебное пособие. – Курган: КМИ, 1995. - 104с.
4. *Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В.* Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 2005. - 368с.
5. *Черепашков А.А.* Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении. Учебник для вузов. - Волгоград: – ИН-ФОЛИО, 2009. - 640с.

05.02.08

О.Е. Замураев, А.В. Завьялов, Ю.А. Орлов

Снежинский физико-технический институт
филиал Национального Исследовательского Ядерного Университета
Московский Инженерно-физический институт (МИФИ),
кафедра технологии машиностроения,
Снежинск, zavialov174@yandex.ru, zamuraev174@yandex.ru, orlovua174@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

В работе представлены результаты решения задачи повышения производительности высокоскоростного фрезерования закаленной стали, путем оптимизации глубины резания, подачи и скорости резания.

Ключевые слова: *станки с ЧПУ, высокоскоростная обработка, фрезерование, закаленные стали, режимы резания, оптимизация.*

Высокоскоростная обработка (ВСО) имеет достаточно широкое применение в различных отраслях машиностроения. Но при этом, достаточно затруднительно получить поверхность с заданными параметрами точности обработки и качества поверхностного слоя при обеспечении максимально возможной производительности. Так как отсутствуют расчетные методики определения режимов резания, которые позволили обеспечить вышеуказанные параметры для условий ВСО [1], [2].

Сами режимы резания для высокоскоростной обработки представлены в некоторых нормативных справочниках широко известных зарубежных фирм, занимающихся изготовлением режущего инструмента для станков с ЧПУ. Но подача и скорость резания в них представлены диапазоном, например, подача 0.05 – 0.2 мм/об. Поэтому при разработке управляющей программы технологу приходится принимать решение на основе собственного опыта и интуиции, либо затрачивать значительное время на отладку режимов резания для обеспечения точности и качества обработки.

В настоящее время существуют модели и методики для расчета отдельных параметров, таких как шероховатость, микротвердость и др. Но все они выведены, как правило, для традиционных методов лезвийной обработки и не учитывают весь комплекс свойств, характеризующих состояние поверхности детали, ее точность.

ВСО закаленных сталей характеризуется жесткими условиями локального термопластического сдвига. Это требует разработки научно обоснованных методик расчета режимов резания, которые бы обеспечивали точность поверхности и качество поверхностного слоя с заданными величинами остаточных напряжений, шероховатости, микротвердости, структурно-фазового состава и неоднородности свойств.

Предлагается осуществлять расчет режимов резания на основе оптимизации технологических параметров: глубины резания, подачи и скорости резания.

Как известно технологический процесс считается оптимальным, если обеспечивается заданное значение функции цели, при выполнении системы ограничений, накладываемых условиями обработки.

В качестве функции цели, как правило, используется технологическая себестоимость изготовления детали, либо ее частные показатели: максимальная производительность процесса обработки, минимальные затраты на режущий инструмент и др.

Для решения задачи математической оптимизации все ее составные части представляют в математической форме. При этом критерий оптимальности выражается как функция от оптимизируемых параметров.

Математическая формулировка задачи оптимизации заключается в том, что необходимо найти вектор оптимизируемых параметров, который бы обеспечивал экстремум функции цели, при соблюдении системы ограничений.

Для высокоскоростной обработки наиболее сложным является нахождение системы ограничений, которые характеризуют конкретные условия обработки детали. В основном данные ограничения можно описать в виде эмпирических формул, полученных для конкретных условий обработки.

Например, для условий высокоскоростной обработки закаленной стали такими ограничениями являются следующие:

- ограничение по режущей способности инструмента;
- ограничение по шероховатости обработанной поверхности;
- ограничение по точности обработки;
- ограничение по жесткости режущего инструмента;
- ограничение по жесткости обрабатываемой детали;
- технологические ограничения, связанные с кинематическими возможностями используемого станка.

Тем не менее, условия высокоскоростной обработки закаленных сталей характеризуются тем, что дополнительные требования предъявляются к качеству поверхностного слоя, связанного с глубиной и степенью упрочнения обрабатываемого материала, величиной и глубиной остаточных напряжений, структурно-фазовым составом поверхностного слоя. Для их установления была использована методика, изложенная в работе [3]. В результате были получены дополнительные технологические ограничения. В частности, для высокоскоростного фрезерования концевой фрезой диаметром 30 миллиметров закалённой стали ХВГ:

- ограничение по остаточным напряжениям, связанное с возникновением микротрещин:
$$-220 \leq f_{ост}(t, s, V) \leq -130 (\text{МПа}) \quad (1)$$

- ограничение по величине наклепа поверхностного слоя имеет следующий вид:
$$40 \leq f_{накл}(t, s, V) \leq 63 (\text{МПа}) \quad (2)$$

- ограничение по структурно-фазовому составу поверхностного слоя, связанное с недопустимостью изменения структуры металла:

$$f_{cmp}(t, s, V) \leq 250^\circ (\text{C}) \quad (3)$$

Практически все из вышеуказанных ограничений можно описать в виде линейной функции вида:

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + b = 0 \quad (4)$$

К данному виду функций путем логарифмирования можно привести степенные эмпирические формулы, которыми выражаются режимы резания.

Для математического решения задачи определения оптимального режима резания был использован алгоритм нелинейной оптимизации. Ее практическая реализация осуществлялась с помощью пакета прикладных программ «MATLAB», использовался модуль «Optimization Toolbox». Осуществлялось трехмерное моделирование по параметрам: глубина резания, подача и скорость резания. Использование функции «Plot3» позволило получить трехмерные графические модели, которые определяют области пространства, соответствующие оптимальным режимам резания. Вершины подобных графических объектов определяют экстремальные режимы резания, обеспечивающие, например, максимальную производительность.

Для практического подтверждения полученных результатов теоретического моделирования, проводились экспериментальные исследования на горизонтально-фрезерном станке 6Р13Ф3, шероховатость измерялась на профилометре-профилографе Сейтроник ПШ8-3, микротвердость - на приборе ПМТ-3, структурно-фазовый состав - на металлографическом микроскопе Olympus GX-71, остаточные напряжения - на

дифрактометре Дрон-3.0, точность обработки – на трехкоординатной измерительной машине AEN Daisy-564. В качестве образцов использовались параллелепипеды размером 50x50x120 мм из закаленной стали ХВГ (HRC 58...62). Обработка велась специально сконструированной однозубой концевой фрезой диаметром 30 миллиметров с вставной пластинкой из твердого сплава T15K6. Было установлено, что режимы резания, определенные методами оптимизации, обеспечивают требования по точности и качеству поверхностного слоя за минимальное время.

Например, использование при оптимизации критерия максимальной производительности для случая высокоскоростного фрезерования заготовки из стали ХВГ с глубиной резания $t=0.2$ мм соответствует следующим режимам резания: $n=1585$ об/мин ($V=498$ м/мин); $S=316$ мм/мин ($S_z=0.19$ мм/об). Полученные данные достаточно хорошо согласуются с результатами полученными другими авторами [4].

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили определить области оптимальных режимов резания для высокоскоростного фрезерования конкретных марок закаленных сталей. Впервые установлены конкретные численные значения глубины резания, подачи и скорости, обеспечивающие максимальную производительность, при обеспечении требований по точности и качеству поверхностного слоя обработанной детали из закаленной стали ХВГ.

Список литературы

1. Корнеева В.М., Корнеев С.С. Экспериментальная оценка возможности сверхскоростного резания металлов лезвийным инструментом на основе температурного фактора. // Технология машиностроения. 2016. №9. С. 16-20.
2. Вермель В.Д. Специализированная обработка сигналов системы измерения сил резания в высокоскоростном фрезеровании на обрабатывающих центрах с ЧПУ. // Автоматизация в промышленности, 2018. №5. С. 56-60.
3. Технологические остаточные напряжения при высокоскоростной лезвийной обработке труднообрабатываемых материалов / И.Е. Кирюшин, Д.Е. Кирюшин // Высокие технологии в машиностроении: сб. тр. Всерос. конф. / Самарск. гос. техн. ун-т. Самара, 2005. - С. 53–55.
4. Стрельцов П.А. Повышение эффективности высокоскоростного фрезерования сложнопрофильных заготовок путем совершенствования управляющих программ для станков с ЧПУ в САМ-системе. // Известия Самарского центра Российской Академии Наук. 2016. Том 18. №1-2. С. 416-420.

05.02.00

А.К. Иванов, И.А. Савватеева

Якутская ГСХА

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РАЙОНАХ СЕВЕРА

По географическому положению климату и освоенности территория Севера подразделяется на районы. Специфические условия рассматриваемой территории обуславливают особенности зоны оказывающие существенное влияние на формирование развитие и функционирование энергоснабжающих систем.

Ключевые слова: электроснабжение, энергетика, эксплуатационные затраты, закономерность.

При исследовании вопросов формирования СЭС определяющим условием развития систем является рост потребления электрической энергии вследствие углубления электрификации. В связи с этим, следующим блоком задач, рассматриваемых в данной работе, является прогнозирование электропотребления по уровням территориально-энергетической иерархии [1,2,3].

Существует множество методов прогнозирования уровней электропотребления для ИЭУ, ОЭУ и отдельных крупных территориально- энергетических образований. В связи с этим, становится актуальным совершенствование существующих и разработка новых методов прогнозирования электропотребления [1,5].

Особенно актуальным вопросом для условий Севера является проведение и последующий учет территориальной дифференциации потребителей энергии по степени централизации электроснабжения; выделение иерархически взаимосвязанных уровней централизации. В связи с этим, становится важным проведение территориальных прогнозов электропотребления и согласования их по уровням территориально-энергетической иерархии.

Ввиду отмеченной специфики районов Севера большое значение приобретает исследование альтернативных вариантов энергетических объектов. Развитие потребителей, снабжаемых от различных СЭС, обуславливает развитие СЭС. В связи с этим проявляется необходимость рассмотрения всех условий функционирования СЭС, включая экономическую характеристику потребителей, физико-географические условия функционирования системы и т.д. В таблице 1 приведена возможность развития системы электроснабжения в районах Севера.

Таблица 1- Возможности развития системы электроснабжения в районах Севера

№ п/п	Возможности централизации
1	Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов
2	Вовлечение мелких отдельных потребителей в высокоэффективный способ электроснабжения
3	Оптимизация структуры и состава электрогенерирующих источников, что особенно важно при дефиците генерирующих мощностей в северных районах
4	Расширения зон эффективного использования гидроэлектростанции, в том числе малых ГЭС и нетрадиционных источников;
5	Существенного сокращения общей потребности резервной мощности, которое характеризуется повышенными затратами на его содержание
6	Размещения энергетических объектов в зонах экологически приемлемых в условиях сильно ранимой к техногенным воздействиям природных ресурсов районов Севера
7	Увеличение концентрации мощности
8	Улучшение адаптации к будущим условиям развития
9	Увеличение комфортности жизненных условий населения

Возможно питание нескольких, более мелких потребителей, находящихся вне зоны рассматриваемого населенного пункта, но от источников, расположенных в основном населенном пункте. Характерно деление ИЭУ по территориальной расположенности:

- находящиеся в сфере влияния централизованного электроснабжения более высших ступеней централизации (ОЭУ, ЭР);
- находящиеся в децентрализованном секторе электроснабжения.

На рис.1 приведено перспективное объединение узлов [4].

При исследовании условия формирования и развития систем электроснабжения выявлены зоны, отличающиеся по степени централизации.

В электроэнергетической системе выделяются два сектора:

- децентрализованный;
- централизованный;

Децентрализованный содержит две группы потребителей-стационарные и мобильные. В централизованном секторе выделяются несколько зон, различающиеся степенью централизации: изолированные энергоузлы; объединенные энергоузлы; энергорайоны; районные энергосистемы, объединенные электроэнергетические системы; единая электроэнергетическая система. На рис.2 приведена структура электроэнергетических систем [4].



Рис. 1. Перспективное объединение узлов

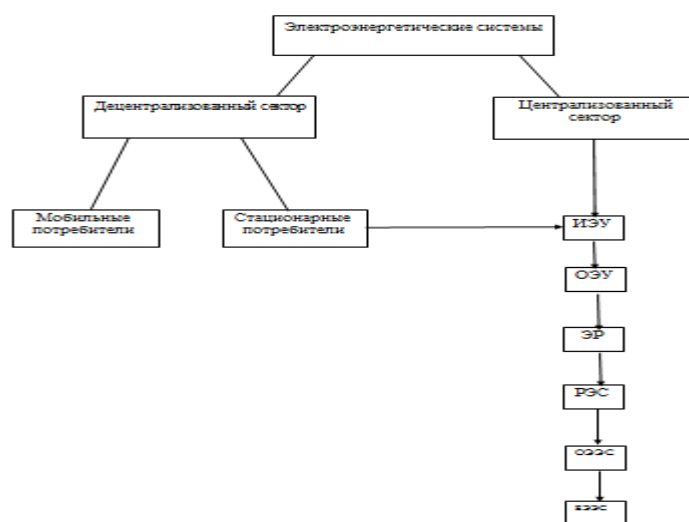


Рис. 2. Структура электроэнергетических систем

В работе рассматривается задача определения эффективности применения систем Электра теплоснабжения (ЭТС). С одной стороны, применение электроэнергии для целей теплоснабжения. Можно значительно увеличить уровни потребления электрической энергии, поэтому исследование эффективности ЭТС рассматривается наряду с вопросами прогнозирования уровней электропотребления. Особенно сильно данная взаимосвязь задач проявляется в условиях Севера при наличии мелких децентрализованного электро – и теплоснабжения. С другой стороны, ЭТС является централизованным способом обеспечения

потребителей электрической энергией для нужд теплоснабжения и может рассматриваться как частный случай развития СЭС для отопительных целей. Следует отметить, что ЭТС нашло распространения в западной части Республики Саха (Якутия), где потребления электроэнергии для нужд отопления в настоящее время составляет 1 млрд. 200млн. кВтч/год, т.е. 45% от общего потребления электроэнергии в Западном энергорайоне или 18% от электропотребления республики в целом. Имея данный факт нельзя не учитывать влияние ЭТС на уровни электропотребления.

Таким образом, выделен основной круг задач исследования условий формирования и развития систем электроснабжения районов Севера.

Основополагающей частью данного исследования является изучения СЭС, закономерностей и процессов, происходящих при их развитии. Следующий раздел работы посвящен определению групп СЭС однородных по условиям формирования и развития; показателей и диапазонов варьирования факторов, характеризующих уровни развития [2,3]. При сопоставлении затрат, следует учесть наличие некоторой зоны, обусловленной точностью исходных данных, в пределах которой варианты могут быть равноэкономичными. Равноэкономичными считаются варианты, отличаются по затратам до 5%. В условиях Севера точное определения исходных данных представляет большую сложность, особенно в условиях несбалансированности цен, поэтому предел равноэкономичности вариантов экспертным путем расширен до 15%.

Список литературы

1. Арзамазцев, Д.А., Ананичева, С.С., Кожов, К.Б., Мызин, А.Л. и др. Имитационный подход к планированию развития ЭЭС// Оптимизация развития и эксплуатация энергосистем.- Румыния, г. Ясен, 1991.-С.100-103.
2. Айвазян, С.А. Статистические исследования зависимостей. Применение методов корреляционного и регрессивного анализа при обработке результатов экспериментов. М.: Металлургия, 1968.
3. Гуторов, М.М. Основы светотехники и источники света. Учебное пособие/М.М. Гуторов. - М.: Энергоатомиздат, 2014. - 384 с.
4. Корякин, А.К. Методический подход к исследованию эффективности применения электроэнергии для целей теплоснабжения. Ин-т физ.-техн.проблем Севера ЯНЦ СО РАН. Якутск, 1993.-19с. Деп в ВИНТИ 09.13.93. №3042-В93.
5. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - М.: РадиоСофт, 2009. - 328 с.

05.02.22

В.Ф. Лапшин д-р техн. наук, А.П. Буйносов д-р техн. наук, И.В. Умылин

Уральский государственный университет путей сообщения,
Екатеринбург, vlapshin@usurt.ru, byinosov@mail.ru, uvil333@mail.ru

ЭЛЕМЕНТЫ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ

В статье приводится анализ требований к элементам пассивной безопасности железнодорожного электроподвижного состава, приводятся вид, конструкции и возможные варианты их размещения. Приводится полученная диаграмма поглощения энергии при соударении головного вагона электропоезда с препятствием.

Ключевые слова: электроподвижной состав, столкновения, защита, пассивность, безопасность, элемент.

Для легкого подвижного состава (трамваев, рельсовых автобусов и вагонов метрополитена) роль защитных элементов выполняют упругие бамперы или снегоочистители. Основное назначение таких устройств – защита подвижного состава от столкновения с автотранспортом, человеком и другим подвижным составом на сравнительно низких скоростях движения. При этом деформация должна иметь такой характер, чтобы снизить опасность схода в том числе электроподвижного состава (ЭПС) с рельсов.

С 2008 г. в Европе степень безопасности перевозимых пассажиров и грузов на железнодорожном транспорте регулирует европейский стандарт EN-15227 [1]. В России в 2011 г. принят аналогичный документ «Технический регламент ЕврАзЭС» [2]. Одним из главных требований этих стандартов является наличие элементов системы пассивной безопасности (ПБ), исполняющие основные сценарии при столкновении. При проектировании элементов системы ПБ необходимо рассмотреть три сценария столкновения (рис. 1).

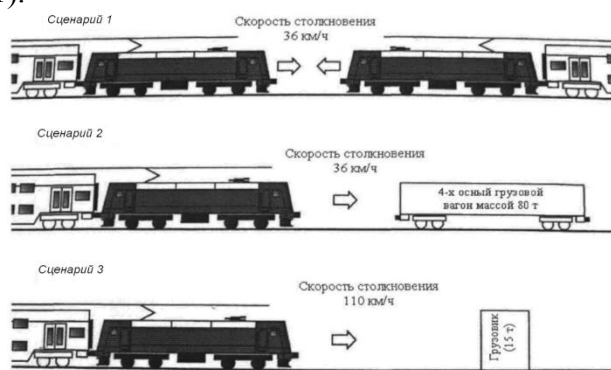


Рис. 1. Сценарии столкновения

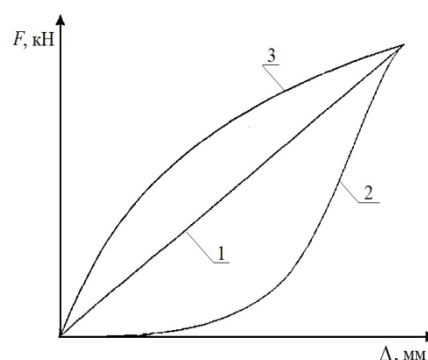


Рис. 2. Силовая диаграмма поглощающих аппаратов

К элементам системы ПБ должны быть включены съемные устройства поглощения энергии (УПЭ), сцепные устройства с механизмом поглощения энергии, устройства защиты от «наползания».

На рис. 2 представлены зависимости наиболее часто используемых элементов ПБ – поглощающих аппаратов автосцепного устройства от используемых в них материалов [3]. Силовая диаграмма поглощающих аппаратов с резиновыми элементами имеет подлинейную форму (зависимость 2), фрикционные и пружинные – линейную форму (зависимость 1), гидравлические – надлинейную форму (зависимость 3). Представленные зависимости показывают различия характеристик поглощающих аппаратов и применяются при расчетах процессов происходящих при соударении единиц ЭПС или при простых соударениях с тупиковыми упорами. У зависимости 2 – КПД составляет примерно 30 %, зависимости 1 –

50–60 %, зависимости 3 – до 80 %. Чтобы добиться максимального КПД зависимость $F(\Delta)$ должна быть почти прямоугольной формы.

Из соображений безопасности на современном ЭПС предусмотрена двухступенчатая защита пассажиров и персонала в случае аварии. Так при определенной силе удара, превышающей энергоемкость поглощающего устройства автосцепки, вступает вторая ступень поглощения энергии (вторая ступень системы ПБ), так называемые «жертвенные» элементы. При возникновении аварийной ситуации такие элементы разрушаются, принимая тем самым большую часть энергии удара. Элементы ПБ должны быть модульного типа, съемными, с возможностью установки в сервисных или моторвагонных депо [4].

При разработке конструкции «жертвенного» элемента необходимо учитывать конструктивные ограничения, такие как, габариты «жертвенного» элемента, его масса, обусловленная максимально допустимой нагрузкой на ось, сложность технологического изготовления и материал элемента, в конечном итоге влияющим на стоимость системы ПБ, а так же простоту замены элементов ПБ при текущем ремонте. Так же в основу разработки «жертвенных» элементов ПБ должно быть положено: максимальное поглощение кинетической энергии при столкновении, без превышения максимально допустимой нагрузки на раму кузова; стойкость к небольшим воздействиям, исключающая самопроизвольное срабатывание; отсутствие не Конечно-элементная расчетная схема конструкции «жертвенного» элемента построена на основе разработанной геометрической модели с использованием специальных пластинчатых элементов с четырьмя (или тремя) узлами. Боек моделировался объемными конечными элементами с восьмью узлами, которые имеют по три линейных перемещения, скорости и ускорения. Между бойком и исследуемой защитной конструкцией, а также между элементами самой защитной конструкции учитывалась возможность контакта в форме «поверхность – поверхность». В качестве граничного условия принято условие жесткого закрепления заднего (большого) торцового сечения защитной конструкции. В качестве начальных условий задана скорость центра масс бойка, которая в момент времени $t = 0$ равна 36 км/ч (сценарии 1 и 2 на рис. 1). Полученный результат расчета для электропоезда ЭД4М представлен на рис. 3.

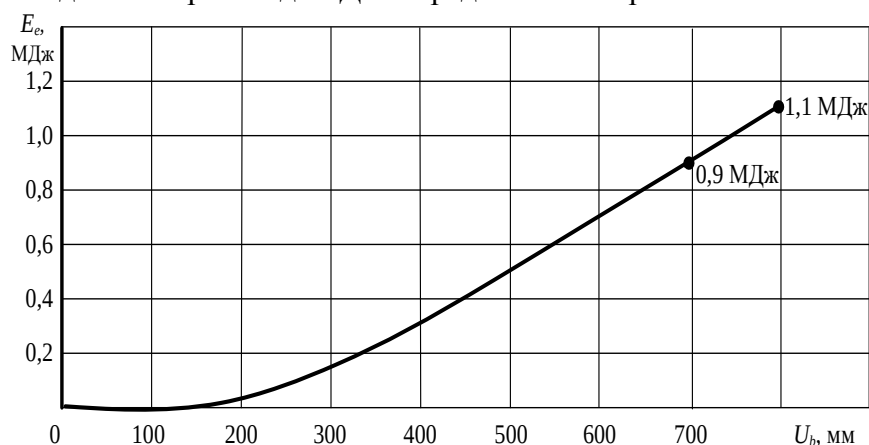


Рис. 3. Диаграмма поглощения энергии при соударении головного вагона электропоезда с препятствием

Установлено, что за счет пластического деформирования и разрушения «жертвенного» элемента предложенной конструкции (рис. 4 и 5) может быть поглощена кинетическая энергия удара порядка 0,9–1,1 МДж в зависимости от продольного перемещения бойка на 0,7–0,8 м [5].

Анализ технических решений в вопросе конструкции «жертвенных» элементов на основе патентно-библиографического поиска показал, что на сегодняшний день существует несколько конструкций: сотовые элементы, сминаемые полые профили и др., каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки. Так же нужно не забывать о необходимости обеспечения защиты от взаимного проникновения вагонов – так называемого «наползания». Необходимо устройство ПБ, предотвращающее подобные формы повреждений [6].

В последнее время, в связи с развитием промышленности, появилась возможность оснащать единицы ЭПС элементами, поглощающими энергию возможного лобового удара. Например, предлагается использовать деформируемые блоки со средним уровнем поглощения энергии. Они располагаются на лобовой части рамы головного вагона электропоезда. Вид и возможное размещение энергопоглощающей «тарелки» приведено на рис. 4. Для защиты от чрезмерного сжатия буферов при прохождении кривых малых радиусов ширина тарелки в соответствии с расчетами была принята равной 550 мм. Для электропоездов при движении со скоростью до 160 км/ч [7] применимы упругие буферные устройства, коробчатые деформируемые блоки со средним уровнем поглощения энергии (рис. 5) в сочетании с устройствами против «налезания» вагонов друг на друга.

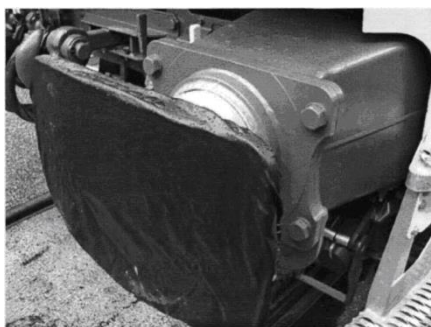


Рис. 4. Конструкция энергопоглощающей «тарелки»

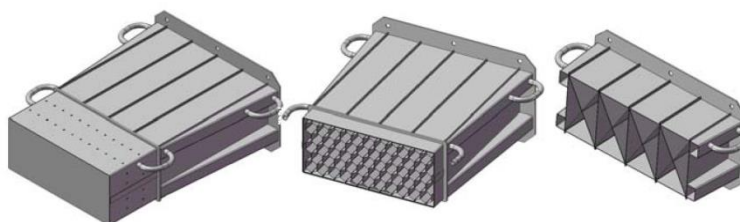


Рис. 5. Конструкции элементов ПБ для электропоезда

Исследования, выполненные авторами показали необходимость оборудования строящихся и дооборудование уже имеющихся единиц ЭПС (электровозов и электропоездов) системами ПБ, применение которых позволят, с одной стороны многократно уменьшить негативное влияние аварийных столкновений на сам подвижной состав, а с другой – существенно снизят угрозу жизни пассажиров и персонала поездов связанную с этими столкновениями.

Как и для ЭПС, в настоящее время подобные устройства не нашли широкого применения в эксплуатации на российских железных дорогах. Однако существует тенденция к развитию подобных конструктивных элементов для использования их на вновь проектируемых электровозах и электропоездах.

Список литературы

1. EN-15227: 2008. Railway applications – Crashworthmess requirements for railway vehicle bodies. Brussel: European committee for standardization, 2008. 37 p.
2. О безопасности железнодорожного подвижного состава. Технический регламент ЕврАзЭС. ТР 000_00_ЕврАзЭС. Решение Комиссии таможенного союза ЕврАзЭС от 15.07.2011 г. № 710.
3. *Наговицын В.С., Буйносов А.П., Динисламов А.Р.* Выбор и обоснование применения винтовых рессор для железнодорожного подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 2. С. 38-41.
4. *Наговицын В.С., Буйносов А.П., Антропов С.Н.* Выбор технологии восстановления работоспособности узлов подвижного состава с учетом минимума затрат при условии обеспечения требуемого уровня надежности // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 1. С. 59-61.
5. *Буйносов А.П., Умылин И.В.* О разработке ограничителя тока зарядки аккумуляторных батарей на электропоездах // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 28-30.
6. *Буйносов А.П., Зенович Д.К.* Система пассивной безопасности для защиты подвижного состава при аварийных столкновениях // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 3. С. 77-80.
7. *Буйносов А.П., Волков Д.В., Умылин И.В.* Определение предельной разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре моторного вагона электропоезда // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 2(31). С. 90-97.

05.02.08

В.Ф. Пегашкин д-р техн. наук, Г.А. Осипенкова канд. техн. наук

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Нижний Тагил, v.f.pegashkin@urfu.ru

ВЫГЛАЖИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕРСТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Рассмотрен метод выглаживания поверхности отверстий с использованием ультразвуковых крутильных колебаний. Приведены математические модели для определения траектории движения инструмента – индентора – по обработанной поверхности в продольном сечении, позволяющие определить регулярность получаемого микрорельефа и степень упрочнения.

Ключевые слова: *отделочно-упрочняющая обработка, обработка с ультразвуком.*

Существует большой ряд деталей, долговечность которых напрямую связана с износом рабочих поверхностей. На повышение износостойкости влияют главным образом увеличение микротвердости и сглаженная округлая форма микронеровностей. Благоприятные условия для повышения износостойкости поверхности создаются при поверхностном пластическом деформировании [1]. Введение в зону обработки ультразвуковых колебаний способствует снижению сопротивления пластическому деформированию и сил трения на контактных поверхностях [2]. Ультразвуковая обработка обеспечивает получение заданных свойств поверхностного слоя – частично или полностью регулярного микрорельефа, создание остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое обработанных поверхностей [3]. Регулярность микрорельефа и степень упрочнения зависят от траектории движения деформирующего элемента по поверхности детали.

На рис. 1 показана схема устройства для ультразвукового упрочнения внутренних поверхностей деталей с введением в зону деформации ультразвуковых крутильных колебаний относительно продольной оси деформирующего инструмента [4].

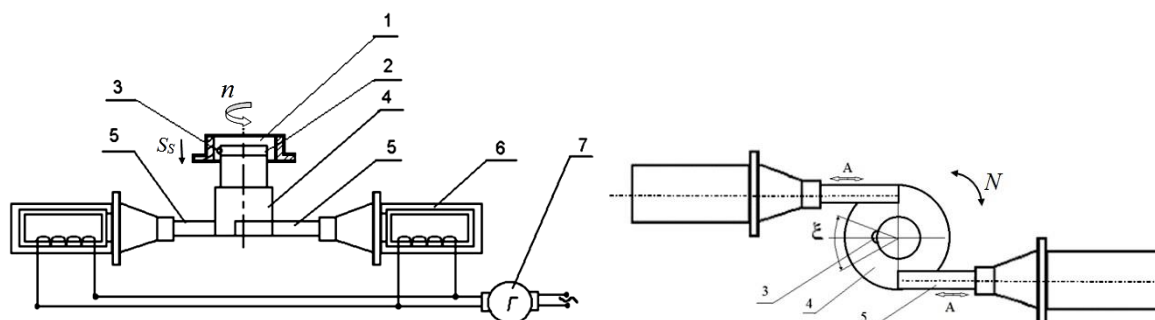


Рис. 1. Схема устройства:

1 – деталь; 2 – сменное кольцо с деформирующим элементом; 3 – деформирующий элемент; 4 – концентратор; 5 – волноводы; 6 – магнитострикционный преобразователь; 7 – генератор.

Рассмотрим траектория движения деформирующего элемента (индентора) по поверхности детали в продольном сечении (в направлении подачи).

Результирующее движение индентора складывается из возвратно-крутильного движения деформирующего элемента $N(S_s)$, перемещения от в следствии вращательного движения детали $n(S_d)$; перемещения в направлении подачи (S_s).

Проекция возвратно-крутильного движения деформирующего элемента S_3 будет хорда СД, которая определяется из прямоугольного треугольника ОЕД (рис. 2, а).

$$S_3 = CD = 2r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

Перемещение инструмента вследствие вращательного движения детали S_d определяется из прямоугольного треугольника O_1KB (рис. 2, б).

$$S_d = AB = D \cdot \sin \frac{\beta}{2}, \quad \beta = \frac{180 \cdot n}{N},$$

где β – угол поворота детали за один двойной ход деформирующего элемента; D – диаметр отверстия детали, n – частота вращения детали; N – частота ультразвуковых колебаний деформирующего элемента.

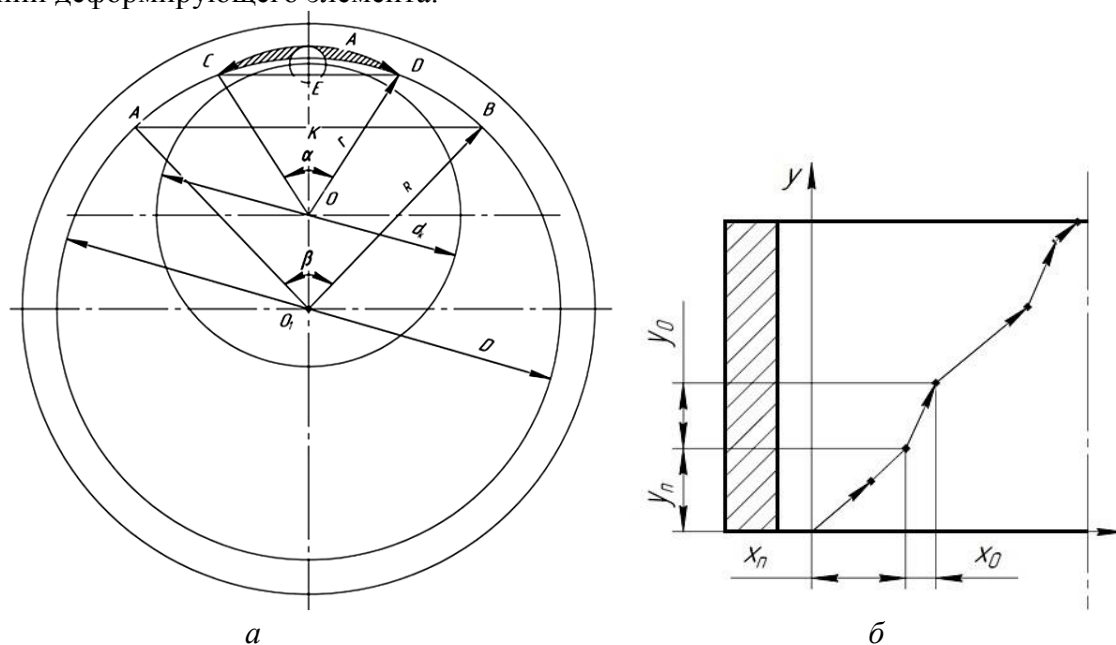


Рис. 2. Схема обработки (а) и траектория перемещения индентора по внутренней поверхности (б)

Перемещение от продольной подачи индентора определяется выражением

$$S_s = s m,$$

где s – продольная подача индентора; m – число оборотов, на которое повернулась деталь за один двойной ход деформирующего элемента

$$m = \frac{n}{2N}.$$

Уравнение траектории результирующего движения деформирующего элемента в направлении подачи складывается из следующих элементов (рис. 3):

- перемещение от точки О к точке В

$$X_{\Pi}^s = S_3 + S_d, \quad Y_{\Pi}^s = S_s;$$

- перемещение от точки В к точке Д

$$X_o^s = (S_d - S_3), \quad Y_o^s = S_s,$$

где X_{Π}^s, Y_{Π}^s – результирующее движение деформирующего элемента вдоль оси x, y при прямом ходе (направление движения деформирующего элемента совпадает с направлением вращения детали); X_o^s, Y_o^s – результирующее движение деформирующего элемента вдоль оси x, y при обратном ходе (направление движения деформирующего элемента и направление вращения детали имеют противоположные направления).

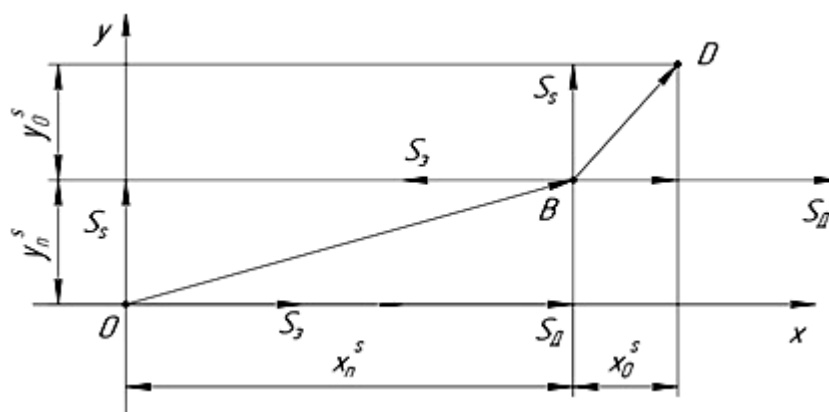


Рис. 3. Расчетная схема

Окончательное уравнение траектории результирующего движения деформирующего элемента по поверхности детали в продольном сечении примет вид:

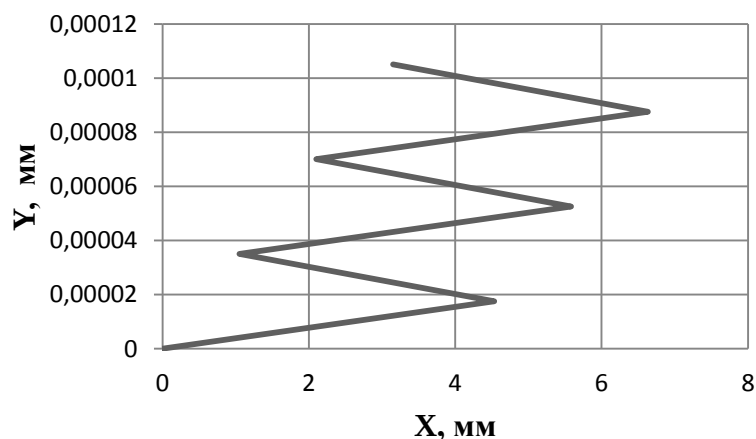
- при прямом ходе

$$X_n^s = 2r \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + D \cdot \sin \frac{180 \cdot n}{N}, \quad Y_n^s = s \cdot \frac{n}{2N};$$

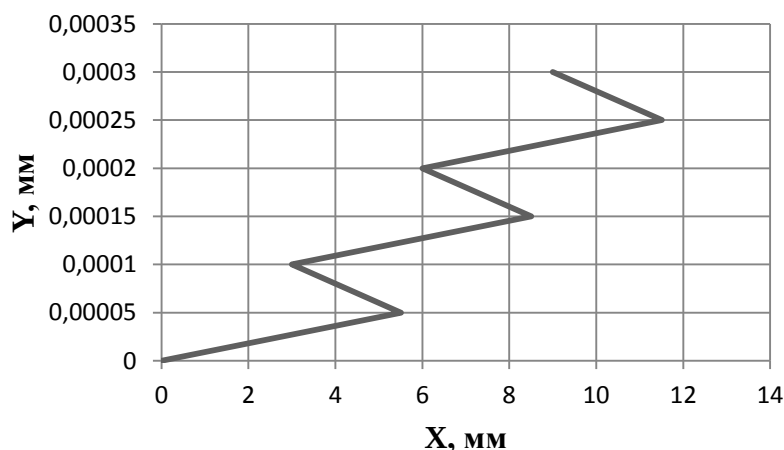
- при обратном ходе

$$X_o^s = D \cdot \sin \frac{180 \cdot n}{N} - 2r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad Y_o^s = s \cdot \frac{n}{2N}.$$

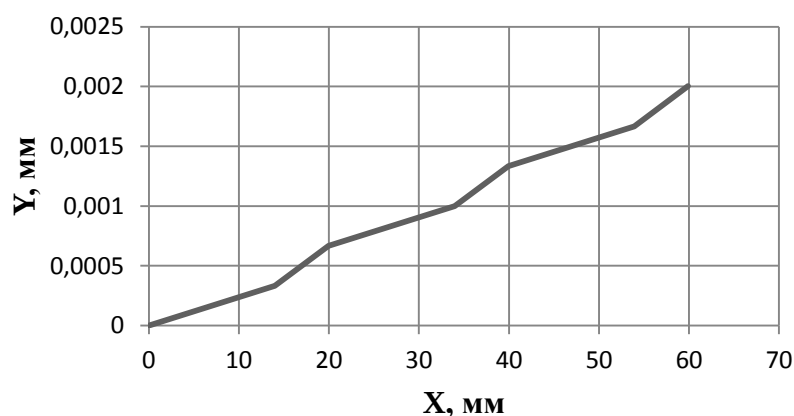
На рис. 4. приведены расчетные траектории индентора при различных условиях обработки. Видно, что увеличение частоты вращения детали за одинаковый промежуток времени (за один двойной ход деформирующего элемента) ведет к увеличению пути, пройденному деформирующим элементом.



а



б



в

Рис. 4. Траектории результирующего движения деформирующего элемента по поверхности детали в продольном сечении при различных частотах вращения детали:

$d_3 = 10$ мм, $r_3 = 30$ мм, $D = 100$ мм, $N = 18000$ кол/с, $s = 1,2$ мм/об,

а) $n = 31,5$ мин⁻¹; б) $n = 90$ мин⁻¹; в) $n = 600$ мин⁻¹

Список литературы

1. Лещинский, В.М., Механические свойства деформированной инструментальной стали / В.М. Лещинский, Л.А. Рябичева // Вестник машиностроения. – № 3. – 1993. – С.88-94.
2. Киселев, Е.С. Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля / Е.С. Киселев. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 215 с.
3. Радзевич, С.П. Об образовании регулярного микрорельефа при обработке деталей, ограниченных поверхностями сложной формы / С.П. Радзевич // Машиностроение. – № 11. – 1984. – С. 34-41.
4. Пат. 185980 РФ Устройство для упрочняющей обработки внутренних поверхностей деталей / В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова; заявитель и патентообладатель Урал. федер. ун-т. – опубл. 25.12.2018, Бюл. № 36.

05.02.08

**Д.П. Салова канд. техн. наук, Н.В. Носов д-р техн. наук,
А.Ф. Денисенко д-р техн. наук, В.Н. Гаврилов канд. с.-х. наук,
П.М. Салов д-р техн. наук, Т.Г. Виноградова канд. техн. наук,
Е.П. Шалунов канд. техн. наук, С.С. Сайкин д-р физ.-мат. наук,
А.М. Новиков канд. техн. наук, А.В. Семенов канд. с.-х. наук**

Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета,
кафедра транспортно-технологических машин,
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
машиностроительный факультет, кафедра «Технология машиностроения»
Чувашская государственная сельскохозяйственная академия,
инженерный факультет, кафедра технического сервиса,
Чебоксары, tavin2008@mail.ru, salov-pm@yandex.ru, s.alexander2011@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЗЕРЕН СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И ЭЛЬБОРА, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ШЛИФОВАЛЬНОГО ШЛАМА

В статье определены плотности распределения, число и размеры зерен, выделенных из шлама и их прочностные свойства. Приведены результаты исследований при алмазном и эльборовом шлифовании и хонинговании труднообрабатываемых сталей и других материалов.

Ключевые слова: алмаз, эльбор, механизмы изнашивания, дефекты, выделение алмазов и эльбора, прочность.

Для эффективного использования инструмента необходима информация об области и условиях его применения. Производительность зависит от режимов резания, которые назначаются от выбранной стойкости. Стойкость зависит от механизмов износа инструмента, который оценивается по прочности отработанных зерен.

Работа, позволяющая в условиях производства определить механизм износа абразивного инструмента, актуальна. Снятие стружки и любой контакт происходит при различных условиях: геометрических, теплосиловых, адгезионных, химико-абразивных, диффузионных, окислительных и других. Все эти условия порождают различные механизмы изнашивания. Некоторые из них являются конкурирующими, однако, все они присутствуют при абразивной обработке и вызывают «комбинированный износ» [1-4]. Вместе с тем, некоторые из них или комбинация из 2-х, 3-х являются тревалирующими, вызывая преобладающий износ.

Исследования проводились при шлифовании и хонинговании алмазными инструментами на опытной керамической связке, обеспечивающей режим самозатачивания при работе с СОЖ-3, разработанной в Чувашском университете.

Обрабатывались стальные кольца с внутренними отверстиями диаметром 60...80 мм. Материал колец: сталь ЭИ347Ш (HRC 62...65) и 1X18H9T (HB159-207). При плоском шлифовании обрабатывались стали твердый сплав, абразивы, прерывистые поверхности. Зёрна раздавливались между двумя твердосплавными пластинами по известной методике [1,5,6].

Удавалось собирать не более 80% от массы выпавшего абразива, рассчитанной по результатам линейных измерений инструмента (до и после). Зёрна (осколки) длиной менее 5 мкм, как правило, не обнаруживаются на ситах с размером ячейки 5x5 мкм. По данным [5-7 и др.] немалая часть из них образуется из распадающихся агрегатов при прессовании и резании. Их доля в массе износа – не менее 10÷15% для эльбора и 6-8% - для алмаза [5-7 и др.].

В современной литературе практически отсутствуют работы по извлечению абразивных зёрен из шлама. Имеющиеся рекомендации [6 и др.] не позволяли выводить электрокорунд (Al_2O_3), содержащийся в связке в качестве наполнителя. На базе кафедры неорганической химии Чувашского университета использована следующая методика.

Методика извлечения зёрен из шлама после шлифования кругами на органических и керамических связках сталей и чугунов

1. Навеска помещается в ёмкость на 250-300 мм, взвешивается с точностью до 0,002 г, затем обезжиривается четыреххлористым углеродом. Растворитель декантируется, шлам высушивается.

2. Разбавленная серная кислота в пропорции 1:4 из расчета 25 мм на 1г. Заливается в шлам и нагревается на песчаной бане до растворения металлов. Затем ёмкость снимают с бани и в неё небольшими порциями приливают из расчета 5 мл на 1г шлама азотную кислоту (уд.в.1,4) для окисления железа и карбидов хрома, вольфрама, ванадия и др. (уд.в. – удельный вес).

3. Содержимое ёмкости кипятят для удаления окислов азота и полного окисления (перехода) вольфрама в вольфрамовую кислоту.

4. Раствор отстаивается в течении 20-25 мин (при отсутствии центрифуги), далее его декантируют или сифонируют в другую ёмкость.

5. Остаток промывается горячей (60-70°C) дисциллированной водой до нейтральной реакции. Проверка – лакмус, «конго». Высушивается.

6. Для удаления карбидов и силикатов в стальном тигле подготавливается плавка с участием $KOH + NaNO_2$. Щелочь из расчета 3 в части на 1 в часть шлама и 0,1г. $NaNO_2$ на 1г. Шлама. (в. – общепринято – весовая).

В тигель засыпается сухой остаток. Плавка продолжается 30-40 минут в муфте при температуре 350-400°C. После остывания тигля плав выщелачивается водой (70-80°C). Для растворения Fe_2O_3 состав кипятится с добавлением HCl . Раствор декантируется. Остаток многократно промывается горячей водой. Высушивается.

7. Сухой остаток просматривается под микроскопом. При наличии в нём электрокорунда делается дополнительная плавка с содой и бурой. На 1 в. Часть остатка 3 в. Части буры и 1 в. Часть соды. Плавка в фарфоровой чашке. Плав ставится в холодный муфель, который нагревается со скоростью 300°C в час до 900°C. Выдерживается при 900°C три часа, затем чашка охлаждается на асбесте.

8. Сплав растворяется в соляной кислоте с концентрацией 1:2 при нагреве на электроплите. Прореагированную кислоту сливают и наливают новую и т.д. до полного растворения.

9. Оставшиеся зёрна промывают горячей водой до нейтральной реакции. Затем просматривают его под микроскопом. При наличии в порошке Al_2O_3 проводится дополнительная доплавка с бурой в соотношении 2,5 в части буры на 1 в. часть

10. Промытый и просушенный алмаз или эльбор вместе с фильтром помещают в платиновую чашку, дополнительно подсушивают, озоляют фильтр на электроплитке, а затем сжигают его в муфте. Далее алмаз прокаливают при температуре 720°C, эльбор – при 900°C.

11. Дополнительно просматривают под микроскопом при шлифовании иодного метилена.

Использовалась аппаратура: микроскоп, электропечь – до 100°C, электроплитка, весы, ступка фарфоровая с пестиком №7, штатив лабораторный, воронка химическая $d=250$ мм, щипцы тигельные с длинными ручками, химические стаканы ёмкостью 500-700 мл, промывалка ёмкостью 1 л, платиновые чашки плоскофонные изд. 118-7 и 118-8 по ГОСТ 6563-2004, платиновый шпатель, платиновые наконечники, фильтры беззольные (желтая лента), штатив обыкновенный, кисточки, асбестовые прокладки.

Использовались реактивы: сода безводная, бура ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), индикаторная бумага, четыреххлористый углерод (CCl_4), щелоч.

При анализе прочностных свойств зёрен учитывалось то, что напряженные состояния зёрен в круге и в свободном состоянии не идентичны [8, 9]. Н.В. Носов [8] установил, что прочность зерна в круге выше, чем в свободном состоянии. Л.Н. Филимонов с соавторами утверждают обратное [9]. Вместе с тем они указывают на неоднозначность влияния связки и наполнителя на характер разрушения зерна.

На рисунках 1 и 2 показаны плотности распределения по количеству и прочности выделенных зёрен по фракциям после внутреннего шлифования сталей. Эльборовый круг – Л100/20-СТ1÷СТ2-7-С10-100%; алмазный АСП 100/80-СТ1-7-К-100%.

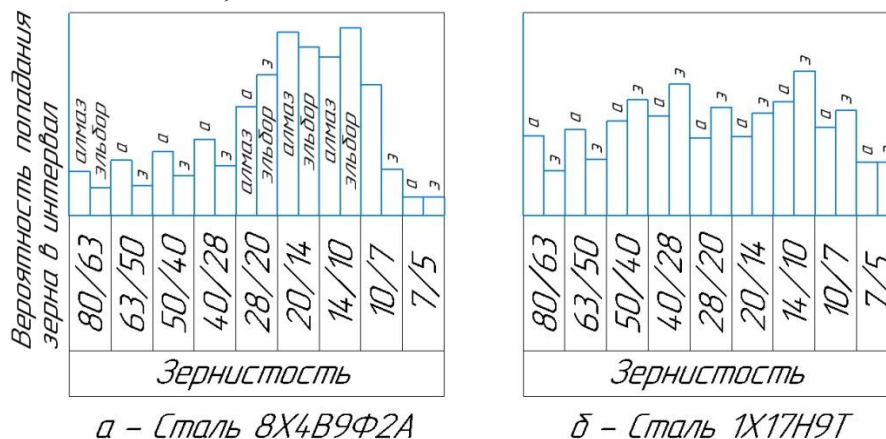


Рис. 1 - Распределение выделенных из алмаза зёрен алмаза (а) и эльбора (б) по фракциям

Следует добавить следующее: удельный расход эльбора при обработке закаленной стали 8Х4В9Ф2А, рассчитанный линейным способом, оказался в 5,8÷6 раз меньше, чем алмаза, а при обработке незакаленной стали лишь в 2,8÷3,2 раза. Шероховатость поверхности, обработанной алмазным кругом, составила $Ra = 0,25-0,32$ мкм, после эльборового - $Ra = 0,63-0,50$ мкм, т.е. в 2 раза больше. Масса собранного алмаза составила 76%, эльбора – 69% от фактических израсходованных на процесс. Судя по рис.1 для абразива с уменьшением зернистости вначале возрастает, что логично, а затем падает, что практически невозможно. Это связано с тем, что весьма сложно собрать зерна мелких фракций, они теряются. Однако количество потерянных зерен может быть больше, чем выделенных. Особенно для эльбора, изнашивающегося за счет микросколов. Часть алмаза графитизируется.

Фактический вес (%) попадания в интервал можно определить, разделив площадь над выделенным интервалом на сумму площадей над всеми интервалами с символом а(алмаз) или э(эльбор).

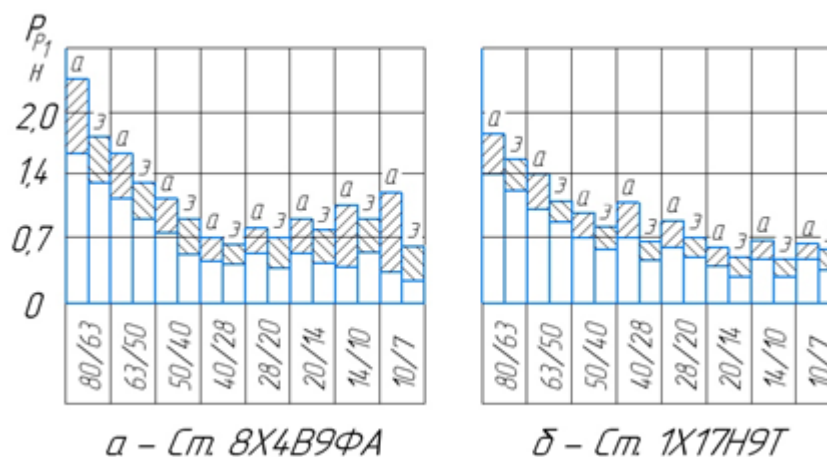


Рис. 2 – Величина разрушающей нагрузки для зерен, выделенных из шлама

Следует заметить, что динамическая прочность алмазов в 6-10 раз выше статической [10].

Вывод. Прочность алмазов, выделенных из шлама, выше, чем у эльбора, хотя удельный расход эльбора до 6 раз меньше; при работе круга в режиме самозатачивания зерна как алмаза, так и эльбора недоиспользуется – их прочность уменьшается лишь в 1,3-2 раза.

Список литературы

1. Носенко, В.А. Технология шлифования металлов: монография / В.А. Носенко, С.В. Носенко. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 616с.
2. Салов, П.М. Рациональное использование рабочей поверхности абразивных кругов / П.М. Салов, Д.П. Салова: - Чебоксары: Чебоксар. политехн. институт (филиал) МГОУ. 2010. – 332с.
3. Хакен, Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. / Г. Хакен. – М.: Мир.1985. – 423с.
4. Салов, П.М. Контроль работоспособности шлифовального круга / П.М. Салов, Н.В. Носов, Д.П. Салова / Известия Самарск. Научн. Центра Российской Акад. Наук: - Самара: № 4(2), 2018, С.238-241.
5. Байкалов, А.К. Исследование закономерностей износа чашечных кругов из кубического нитрида бора / А.К. Байкалов, Е.И. Вал // Синтетические алмазы. 1970 №6: - С.24-29.
6. Повторное использование зёрен Эльбора и синтетических алмазов / Г.И. Грановский, С.А. Попов, М.П. Малевский, Н.В. Барина // Вестник машиностроения. 1973. Вып.11. – С.47-51.
7. Мишнаевский, Л.Л. Износ шлифовальных кругов / Л.Л. Мишнаевский. – Киев: Наукова думка, 1982. – 192с.
8. Носов, Н.В. Абразивная обработка деталей инструментами из СВС – материалов / Н.В. Носов. – Самара: Самар. Госуд. ун-т. – 2005. – 362 с.
9. Влияние термоудара на износостойкость шлифовального зерна белого электрокорунда / И.В. Лавров, В.И. Лабес, Л.Н. Филимонов и др. / Абразивы. 1980. - №12. – С.9-11.
10. Захаров, О.В. Минимизация погрешностей формообразования при бесцентровой абразивной обработке / О. В. Захаров. – Саратов: Саратов. государ. универ., 2006. – 152 с.

05.02.08

Д.П. Салова канд. техн. наук, С.С. Сайкин д-р физ.-мат. наук,
В.В. Плотников, Т.Г. Виноградова канд. техн. наук, П.М. Салов д-р техн. наук,
В.С. Григорьев, С.С. Сорокин, А.М. Новиков канд. техн. наук,
В.Н. Гаврилов канд. с.-х. наук, А.В. Семёнов канд. с.-х. наук

Чувашская государственная сельскохозяйственная академия,
инженерный факультет, кафедра технического сервиса,
Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета,
факультет строительных и транспортных технологии,
кафедра транспортно-технологических машин,
Чебоксары, s.alexander2011@yandex.ru, tavin2008@mail.ru

ИЗНАШИВАНИЕ И ПРИРАБАТЫВАЕМОСТЬ ОТРЕЗНЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ

В заготовительном производстве расширяются процессы абразивной резки, разделки, отрезки, зачистки узкими кругами. Основными требованиями к ним является обеспечение работы кругов в режиме полного самозатачивания, что трудно реализуемо из-за недостаточной изученности процессов. В работе представлены исследования в данной области и практические рекомендации.

Ключевые слова: *схемы разрезки, условия самозатачивания, режимы, механизмы самоорганизации, наладка.*

К специфике и особенностям процессов отрезки, резки, разделки сталей и сплавов относят следующее [1-4 и др.]: отношение высоты к диаметру равно 1:100; твёрдость высокоскоростных кругов – СТ2 – ВТ2, их удельная производительность q составляет от 1 до 5; увеличение окружной скорости V_k не только увеличивает производительность процесса, но и уменьшает удельный износ.

Исследования проводились на установке, описанной в работе [3]. Применялись упрочнённые круги 300*4 мм на бакелитовой связке с зёрнами 12А или 13А, зернистостью 63 или 80 (F39 и F24), твёрдостью СТ2(Р), и также аналогичные круги фирмы Niles (ФРГ), армированные капроновой нитью. Шлифовались стали 40Х, 40ГСФРЛ, 60С2ХА в виде образцов из листового материала, труб, прутков различного сечения. Силы резания и температура замерялись по методике работы [3].

В профилях *a* и *б* скос кромок незначительный (см. рис.1), средняя часть круга нагружена и изнашивается равномерно. В профиле *б* наблюдается углубление в средней части. Наличие такого же элемента формообразования предусмотрено в патенте США для отрезных кругов, предназначенных для разделки еще неостывших стальных отливок [1].

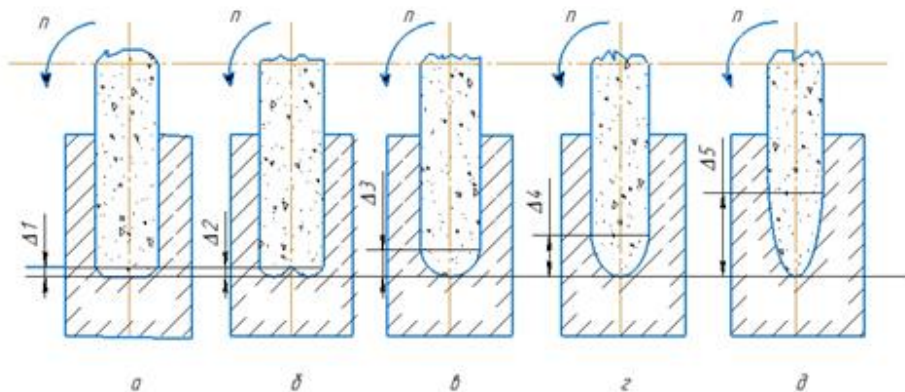


Рис. 1 - Профили отрезного круга при различных способах резки ([1 и др.]), $\Delta 1 \sim \Delta 5$ – величины износов по торцам

Практический опыт показывает, что при поддержании квазистабильной формы круга за счёт режимов обработки, коэффициент $q=1,2\div 1,4$ при резании конструкционных сталей и $q=0,8\div 0,9$ – для высоколегированных. Продольные подачи при этом - 0,7-0,8 и 0,3-0,6 м/мин, соответственно. Это позволяет работать с максимальной эффективностью при отсутствии засаливания.

Круги на вулканитовой связке при использовании СОЖ имеют большую стойкость, чем бакелитовые. Как показывают исследования, это связано не только с воздействием СОЖ, но и большей сопротивляемостью вулканитовой связки к хрупкому циклическому разрушению. Скорость резания оказывает решающее влияние на эффективность резки. Например, увеличение скорости резания с 80 до 95...100 м/с (на 20÷25%) позволяет увеличить производительность процесса на 25-30%, снизить усилия резания на 15-17%.

На рис. 2 показано I положение круга, который до врезания имел прямолинейный профиль и наружный диаметр D . После его врезания в неподвижный прутки на величину $0,25d$, где d – диаметр прутка, он износил на величину ΔR_1 , уголки его из-за увеличенного и трудно контролируемого кромочного износа округлились радиусами ρ_1 . На радиусе ρ_1 с левого торца выделена точка В, с правого – точка С, на цилиндрическом участке – точка А.

Во втором положении (II) круг дополнительно врезался на ту же величину ($0,25*d$), износился на величину ΔR_2 , которая больше ΔR_1 , т. к. удалился больший объём материала.

Мысленно аппроксимируем фасонную поверхность круга ломанной линией с шагом ΔT (см. III, а). Пусть выделенные точки В и С располагаются на участках, наклонённых к оси круга под углами α_B и α_C .

Износ круга на криволинейных участках в точках В и С с принятой схема удаления припуска зависит от двух факторов.

Во-первых, точки В и С располагаются на диаметрах, меньших, чем средняя часть, что предполагает меньшее время и меньший путь контакта с заготовкой. Во-вторых, число зёрен на круге на уровне точек В и С в $\frac{D_B}{D_A \cos \alpha_B}$, и в $\frac{D_C}{D_A \cos \alpha_C}$ раз больше, чем на участке с точкой А на диаметре D_A . При этом принято, что плотность зёрен по рабочим поверхностям одинакова. Площадь участков равны: для точки В $S_B = \Delta T * \pi D_B$, для точки С $S_C = \Delta T * \pi D_C$; для точки А - $S_A = \Delta T * \pi D_A$. Здесь D_B , D_C и D_A – диаметры круга в точках В, С и А (см. рис. 3); α_B и α_C – углы наклона выделенных участков.

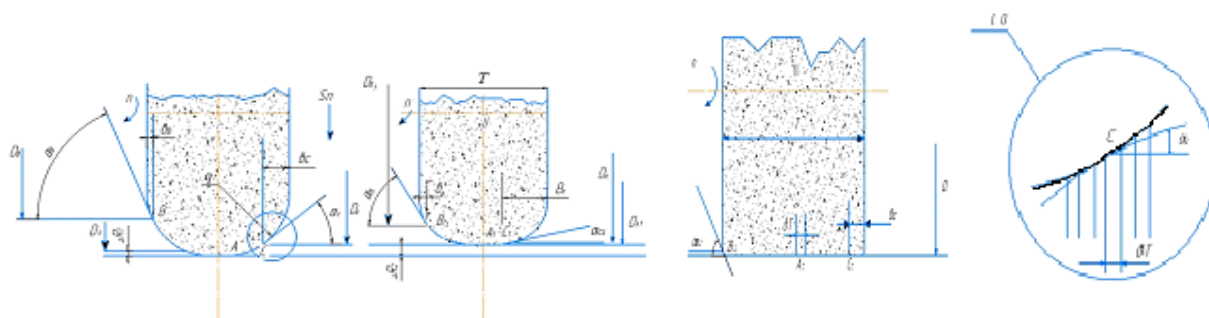


Рис. 2 - Графоаналитический анализ изменения профиля отрезного круга при врезании в круглый прутки, когда $D \gg d$, где D – диаметр круга, d – диаметр стержня

Когда глубина (разница радиусов) фасонного профиля относительно мала по сравнению с диаметром круга, то для каждой точки профиля, формируемого методом копирования, при поперечной подаче S_n глубина резания равна α_B и $t_\alpha = t * \cos \alpha$, где $t = S_n$ [5], α – угол наклона касательной в профиле в выделенной точке.

Исходя из сказанного и результатов расчета, следует вывод: меньше величины износов на наклонных участках по сравнению с цилиндрическим сближает их в направлении врезания. То есть разница между радиусами точек, находящихся на уровне В и С и точками на цилиндрической поверхности, уменьшается и из рис. 2 следует

$$\left(\frac{D_A}{2} - \frac{D_B}{2}\right) > \left(\frac{D_{A1}}{2} - \frac{D_{B1}}{2}\right); \left(\frac{D_A}{2} - \frac{D_C}{2}\right) > \left(\frac{D_{A1}}{2} - \frac{D_{C1}}{2}\right) \text{ и } \left(\frac{D_B}{2} - \frac{D_C}{2}\right) > \left(\frac{D_{B1}}{2} - \frac{D_{C1}}{2}\right)$$

При работе круга в режиме неполного самозатачивания, когда форма его имеет виды типа г и д на рис.2, не должны использоваться на практике. Необходимо изменять условия резки. При поиске условий, обеспечивающих полное самозатачивание круга, необходимо увеличивать (по возможности длину реза и перед каждым экспериментом восстанавливать прямоугольную форму круга с помощью абразивного бруска или щадящих режимов резания.

Выводы.

1. Управляя условиями процесса, можно обеспечивать работу отрезных кругов в режиме естественного износа.

2. Темп изнашивания кругов задаётся способностью цилиндрической части к самозатачиванию и условиями повышенного хрупкого циклического разрушения и восстановления краёв круга.

Список литературы

1. *Комлев, И.А.* Станки для силового шлифования / И. А. Комлев. – М.: Машиностроение, 1982. – 69с.
2. *Шульц, В.В.* Форма естественного износа деталей машин и инструмента/ В.В Шульц. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отдел-е, 1990. – 208 с.
3. Абразивная резка стального листа/ Т.Г. Виноградова, П.М. Салов, Б.П. Медведев и др.: матер. II Республик. научно-практической конференции. «Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии». – Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2016 – С.114-117.
4. *Салов, П.М.* Рациональное использование рабочей поверхности абразивных кругов/ П.М. Салов, Д.П. Салова – Чебоксары: Чебоксар. политехн. ин-т (филиал) МГОУ, 2010–332 с.
5. *Кальченко, В.И.* Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей/ В.И. Кальченко. – М.: Машиностроение, 1979. – 160 с.
6. *Захаренко, И.П.* Шлифование резьбы инструмента кругами из кубонита/ И.П. Захаренко, И.М. Цахновский, Э. А. Белецкий. – М.: Машиностроение, 1974-144с.
7. *Абанов, Л.В.* К вопросу о закономерностях процесса самозатачивания абразивного инструмента/ Л.В. Абанов // Новые исследования в области обработки металлов резанием: сб. науч. тр./ Моск. инж.- физич.ин-т. – М.: Машгиз, 1957 – С. 32-54.
8. *Алиханян, Э.С.* К определению характера износа профильных кругов/ Э.С. Алиханян// Алмазы и сверхтвёрдые материалы. 1983-№3, С. 7-8.
9. *Байкалов, А.К.* Исследование закономерностей износа чашечных кругов из кубического нитрида бора/ А.К. Байкалов, Е.И. Вал// синтетические алмазы. – 1970. №6 – С.24-29.
10. *Новиков, Ф.В.,* Об условиях самозатачивания алмазного круга/ Ф.В. Новиков, Ю.Г. Гуцаленко// Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей технологии в машиностроении: межвуз. сб. научн.трудов. – Пермь: Перм. политехн. ин-т, 1984. – С. 70-77.
11. *Накадзима, Т.* Современные методы высокопроизводительного и точного шлифования / ВЦП. № Г-15405. - М., 25.06.81. - 27 е.- Пер. с япон. из журн. «Кикай-но Кэнкю» - 1980. - Т. 32. - № 3. - С. 359-364.
12. *Горячева, И.Г.* Контактные задачи в трибологии / И.Г. Горячева, М.Н. Добычин. М: Машиностроение, 1988. - 256 с.

05.02.08

¹А.В. Семенов канд. с.-х. наук, ¹А.М. Новиков канд. техн. наук,
¹В.Н. Гаврилов канд. с.-х. наук, ¹В.А. Иванов канд. техн. наук,
²Е.И. Артамонов канд. техн. наук, ³Д.П. Салова канд. техн. наук,
³Т.Г. Виноградова канд. техн. наук, ³П.М. Салов д-р техн. наук

¹Чувашская государственная сельскохозяйственная академия,
инженерный факультет, кафедра технического сервиса,
Чебоксары, s.alexander2011@yandex.ru

²Самарский государственный аграрный университет,
инженерный факультет, кафедра технического сервиса,
Кинель, artamonov.evgenij.ivanovich@mail.ru

³Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета,
кафедра транспортно-технологических машин,
Чебоксары, tavin2008@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ КРОМОК СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

В статье выполнен анализ способов заточки спиральных сверл. Рассмотрены пути совершенствования качества заточки. Предложена конструкция устройства для заточки спиральных сверл, которая обеспечивает высокое качество обработки. Приведены результаты исследования качества поверхности и стойкости инструмента, заточенного различными способами.

Ключевые слова: *способы заточки, спиральное сверло, устройство для заточки, стойкость инструмента, качество заточки.*

Заточка спиральных сверл является трудоемким процессом. Одним из прогрессивных способов заточки рабочих поверхностей режущего инструмента является электролитическая обработка, которая заключается в совмещении анодного растворения и механического удаления слоя металла [1-5].

С целью получения высокого качества и стойкости инструмента нами исследованы следующие методы заточки: абразивная (контроль); электроабразивная; комбинированная (рис. 1).

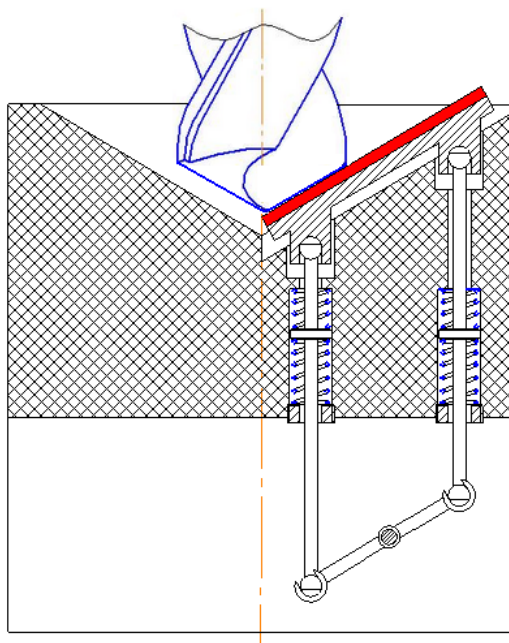


Рис. 1 - Принципиальная схема комбинированной заточки сверл

При заточке сверло вращается против направления вращения при сверлении. Его подключают к положительному полюсу источника постоянного тока, электрод - к отрицательному полюсу. При этом, прижатый электрод, через систему пружинно-рычажного параллелограммного механизма меняет свое положение, копируя профиль задней поверхности сверла в сечении, перпендикулярном к главной режущей кромке. Таким образом, при заточке параллелограммный механизм постоянно находится в движении и устанавливается на правильный первичный задний угол сверла.

В процессе заточки между электродом (из нитрида бора на металлической связке) и затачиваемой поверхностью сверла непрерывно прокачивается электролит. В работе использовался водный раствор нитрата калия 5%, хлорида натрия 5% и нитрит натрия 1%, скорость подачи - 2...8 л/мин.

Электрические режимы обработки для комбинированной заточки подбирались в соответствии с величинами рабочих напряжений электроэрозионной установки, а именно: 30 В, 60 В и 90 В. В качестве электрода были использованы абразивные бруски из карбида бора, имеющие следующие номера зернистости по стандарту ISO: F100, F120, F150 и F180. Экспериментальные исследования по изучению влияния электрических режимов обработки на шероховатость режущей поверхности сверл, затаченных комбинированным способом, проводилось с использованием инструментов из быстрорежущей стали Р6М5.

Испытания стойкости сверл проводилось при обработке образцов из стали 45 на станке 2Н135. Режимы резания: подача - 0,2...0,4 мм/об; глубина резания - 9 мм; скорость резания - 14 м/мин.

Для измерения шероховатости рабочей поверхности сверла, после заточки комбинированным способом использовали профилограф - профилометр АБРИС-ПМ7.

В процессе исследований была изучена интенсивность изнашивания режущих кромок сверл, затаченных разными методами (рис. 2). Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что предлагаемый способ комбинированной заточки спиральных сверл позволяет увеличить стойкость сверл. В начальный период работы режущие кромки более интенсивно изнашиваются, но в последующем интенсивность их износа снижается. Данную закономерность можно объяснить присутствием на поверхности сверл дефектов электрохимического происхождения. В последующем интенсивность износа сверл уменьшается вследствие сглаживания режущей кромки инструмента.



Рис. 2 - Влияние способов заточки на стойкость инструмента

Для оценки качества заточки были проведены экспериментальные исследования предлагаемого комбинированного способа обработки спирального сверла на шероховатость поверхности при разных электрических режимах, результаты которых приведены в таблице.

Таблица - Значения шероховатости поверхности сверла после комбинированной заточки

Электрические режимы (напряжение, В)	Номер зернистости электрода по стандарту ISO (крупность фракции, мкм)	Шероховатость поверхности Ra, мкм
Режим 1 (30 В)	F180 (80 мкм)	0,8
	F150 (100 мкм)	0,5
	F120 (125 мкм)	0,7
	F100 (160 мкм)	1,0
Режим 2 (60 В)	F180 (80 мкм)	1,9
	F150 (100 мкм)	1,7
	F120 (125 мкм)	1,8
	F100 (160 мкм)	2,2
Режим 3 (90 В)	F180 (80 мкм)	3,1
	F150 (100 мкм)	2,7
	F120 (125 мкм)	3,0
	F100 (160 мкм)	3,5

Таким образом, с уменьшением номера зернистости абразивного электрода с F180 до F100 качество поверхности уменьшается, так как увеличивается межэлектродное пространство.

Наиболее благоприятные условия для электроэрозионных процессов возникают при увеличении размера зерен абразивного материала с 80 до 160 мкм. При этом обеспечивается необходимое расстояние между абразивным электродом и затачиваемой поверхностью. Наилучшие показатели заточки достигнуты при мягком режиме обработки (напряжение 30 В) с использованием абразивного электрода с номером зернистости F150.

Вывод.

Заточка сверл комбинированным способом, основанным на использовании совместного электрохимического воздействия, обеспечивает высокое качество поверхности и увеличение стойкости инструмента в 1,5...2 раза.

Список литературы

1. Анализ тепловой ситуации при внутреннем шлифовании с продольной подачей/ Салова Д.П., Виноградова Т.Г., Салов П.М. и др. :М-во образ. Рос. Фед. , Чув. гос. ун-т. – Чебоксары, 2013 – 21с. Библиогр.: с19-21, Деп. в ВИНТИ 25.10.2013 №298-В2013
2. Исследование зоны контакта при шлифовании/Д.П. Салова, В.А. Аврелькин, П.М. Салов и др.: М-во образ. Рос. Фед. , Чув. гос. ун-т. – Чебоксары, 2013 – 29с. Библиогр.: с. 28-29, Деп.в ВИНТИ 25.10.2013 №297-В 2013.
3. Полянчиков, Ю.Н. Электрохимические и электрофизические методы обработки в современном машиностроении [Текст]: учеб. пособие. / Ю. Н. Полянчиков, А. Г. Схиртладзе, А. Н. Воронцова, М. Ю. Полянчикова, М. А. Тибиркова, Ю. И. Сидякин, А. А. Кожевникова. – ВолгГТУ, Волгоград, 2015. – 240 с.
4. Александров, В.А. Влияние режимов электроискровой обработки на шероховатость лабораторных образцов/ В.А. Александров, Д.А. Губарь, М.Н. Салихова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – №6-3.– С.20-22.
5. Семенов, А.В., Новиков, А.М., Доброхотов, Ю.Н. Способ заточки спиральных сверл / Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары: ФГБОУ ВО ЧГСХА, 2018.– С. 244-248.

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

05.11.15

¹Г.М. Мучкаева канд. с.-х. наук, ¹Д.Н. Цивдинов, ²Х.В. Хантыев,
²А.Ю. Качаев, ²Б.А. Лиджиева

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,
инженерно-технологический факультет,
¹кафедра агроинженерии,
²кафедра технологии и менеджмента профессионального образования,
Элиста, galya_2508@mail.ru

**МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ,
ВЫЗЫВАЕМЫХ ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР
В МАТЕРИАЛАХ ДЕТАЛЕЙ СОЕДИНЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО НАТЯГ**

На примере посадки с натягом рассмотрены понятие растягивающей силы и принцип определения механического напряжения, изменяющегося под влиянием температуры. Представлены методика измерения механических напряжений и принцип условного избавления жёстких связей детали для нахождения относительной продольной деформации. Приведена зависимость разности температуры от механического напряжения.

Ключевые слова: *посадка с натягом, механическое напряжение, методы измерений, разность температур, жёсткая связь, модуль упругости.*

Механические усилия, оказывающие воздействие на разного рода объекты, могут быть распределенными и сосредоточенными. К последним относят вращательные и линейно направленные усилия. Распределенные усилия могут быть внешнего (давления) и внутреннего (механические напряжения) характера. Непосредственно измерение механических усилий определяется одним из основных этапов исследований [1].

Методы измерений разного рода механических усилий характеризуются одинаковыми отдельными аспектами. Так, по виду величины, подвергаемой измерительному процессу, рассмотрим следующие методы измерений [2], основанные непосредственно на измерениях:

- деформаций исследуемой детали, проявляющихся под влиянием измеряемого усилия;
- параметров преобразователей, имеющих тенденцию к изменению в результате усилий (разного рода сопротивление);
- свойств исследуемых деталей, изменяющихся под влиянием таких усилий как, например, теплопроводность газа, температура;
- усилия, приводящего в равновесие измеряемое усилие.

Методы, применяемые для измерения величины деформации поверхностного слоя исследуемой детали, имеют большое распространение в средствах для измерения крутящих моментов, сил и давлений.

Вторая группа методов используется для установления порядка средств измерений, организованных на применении разного рода преобразователей, естественной величиной на входе которых определяется измеряемое усилие. Приборы с датчиками пьезоэлектрического типа, действующие на перемене частоты резонатора под влиянием механических усилий, обладают значительными метрологическими характеристиками. Датчики подобного рода способствуют созданию манометров, характеризующихся величиной погрешности на уровне до 0,02 %, с пределом измерения 70 МПа [3].

На определяющей зависимости параметров или свойств объектов, подвергаемых исследованию, от влияющих усилий образован интерферометрический метод замера давлений.

Методы уравнивания применяются при выполнении построений особо точных измерительных средств давлений, моментов и сил.

Существует зависимость между разностью температур ΔT [K] и механическим напряжением σ [Па] в сечении материала конструкций, которая очень важна для анализа прочности и срока службы детали, представленной в виде посадки с натягом. Для того чтобы понять, как упругая относительная деформация ε в зависимости от действия разности температур ΔT [K] влияет на возникновения механических напряжений σ [Па], рассмотрим стальную деталь, обеспечивающую натяг в соединении (рис.1).

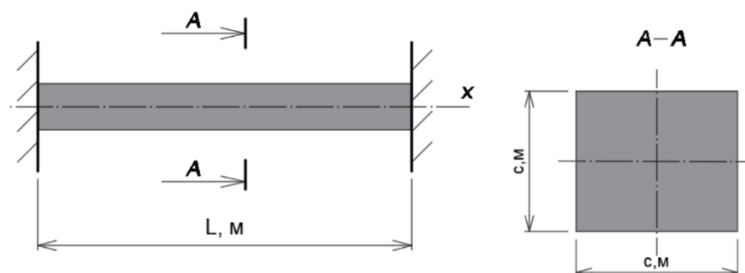


Рис. 1. Состояние детали при T [K] в момент времени t [с]

Деталь представлена в виде посадки, обеспечивающей натяг в соединении и имеет равномерную температуру T [K] в момент времени t [с], а также длину L [м] и размер c [м] квадратного поперечного сечения А-А.

При понижении температуры T [K] за период времени t [с] длина детали L [м] стремится к сжатию, но так как деталь представлена в виде соединения с натягом, на концах детали возникают горизонтальные силы реакции связи R_a [Н] (рис. 2), которые растягивают на малую величину стальную деталь и придают ей упругие относительные деформации ε .

В результате растяжения детали силами реакций R_a [Н] возникают механические напряжения, определяемые по следующей зависимости:

$$\sigma_{\text{рас}} = \frac{R_a}{(c'')^2}, [\text{Па}] \quad (1)$$

где $(c'')^2$, [м²] – площадь поперечного сечения А-А в результате понижения температуры на ΔT (рис. 3).

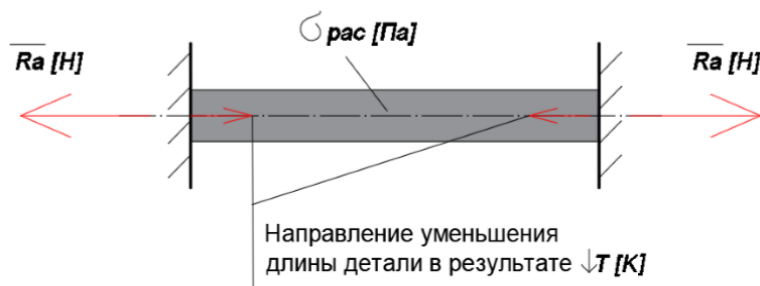


Рис. 2. Понижение температуры $\downarrow T$ [K] за период времени t [с]

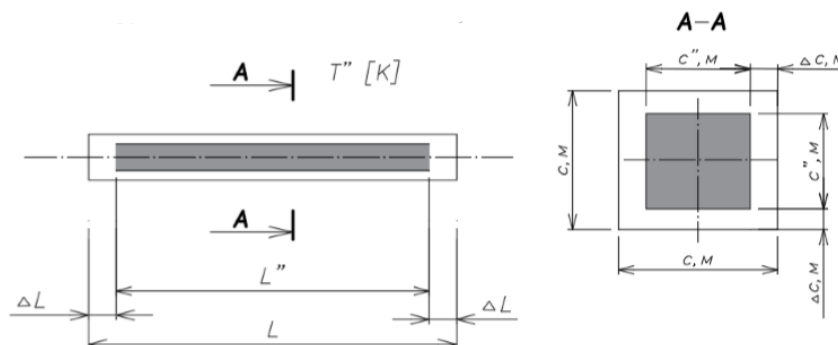


Рис. 3. Состояние детали при $T'' < T$

Данная формула не совсем приемлема для вычисления напряжения $\sigma_{\text{рас}}$ от ΔT [К], так как не практично определять силу Ra [Н] и геометрические размеры s сечения А-А.

В результате возникновения продольных упругих относительных деформаций ε , напряжение $\sigma_{\text{рас}}$ возможно вычислить по закону Гука, представленному следующей зависимостью:

$$\sigma_{\text{рас}} = E \cdot \varepsilon, [\text{Па}] \quad (2)$$

где E - модуль продольной упругости материала [Па].

Здесь ε – относительная продольная деформация, выражается формулой:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}, \quad (3)$$

где ΔL - сжатие материала при уменьшении температуры на величину ΔT .

Для осуществления возможности определения относительной продольной деформации, условно уберём жёсткую связь, чтобы деталь могла свободно сжиматься под действием уменьшения температуры на ΔT .

В течении времени t [с] температура T [К] равномерно уменьшилась на величину ΔT [К] и стала равной T [К]. При этом длина L [м] уменьшилась на величину ΔL [м] и приобрела значение L [м]. Геометрический параметр s сечения А-А детали уменьшился на Δs , и стал равный s .

Найдём по закону линейного теплового расширения ΔL [м]:

$$\Delta L = \alpha_L \cdot L \cdot \Delta T \quad (4)$$

где α_L – коэффициент линейного теплового расширения материала (получен в результате лабораторных испытаний и находится по соответствующим таблицам). В лаборатории производят измерение изменения длины ΔL материала длиной L под воздействием увеличения температуры ΔT на 1 К.

Коэффициент линейного теплового расширения материала находят по соответствующей формуле или как производную изменения длины по изменению температуры:

$$\alpha_L \approx \frac{\Delta L}{L \cdot \Delta T} = \frac{1}{L} \left(\frac{\partial L}{\partial T} \right) \quad (5)$$

$$\text{Следующая зависимость } \sigma_{\text{рас}(\Delta T)} = E \cdot \frac{\alpha_L \cdot L \cdot (T - T'')}{L} \quad (6)$$

показывает понижение температуры ΔT [К] в течении рассматриваемого времени.

Объединяя формулы 2-4, 6, получим закономерность механического напряжения на растяжение в детали, обеспечивающей натяг в соединении, в зависимости от понижения её температуры на ΔT :

$$\sigma_{\text{рас}(\Delta T)} = E \cdot \alpha_L \cdot (T - T'') [\text{Па}] \quad (7)$$

Механическое напряжение на растяжение зависит от таких показателей как модуль продольной упругости, коэффициент линейного теплового расширения материала и разность температур, характеризующей уровень понижения температуры за определенный промежуток времени.

Таким образом, существуют различные методы для измерения и вычисления механических напряжений, в частности вызываемых влиянием изменения температур в материалах деталей соединения, выполненного в виде посадки с натягом.

Список литературы

1. Анели Д.Н., Гвенцадзе Д.И., Болоташвили М.М. Исследование механических напряжений в деформированных твердых телах на моделях из электропроводящих полимерных композиций // Письма в Журнал технической физики. – 1999. – Т. 25. - №12. – С. 76-82.
2. Мучкаева Г.М., Эрдниева Г.Е., Горяев Ч.А., Даваев Б.В. Определение точности и неопределенности измерений // Форум молодых ученых. – Саратов: изд-во ООО «Институт управления и социально-экономического развития». - 2018. - №5 (21). 5 с.
3. Мучкаева Г.М. Исследование методов повышения точности измерений при наличии систематических погрешностей / Г.М. Мучкаева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – №6. - С. 152-154.

05.11.00

**В.В. Паничев канд. техн. наук, Н.А. Соловьев д-р техн. наук,
А.М. Семенов канд. техн. наук**

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
Оренбург, panichev1946@mail.ru

АЛГОРИТМ НАКОПЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ФОНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В работе рассматривается алгоритм накопления импульсов в шумах, основанный на увеличении числа значений входного сигнала значениями искусственного шума, предложена модель схемы приемника с каскадной схемой накопления сигнала, представлены результаты оценки способа накопления сигналов, полученные с помощью имитации.

Ключевые слова: некоррелированная копия, каскад накопления, оптимальный фильтр, сигнал искусственного шума.

Обнаружение импульсных сигналов в шумах обычно связано с необходимостью их накопления для превышения энергии сигнала над энергией фоновых излучений. Для уменьшения времени накопления можно дополнительно повышать энергию каждого импульса принимаемой последовательности путем суммирования сдвинутых копий входного сигнала $x(t) = s(t) + h(t)$, где $s(t)$ - полезный сигнал, а $h(t)$ - гауссов шум на интервале наблюдения.

Необходимость в значительном числе некоррелированных копий вызвана энергетическим приемом сигналов и малым отношением сигнал/шум $q \ll 1$. Число копий зависит от интервала корреляции τ_k , и длительности полезного сигнала t_u . Если интервал наблюдения $t_n = t_u$, то величина сдвига Δt_c может достигать t_u , и число копий может определяться как $N = t_u / \tau_k$. При $t_u = 1 \text{ мкс}$ и $\tau_k = 0,1 \text{ мкс}$ число копий $N = 10$. Кроме того, минимальное значение τ_k определяется шириной Δf полосы пропускания приемника, т.е. $\tau_{k \min} \geq 1 / \Delta f$.

Квантованный входной сигнал представляет собой ограниченную, последовательность случайных значений X . В случае независимости случайных значений число копий будет определяться как $N = t_u / \Delta t$, где Δt - шаг квантования, выбираемый с учетом соотношения $\Delta t \geq \tau_{k \min}$.

Увеличить число значений входного сигнала можно, искусственно уменьшив шаг квантования, путем преобразования исходной последовательности случайных значений X , [1] $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ с помощью последовательности случайных значений $Y = (y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m)$, некоррелированной с последовательностью X , в новую последовательность Z , число m которых в r раз больше числа значений n последовательности X , т.е. $Z = (z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_m)$, где $m = r \cdot n$.

При этом каждое значение x_i заменяется r значениями z_j , полученными суммированием x_i с каждым из r значений y_j , т.е.

$$\begin{aligned} z_1 &= x_1 + y_1, z_2 = x_1 + y_2, \dots, z_k = x_1 + y_r, \\ z_{r+1} &= x_2 + y_{r+1}, z_{r+2} = x_2 + y_{r+2}, z_{r+3} = x_2 + y_{r+3}, \dots, z_{2r} = x_2 + y_{2r}, \dots, \\ z_n &= x_n + y_n, z_{n+1} = x_n + y_{n+1}, z_{n+2} = x_n + y_{n+2}, \dots, z_m = x_n + y_m. \end{aligned} \quad (1)$$

Для исключения влияния последовательности Y на процесс накопления необходимо, чтобы она обладала рядом свойств, а именно: законы распределения значений последовательностей X и Y должны быть одинаковы; шаг корреляции не должен превышать двух шагов квантования, т.е. $\tau_k \leq 2\Delta t / r$; параметры закона $m_y = 0$ и $\sigma_y < \sigma_x$.

Если значения последовательностей X и Y не коррелированы, то и случайные значения последовательности суммы $Z=X+Y$ также будут не коррелированы. В результате выполнения этих операций может быть получена последовательность Z с шагом квантования $T = \Delta t / r$, имеющая m случайных значений с параметрами: $\bar{z} = \bar{x}$, $\sigma_z = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$, сохраняющая полезный сигнал $s(t)$ на интервале наблюдения в виде $z(t) = n_1(t) + s(t)$, где $n_1(t) = \eta(t) + y(t)$.

Тогда алгоритм накопления сигналов в шумах с учетом выражения (1) может быть реализован с помощью приемника в составе (рис. 1): схема стробирования (1), сумматор (2), генератор искусственного шума (3), блок накопления (4), состоящий из двух каскадов накопления, оптимальный фильтр (5) и пороговая схема (6).

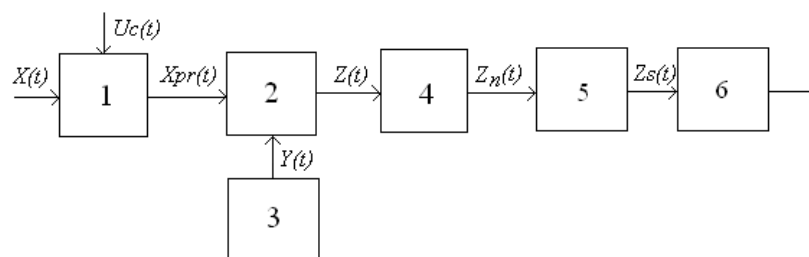


Рис. 1 – Схема приемника с накоплением импульсного сигнала

При этом входной сигнал $X_{pr}(t)$ из схемы стробирования (1) подается в сумматор (2), где в результате суммирования с сигналом $Y(t)$ генератора (3) формируется последовательность $Z(t)$. В первом каскаде блока (4) формируется двойной входной сигнал $z_{об}(t) = z(t) + z(t - t_n)$, из которого вырезается k копий $z_1(t), z_2(t), \dots, z_k(t)$ длительностью $t_u = t_n$, путем сдвига строба $U_{ck}(t)$ относительно начала двойного входного сигнала на величину $[2]$, в частности, равную $0,1t_n, 0,2t_n, \dots$ и так далее, т.е.

$$z_1(t) = z_{об}(t - \tau_1) * U_{ck}(t - \tau_1) = z(t - \tau_1) + z(t - t_n - \tau_1),$$

$$z_2(t) = z_{об}(t - 2\tau_1) * U_{ck}(t - 2\tau_1) = z(t - 2\tau_1) + z(t - t_n - 2\tau_1),$$

$$z_k(t) = z_{об}(t - k\tau_1) * U_{ck}(t - k\tau_1) = z(t - k\tau_1) + z(t - t_n - k\tau_1),$$

где $\tau_1 = 0,1t_n$; $i\tau_1 \leq t \leq (k+i)\tau_1$; $i = 1, 2, \dots, k$.

Для снижения средней шума примерно 1.5% случайно выбранных значений каждой копии исключаются. Затем все k копий синхронизируются и усредняются, т.е. $\bar{z}_1(t) = [z_1(t) + z_2(t) + \dots + z_k(t)] / k$. Далее функция $\bar{z}_1(t)$ подвергается аналогичной обработки во втором каскаде блока (4), принимая вид $Z_2(t) = [\bar{z}_{11}(t) + \bar{z}_{12}(t) + \dots + \bar{z}_{1j}(t) + \dots + \bar{z}_{kk}(t)] / k$. После фильтрации $Z_2(t)$ в блоке (5) подается в пороговую схему (6), где принимается решение о наличии или отсутствии полезного сигнала $s(t)$.

Эффективность алгоритма накопления входного сигнала была проверена на имитационной модели приемника (рис.2).

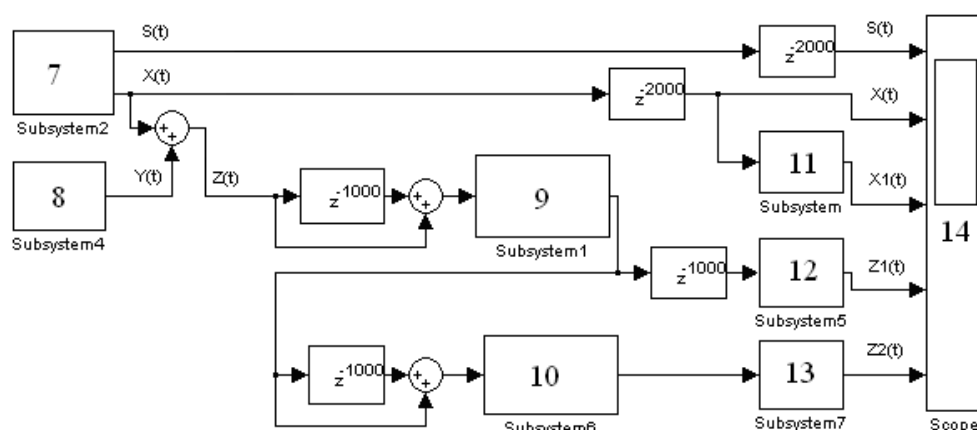


Рис. 2 – Имитационная модель приемника

Имитационная модель состоит из модели входного сигнала (7), модели генератора искусственного шума (8), сумматора, двух формирователей двойного сигнала, первого (9) и второго (10) каскадов накопления, трех оптимальных фильтров (11,12,13) и осциллографа (14).

Исходные значения параметров модели приемника: длительность полезного сигнала $s(t)$ $t_u = t_n = 1 \text{ мкс}$, амплитуда сигнала $S = 0,025 \text{ В}$, шум $\eta(t)$ имитирован функцией Matlab $\text{normrnd}(0,1)$ с шагом квантования $\Delta t = 0,01 \text{ мкс}$, а искусственный шум - $\text{normrnd}(0,0.5)$ с $m_y = 0$, $\sigma = 0,7 \text{ В}$ с шагом $\Delta t = 0,001 \text{ мкс}$. Время расчета – 6 мкс . Число копий в каждом накопителе $k=10$. Отношение сигнал/шум на входе схемы $q=0,025$.

Результаты имитации алгоритма накопления приведены на рис. 3 в виде эпюр элементов приемника, снятые с помощью виртуального осциллографа (Scope). Обозначения на рис.3: $S(t)$ – полезный сигнал; $X(t) = s(t) + \eta(t)$ – входной сигнал; $X_1(t)$ – выходной сигнал без накопления; $Z(t) = X(t) + Y(t)$ – сигнал на входе накопителя; $Z_1(t), Z_2(t)$ – выходной сигнал приемника с одним и с двумя каскадами накопления соответственно.

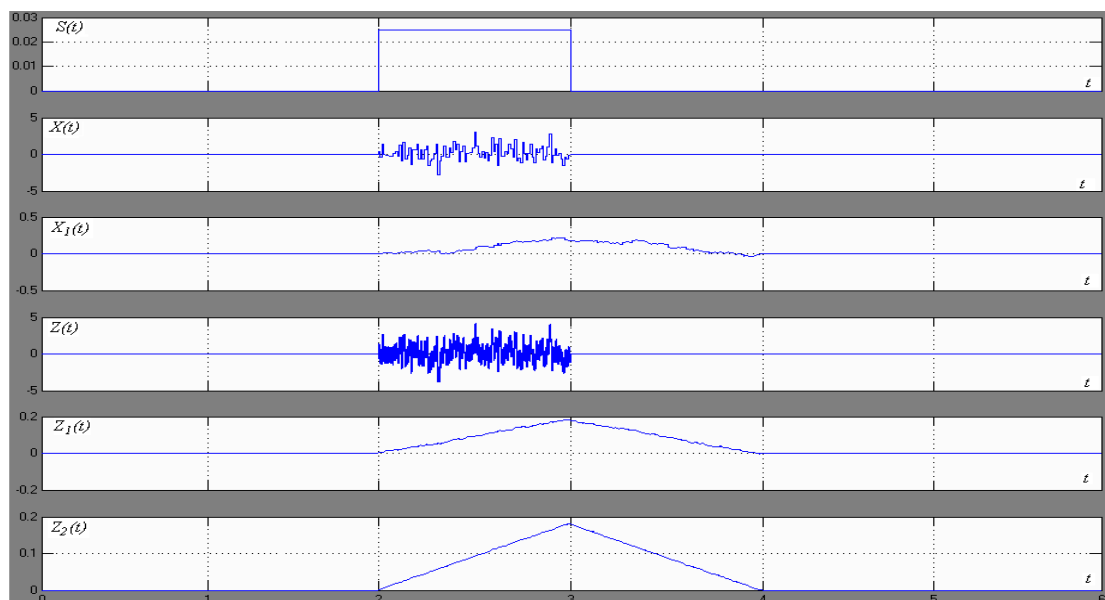


Рис. 3– Эпюры сигналов элементов приемника

Из сравнения амплитуд сигналов $Z_1(t), Z_2(t)$ следует, что отношение сигнал/шум увеличилось с $q=0,025$ до $q=0,5$ на выходе накопителя. Кроме того, оценена вероятность правильного обнаружения сигналов $P_{по} \approx 0,6$, которая с ростом амплитуды $S(t)$ и при $q=0,1$ достигает 90%.

Достоинством алгоритма накопления сигналов является возможность значительного увеличения отношения сигнал/шум при ограниченном числе копий входной реализации. Недостаток алгоритма - накопление постоянной составляющей шума.

Таким образом, предлагаемый алгоритм каскадного накопления сигналов на основе увеличения последовательности случайных значений входного сигнала, позволяет повысить чувствительность оптического приемника.

Список литературы

- 1 *Паничев В.В.*, К оценке потенциальных возможностей накопления сигналов. Современные информационные технологии в науке, образовании и практике. Материалы всероссийской научно – практической конференции (с международным участием). – Оренбург, 2006. – С.42 – 44.
- 2 *Паничев, В.В.* Алгоритм обнаружения оптических импульсных сигналов в условиях фоновых излучений [Электронный ресурс] / В. В. Паничев, Н. А. Соловьев, А. М. Семенов // Научно-технический вестник Поволжья, 2018. - № 5. - С. 129-132. - 3 с.

05.11.00

П.В. Писарев канд. техн. наук, К.А. Максимова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
аэрокосмический факультет,
кафедра механики композиционных материалов и конструкций,
Пермь, pisarev85@live.ru

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ РЕЗОНАТОРОВ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ПАДЕНИИ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

В рамках настоящей работы представлены результаты численного моделирования нормального распространения звуковой гармонической волны в интерферометре с сотовыми резонаторами Гельмгольца. Выявлено взаимовлияние близко расположенных сотовых резонаторов при нормальном падении звуковой волны. Установлено, что акустическая эффективность пары резонаторов при совместной работе ниже, чем у одиночного резонатора.

Ключевые слова: звукопоглощающие конструкции, резонатор Гельмгольца, взаимовлияние, нормальное падение звуковой волны, коэффициент потери акустического давления, численное моделирование.

В настоящее время в связи с высокими требованиями, предъявляемыми Международной организацией гражданской авиации и ужесточением норм на шум, акустические характеристики авиационных двигателей становятся важнейшими показателями конкурентоспособности самолетов, и современные звукопоглощающие конструкции являются предметом исследований многих отечественных [1-3] и зарубежных [4-6] ученых. Облицовка каналов авиационного двигателя резонансными звукопоглощающими конструкциями (ЗПК) является основным способом снижения шума вентилятора авиационного двигателя. Конструкции таких ЗПК представляют собой ячейки (резонаторы) относительно простой геометрической формы (соты, коробки, трубки и др.), перекрытые тонкими листами с разной степенью перфорации [7].

Для выбора более эффективной конструкции ЗПК, возникает необходимость в исследовании свойств как отдельно взятого [8], так и группы резонаторов при их совместной работе [9]. В связи с чем разработка математических моделей и численный расчет акустической эффективности резонаторов ЗПК является актуальной задачей.

В рамках настоящей работы представлены результаты численного моделирования нормального распространения звуковой гармонической волны в интерферометре с сотовыми резонаторами Гельмгольца. В рамках проведенных вычислительных экспериментов исследовалось взаимовлияние резонаторов. Расчетная область включала в себя пространство внутри ячейки ЗПК и часть канала интерферометра длиной 100 мм. Осуществлялся расчет коэффициента звукопоглощения, производимого резонаторами Гельмгольца при совместной работе, в диапазоне рабочих частот 500-3000 Гц.

Для проведения вычислительных экспериментов были построены две геометрические модели. В рамках модели 1 рассматривается единичный сотовый резонатор, модели 2 пара близкорасположенных резонаторов. Обе модели содержат свободный объем интерферометра длиной 100 мм. Геометрические характеристики сотовых резонаторов принимались следующими: высота 30 мм, длина стороны гексагона 5 мм, диаметр горла 2 мм и высота горла 1 мм. Общий вид геометрических моделей представлен на рисунке 1.

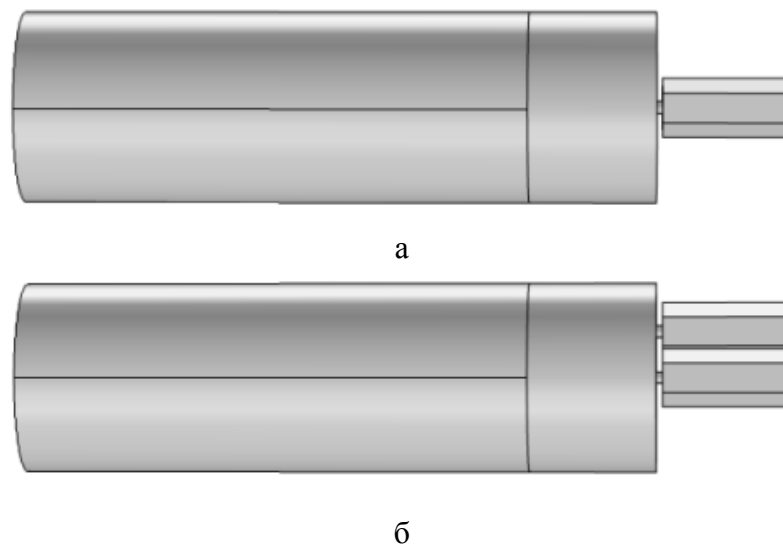


Рис. 1 - Геометрические модели: а - с единичным резонатором; б - с двумя резонаторами

Для лучшей сходимости решения и снижения погрешностей получаемых результатов применялась расчетная сетка, ячейки которой имеют форму, близкую к форме равностороннего тетраэдра. Максимальный размер элемента определялся как $N_{\max} = 343[\text{м/с}]/6[\text{кГц}]/10 = 5,7\text{мм}$, минимальный размер элемента принимался $N_{\min} = 0,0167\text{мм}$, общее количество элементов составило 55 тысяч элементов. Помимо прочего при измельчении сетки избегались резкие отличия геометрических размеров соседних ячеек – линейные размеры соседних ячеек не отличаются более, чем в 2 раза [10].

Для решения поставленной задачи сформулирована математическая модель, которая описывает нормальное распространение звуковой гармонической волны в цилиндрическом канале с сотовыми резонаторами Гельмгольца. Модель учитывает потери на вязкое трение и теплопроводность воздуха и включает в себя систему линеаризованных в частотной области уравнений Навье-Стокса.

$$\begin{aligned}
 i\omega\rho + \rho_0(\nabla \cdot \mathbf{U}) &= 0 \\
 i\omega\rho_0\mathbf{U} &= \nabla \cdot \left(-p\mathbf{I} + \mu(\nabla\mathbf{U} + (\nabla\mathbf{U})^T) - \left(\frac{2\mu}{3} - \mu_v \right) (\nabla \cdot \mathbf{U})\mathbf{I} \right) \\
 i\omega\rho_0 C_p T &= -\nabla \cdot (-k\nabla T) + i\omega p T_0 \alpha_0 + Q \\
 \rho &= \rho_0(\beta_T p - \alpha_0 T)
 \end{aligned}$$

где ρ – плотность; $\mathbf{U}$ – вектор колебательной скорости; p – акустическое давление, T – температура; μ – коэффициент динамической вязкости; μ_v – коэффициент объемной вязкости; C_p – удельная теплоёмкость среды при постоянном давлении; k – коэффициент теплопроводности; α_0 – коэффициент теплового расширения; β_T – коэффициент сжимаемости; Q – внешние источники тепловой энергии.

В качестве граничных условий на входе в цилиндрический канал задавалась плоская гармоническая волна с амплитудой 10 Па. Стенки канала принимались изотермическими, с температурой окружающей среды 20°C и нулевым вектором скорости.

По результатам вычислительных экспериментов были получены зависимости коэффициента звукопоглощения от частоты. При рассмотрении результатов численных экспериментов, полученных по моделям 1 и 2, выявлено, что наибольшее значение коэффициента звукопоглощения наблюдается у модели 1 и составляет 0,995 при резонансной частоте 1720 Гц. Для модели 2 коэффициент звукопоглощения составил 0,922 при резонансной частоте 1710 Гц (рис.2).

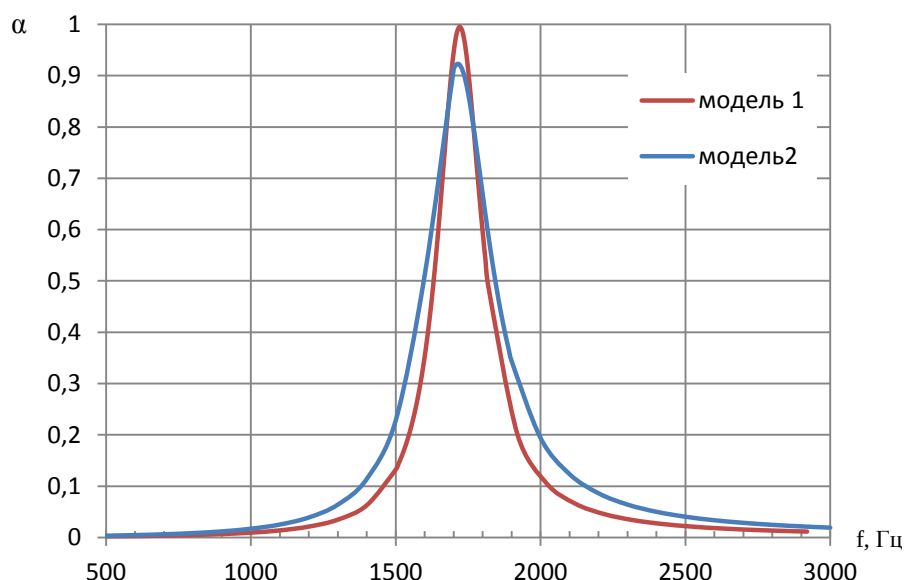


Рис. 2 - Графики зависимости акустической эффективности от собственной частоты резонатора

Анализ полученных результатов выявил, взаимовлияние близко расположенных сотовых резонаторов при нормальном падении звуковой волны. Установлено, что акустическая эффективность пары резонаторов при совместной работе ниже, чем у одиночного резонатора.

Исследование выполнено в Пермском национальном исследовательском политехническом университете при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-79-00295).

Список литературы

1. Мунин А.Г., Квитка В.Е. *Авиационная акустика*. - М.: «Машиностроение». - 1973. - 448 с.
2. Чигрин В.С., Белова С.Е. *Конструкция форсажных камер и выходных устройств авиационных ГТД* / Рыбинск. гос. авиац. техн. ун-т. - Рыбинск, 2004. - 38 с.
3. Бакланов В.С., Постнов С.С., Постнова Е.А. Расчет резонансных звукопоглощающих конструкций для современных авиационных двигателей // Математическое моделирование. - 2007. - Т.19, № 8.- С. 22-30
4. Mao Q., Pietrzko S. Experimental study for control of sound transmission through double glazed window using optimally tuned Helmholtz resonators // *Applied Acoustics*. - 2010. - Vol. 71. - P. 32-38
5. Ho J.H., Berkhoff A. Comparisons between various cavity and panel noise reduction control methods in double-panel structures // *The Journal of the Acoustical Society of America*. - 2012. - Vol. 131(4). - P. 3501-3501
6. Jen-Hsuan Ho, Berkhoff A. Development of dynamic loudspeakers modified as incident pressure sources for noise reduction in a double panel structure // *ICSV20*. - Bangkok, Thailand. - July, 2013. -P. 7-11
7. Федотов Е.С., Кустов О.Ю., Храмов И.В., Пальчиковский В.В. Сравнительный анализ акустических интерферометров на основе расчетно-экспериментальных исследований образцов звукопоглощающих конструкций // *Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника*. - 2017. - № 48. - С.89-101.
8. Захаров А.Г., Аношкин А.Н., Паньков А.А., Писарев П.В., Акустические резонансные характеристики двух- и трехслойных сотовых звукопоглощающих панелей // *Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника*. - 2016. - № 46. - С.144-159.
9. Mahmud Md. A., Hossain Md. Z., Islam Md. S., Morshedd Mir Md. M., Noise attenuation by two one degree of freedom Helmholtz resonators // *Global Science and Technology Journal*. -2015. - № 3(1). - p. 1 - 9.
10. Комкин А.И., Миронов М.А., Юдин С.И., Собственная частота резонатора Гельмгольца на стенке прямоугольного канала // *Акустический журнал*. - 2014. - т. 60, № 2. - с. 145-151.

05.11.00

¹Ф.Ф. Рамазанов канд. техн. наук, ²И.Ф. Рамазанов

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет,
Набережночелнинский институт,
отделение информационных технологий и энергетических систем,
¹кафедра физики, ²кафедра высокоэнергетических процессов и агрегатов,
Набережные Челны, kafiziki@mail.ru

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ И ГАЗА ЛАЗЕРНЫМ ДОПЛЕРОВСКИМ АНЕМОМЕТРОМ

В статье рассматривается применение лазерного доплеровского анемометра для бесконтактного измерения параметров потоков жидкости и газа с высокой степенью турбулентности. В ходе метрологических испытаний автоматизированной системы измерения доплеровского сдвига частоты установлено, что метод лазерного доплеровской анемометрии позволяет определить скорость потока с достаточно высокой точностью.

Ключевые слова: лазерный доплеровский анемометр, измерительный объём, светорассеивающие частицы, доплеровский сдвиг частоты.

При исследовании турбулентных потоков жидкости и газа кроме средней скорости потока и пульсации скорости, важно определить направление вектора скорости потока. Для этой цели наиболее оптимальными являются двухкомпонентные лазерные доплеровские анемометры (ЛДА), хотя и они при этом имеют существенный недостаток – для определения ориентацию вектора в пространстве в каждой точке потока необходимо измерить скорость в двух плоскостях.

Для определения двух компонентов скорости потока используются две линии излучения аргонного лазера. При этом в измерительном объёме (ИО) формируются две ортогональные системы интерференционных полос, образованными двумя световыми волнами различной частоты. Для определения знака двух проекций скорости используется ячейка Брэгга. Системы на базе ЛДА используются для одноточечных измерений в потоках жидкости и газа с неизвестным направлением течения с высокой степенью турбулентности.

На рис.1 показано формирование сигнала ЛДА при движении светорассеивающей частицы (СР) в измерительном объёме, и зависимость глубины модуляции сигнала от размера частиц.

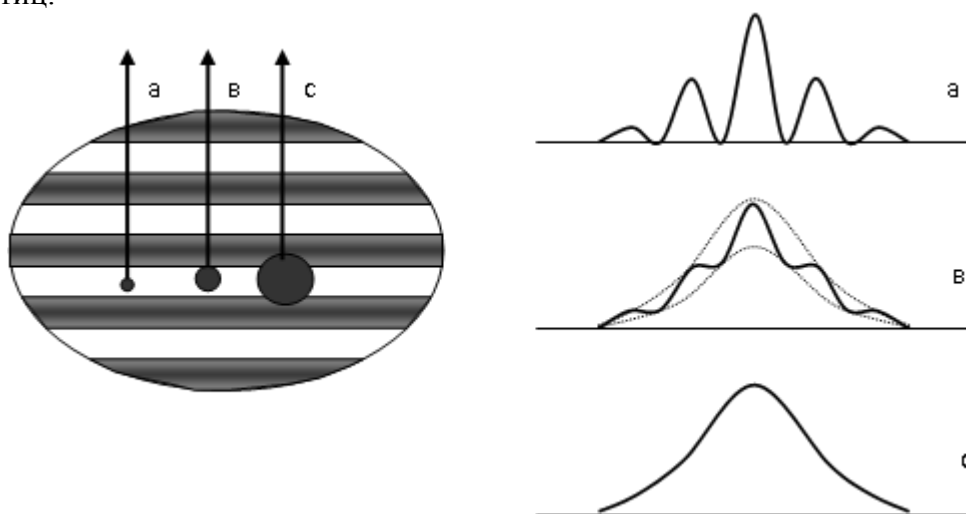


Рис. 1. Зависимость глубины модуляции сигнала от размера частиц

В двухкомпонентном ЛДА измерительный объем формируется при наложении двух пар ортогонально расположенных лучей. Если в некоторой точке пространства сведены две световые волны со слегка отличными частотами ν_1 и ν_2 ($\Delta\nu = \nu_1 - \nu_2 \ll \nu_1 + \nu_2$):

$$E_1 = E_0 \cos(2\pi\nu_1 t - k_1 z) \quad \text{и} \quad E_2 = E_0 \cos(2\pi\nu_2 t - k_2 z), \quad (1)$$

где k_1 и k_2 волновые числа, z - координата точки, отсчитываемая в направлении световых волн, то образуется результирующая волна:

$$E = E_1 + E_2 = 2E_0 \cos[2\pi(\nu_1 - \nu_2)t/2 - (k_1 - k_2)z/2] \cdot 2E_0 \cos[2\pi(\nu_1 + \nu_2)t/2 - (k_1 + k_2)z/2]. \quad (2)$$

Так как $|\nu_1 - \nu_2| \ll \nu_1 + \nu_2$, то множитель

$$2E_0 \cos[2\pi(\nu_1 - \nu_2)t/2 - (k_1 - k_2)z/2] \quad (3)$$

представляет собой медленно меняющуюся амплитуду результирующей волны. Скорость изменения амплитуды можно найти, определив фазовую скорость из условия:

$$2\pi(\nu_1 - \nu_2)t/2 - (k_1 - k_2)z/2 = \text{const}. \quad (4)$$

$$\text{откуда: } \frac{dz}{dt} = \frac{2\pi(\nu_1 - \nu_2)}{k_1 - k_2}. \quad (5)$$

Если частоты падающих световых волн одинаковы ($\nu_1 = \nu_2$), то $\frac{dz}{dt} = 0$ и рабочий объем представляет собой неподвижную интерференционную картину. Если частоты двух волн различны ($\Delta\nu_1 = \nu_1 - \nu_2 \neq 0$), то $\frac{dz}{dt} = V_{\text{ин}} = \text{const}$ и в наблюдаемой в ИО интерференционной

картине наблюдается непрерывная смена максимумов на минимумы и наоборот, т.е. наблюдается бегущая интерференционная картина со скоростью перемещения полос $V_{\text{ин}}$. В этом случае оказывается возможным определение направления движения частицы в потоке через ИО и соответственно вектора скорости.

Частица, пролетая через измерительный объем, пересекает интерференционные полосы и интенсивность света, рассеянного ею, синусоидально изменяется во времени. Частота этого изменения является функцией разности частот двух световых лучей $\Delta\nu$, скорости частицы $\vec{V}$ и относительного угла между рассеянными частицей лучами, характеризуемого разностным волновым вектором $\vec{K}$:

$$\Delta\nu'_d = \nu_1 - \nu_2 - \frac{\vec{V} \cdot \vec{K}}{2\pi} \quad (6)$$

где $\frac{\vec{V} \cdot \vec{K}}{2\pi} = \Delta\nu_d$ - "истинный" доплеровский сдвиг частоты, обусловленный скоростью движения частицы $\vec{V}$.

$$\text{Если } \nu_1 = \nu_2, \text{ то } \Delta\nu'_d = \Delta\nu_d = -\frac{\vec{V} \cdot \vec{K}}{2\pi}. \quad (7)$$

Система обработки определяет абсолютную величину изменения частоты и вследствие этого возможно определение лишь абсолютного значения скорости из соотношения:

$$\Delta\nu_d = \left| -\frac{\vec{V} \cdot \vec{K}}{2\pi} \right| \quad (8)$$

Таким образом, в случае $\nu_1 = \nu_2$, независимо от направления движения частицы, одинаковые по абсолютной величине скорости движения частицы приводят к одному и тому же значению $\Delta\nu_d$.

Если частоты двух волн различаются $\nu_1 \neq \nu_2$, тогда

$$\Delta\nu'_d = \left(\Delta\nu - \frac{\vec{V} \cdot \vec{K}}{2\pi} \right). \quad (9)$$

В этом случае знак скорости (направление движения частицы) определится по тому, будет ли найденное фотоприемным блоком значение $\Delta \nu'_d$ больше или меньше $\Delta \nu$.

В зависимости от того, движется частица в направлении движения интерференционных полос или в противоположную сторону, фотоприемник фиксирует различную частоту. В частности, если $\vec{v}_{ин} \uparrow \uparrow \vec{V}$, $\Delta \nu'_d < \Delta \nu_d$. Если же $\vec{v}_{ин} \uparrow \downarrow \vec{V}$, то $\Delta \nu'_d > \Delta \nu_d$. Если частица и интерференционные полосы движутся в одном направлении фиксируется частота $\Delta \nu'_d < |\Delta \nu_d|$. В противном случае $\Delta \nu'_d > |\Delta \nu_d|$.

Выше описано определение только одной компоненты скорости, например, V_x . Использование еще одной пары лучей позволяет независимое определение еще одной компоненты скорости V_y .

Полное значение скорости частицы в плоскости ХУ равно

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}. \quad (10)$$

Таким образом, определение направления скорости V с помощью ЛДА возможно, если частота света в одном из лучей отлична от частоты в другом.

Потенциальная точность метода ЛДА, согласно литературе [1], порядка 0,1%. В системе измерения скорости потока, описанной в [2,3,4], это значение точности не достигается. Это обусловлено, прежде всего, конечным временем пролета частиц через ИО. При максимальной скорости потока 150 м/с и размерах ИО 144 мкм время пролета частицы через измерительный объем составляет приблизительно 1 мкс. Средняя квадратичная ошибка

измерения временного интервала методом дискретного счета $\frac{T_{\Delta}}{6} = \frac{10}{6} \text{ нс} \approx 1,7 \text{ нс}$, при

частоте эталонного генератора 100 МГц. При заданных параметрах установки и максимальных скоростях потока минимальная ошибка, которую можно достичь, составляет 0,17%.

Для определения предельной точности экспериментальной установки были произведены метрологические испытания по следующей схеме (рис.2):

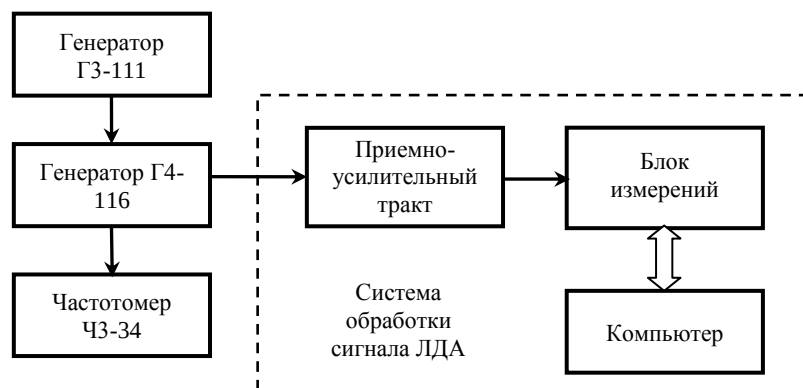


Рис. 2. Схема проведения метрологических испытаний.

На вход системы обработки подавался высокочастотный амплитудно-модулированный сигнал, который формировался с помощью двух генераторов. Частота модуляции задавалась с помощью генератора ГЗ-111. В качестве источника амплитудно-модулированного высокочастотного сигнала использовался высокочастотный генератор Г4-116, работающий в режиме внешней модуляции. Параметры сигнала, моделирующий сигнал ЛДА, были выбраны исходя из параметров реального сигнала ЛДА:

- частота заполнения 75...85 МГц;
- амплитуда сигнала 10 мкВ – 0.5 В;
- длительность сигнала 1 мкс – 500 мкс.

В серии испытаний электронной системы измерения доплеровского сдвига частоты определялись частота заполнения амплитудно – модулированного сигнала и относительная ошибка измерения частоты, и тем самым скорости потока жидкости и газа (рис.3). При этом истинное значение частоты контролировалось с помощью частотомера ЧЗ – 34. При малых значениях амплитуды сигнала ($\sim 10 \dots 100$ мкВ), существенную роль начинали играть шумы – собственные шумы измерительной аппаратуры, шумы, вызванные нестабильностью напряжения питания и шумы, наведенные электромагнитным излучением радиочастотного диапазона.

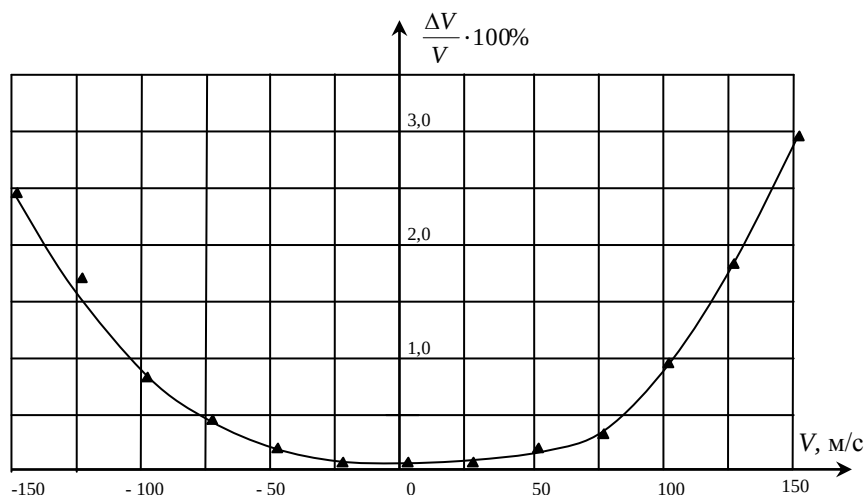


Рис. 3. Зависимость относительной ошибки измерения от скорости

Проведенная серия метрологических испытаний исследовательской установки позволила сделать следующие выводы:

1) Даже при наиболее неблагоприятных параметрах сигнала ЛДА – частоте заполнения 85 МГц и длительности сигнала 1 мкс, что соответствует движению с максимально возможной скоростью (150 м/с) против направления движения интерференционных полос, относительная ошибка измерения меньше 3%.

2) При больших длительностях сигнала (~ 0.5 мс), когда время измерения ограничивалась только емкостью счетчика кода Т, достигалась потенциально возможная точность системы обработки порядка 0,17%. Этот режим соответствовал «зависанию» частицы в измерительном объеме.

Список литературы

1. Клочкив В.П., Козлов Л.Ф., Потыкевич И.В., Соскин М.С. Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия. Киев, «Наукова думка», 1985г., 760с.
2. Krishtal V.I., Strashinakij C. S., Milovanov V.N., Ramazanov F.F., Gajsin O.V., Zagirov R.G., Alivanov V.V., Yunusov N.B. An automatic two-component doppler anemometer// *Instrumentns and Experimental Techniques*. 1993. Vol. 36. №6. P. 202 -203.
3. Рамазанов Ф.Ф. Автоматизированная система измерения параметров потоков газов в технологических установках. Автореферат диссертации на соискание уч.степени канд.техн.наук. Наб.Челны. КамПИ, 2004г.
4. Рамазанов Ф.Ф., Рамазанов И.Ф., Ряднинская Л.Ф. Исследование потоков в энергетических установках с применением лазерного доплеровского анемометра. «Энергосбережение. Наука и образование». Сборник докладов под ред. д.т.н. И.Х. Ибрафилова.-Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр НЧИ К(П)ФУ, 2017.-791с. С. 82-85.

05.11.00

**М.К. Седанкин канд. техн. наук, И.В. Нелин канд. техн. наук, С.А. Хворостов,
М.С. Хворостов, В.А. Скуратов, С.Д. Мерцалов**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование»,
ФГБУ «ГНИИЦ РТ» МО РФ,
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России Москва,
НПО «Экомед», АО «ВНИИРТ»,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru, msedankin@yandex.ru

ЭЛЕКТРОННЫЕ МИНИРОБОТЫ И ЭНДОГЕННЫЙ ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

Рассмотрено применение в медицине миниробота, создающего процессы электрофореза внутри организма человека. Миниробот специальными импульсами стимулирует слизистые оболочки желудочно-кишечного тракта, перемещаясь в организме за счёт естественной перистальтики кишечника. Для оценки противоопухолевых свойств импульсной электротерапии проведены исследования туморицидной эффективности миниробота в культурах опухолевых клеток. Исследования показали, что миниробот значительно повышает резистентность организма к опухолям, обладает противоопухолевым эффектом, а также резко усиливает эффект химиотерапевтических препаратов.

Ключевые слова: минироботы, медицинская робототехника, эндогенный электрофорез, импульсная электротерапия.

Введение

В ближайшие годы прогнозируется бурное развитие робототехники. Важное значение в системе здравоохранения приобретают медицинские робототехнические комплексы (МРТК), которые необходимо рассматривать как устройства, обладающие следующими характеристиками: автономность, универсальность и автоматичность. Исходя из задач медицинской службы ВС РФ минироботы относятся к лечебно-диагностическим робототехническим системам, предназначенным для размещения в условиях стационаров [1,2].

В зависимости от среды функционирования МРТК подразделяются на следующие группы: интрабиологические – полностью погружённые во внутреннюю среду организма; экстрабиологические – частично погруженные. Объектом исследования настоящей работы являются капсульные интрабиологические роботы, которые могут быть использованы для диагностики и лечения. Капсульные роботы продуцируют электрофорез, оказывая нормализующее воздействие на организм человека, поэтому название электронных нормализаторов (ЭН) [1,3-9].

Типичный ЭН (рис.1) состоит из втулки (3) с двумя колпачками – электродами (1) и (2). Внутри втулки размещены 3 элемента электропитания типа (4), под одним из колпачков-электродов находится микропроцессор (5) соединенный через контакт (7) с (4), управляющий генерацией импульсов, под другим – пружина (6), поджимающаяся элементы электропитания. Два металлических полукорпуса являются одновременно электродами и вибраторами антенн, внутри которых находятся микропроцессор и блок питания. Находясь внутри желудочно-кишечного тракта, робот электрическим раздражением создает перистальтическую волну, которая продвигает капсулу в дистальные отделы кишечника. Последние, получив серию электрических импульсов, вновь перемещают капсулу дистальнее и так до ее выхода из организма. Типичные параметры электрических импульсов, создаваемых ЭН следующие: длительность импульса, мс: 0,5—1,2; период следования импульсов, мс: 15—33; длительность 1-й серии импульсов, мс: 270—560; период следования 1-й серии импульсов, с: 32—62; длительность 2-й серии импульсов, мс: 32—62; период следования 2-й серии импульсов, с: 75—135.

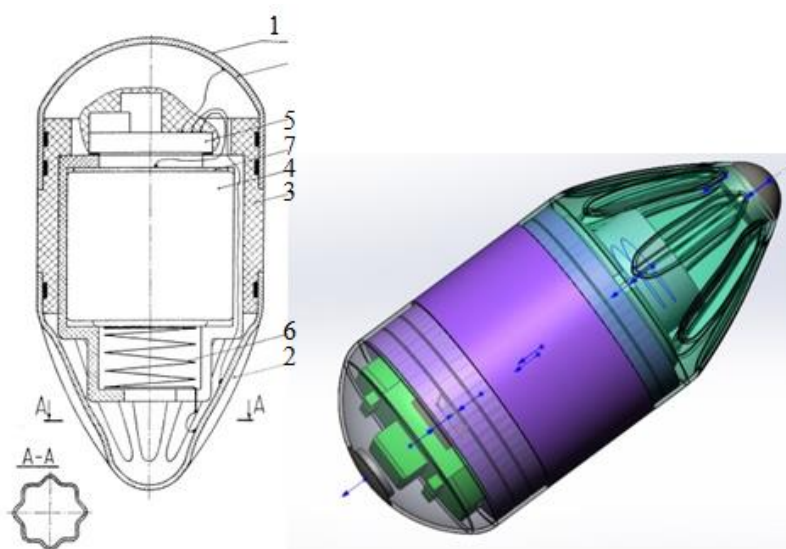


Рис. 1. Конструкция электронного миниробота

На базе различных медицинских учреждений проводятся исследования эффективности применения ЭН в терапии различных заболеваний и позитивной коррекции гомеостаза. Настоящая работа посвящена исследованию лечебного эффекта ЭН, выполненных на базе НИИ детской гематологии МЗ РФ. Проведены исследования прямой и непрямой туморицидной активности ЭН в краткосрочных и долгосрочных клеточных культурах.

Материалы и методы

ЭН представляет собой микроэлектронную капсулу (проглатываемый процессор со встроенным источником питания, цилиндрический сфероид размером $\varnothing 11 \times 22$ мм), которая воздействует на организм электромагнитными полями, импульсными токами и ионным облаком, формируемым микропроцессором ЭН. Микропроцессор формирует ионный поток и осуществляет его пространственную регуляцию. В жидкостной среде содержащей биологические объекты, создается электрохимический процесс. Объектом исследования служили перитонеальные макрофаги крыс (асцитная лимфома EL-4 и саркома MCA/77-23). Опухоли перевивались на 8-10 недельных мышах линии C57BL/6J (H-2k). Продукцию свободных радикалов кислорода макрофагами оценивали по интенсивности люминол-зависимой хемилюминесценции (ХЛ) (спонтанной и активированной частицами латекса). Измерения интенсивности люминол- и люцигенин-зависимой ХЛ проводили в режиме постоянного перемешивания содержимого измерительной кюветы при постоянной температуре 37 °С. Исследуя эффекты ЭН на продукцию кислородных радикалов фагоцитирующими клетками, ЭН помещали в культуру макрофагов и производили отбор клеток для анализа через 30, 60, 120 и 180 мин. В контрольную культуру помещали плацебо. Продукцию фактора некроза опухолей (α -TNF) перитонеальными макрофагами определяли с помощью иммуноферментного метода. Для определения противоопухолевой активности ЭН клетки культивировали в 6-луночных планшетах в объеме 8 мл культуральной среды с концентрацией клеток, равной $(3,5-4) \cdot 10^5$ клеток/мл. В опытную лунку помещали исправный ЭН, в контрольную — неработающий ЭН. Через 1, 6 и 24 ч клетки ресуспендировали непосредственно в лунках и забирали часть суспензии для определения параметров их функционирования и структурной целостности. Оценка жизнеспособности клеток в культуре определяли по окраске витальным красителем трипановым синим, для чего добавляли к культуре 5%-ный раствор красителя и через 5 мин микроскопически определяли количество окрашенных нежизнеспособных клеток. Более подробно результаты исследований изложены в [1,9].

В результате исследований было обнаружено, что ЭН статистически значимо усиливает спонтанную люминол-зависимую ХЛ и угнетает спонтанную люцигенин-зависимую ХЛ (табл.1). Максимальное активирующее воздействие ЭН отмечено через 60 мин совместной инкубации (эффект усиления 280%!).

Табл. 1. Влияние АЭС на интенсивность люминол- и люцигенин-зависимой ХЛ перитонеальных макрофагов

Время инкубации, мин	Интенсивность люминол. ХЛ, (% от контр.)		Интенсивность люцигенин. ХЛ, (% от контр.)	
	спонтан.	активирован.	спонтан.	активирован.
0	100	100	100	100
30	152	161	н.а.	н.а.
60	280	0	23	75
120	196	0	17	68
180	148	0	н.а.	н.а.

Усиление люминол-зависимой ХЛ указывает на усиление продукции кислородных радикалов, образующихся в результате разложения пероксида водорода, обладающего наибольшей цитотоксичностью. Напротив, люцигенин-зависимая ХЛ регистрирует образование важных в физиологическом отношении супероксидных радикалов, которые, практически не влияют на жизнеспособность опухолевых клеток. Примечательно, что через 60 мин инкубации ЭН с суспензией макрофагов наблюдалось максимальное усиление продукции α -TNF фагоцитирующими клетками (табл. 2). Пролиферативная активность клеток значительно снижалась под влиянием ЭН через 1 и 6 ч после начала кокультивации.

Табл.2. Влияние АЭС на продукцию α -TNF перитонеальными макрофагами

Время инкубации с АЭС	Концентрация α -TNF, пг/мл
0	173 $\pm$ 43
30	151 $\pm$ 24
60	237 $\pm$ 68
120	164 $\pm$ 35
180	102 $\pm$ 38

Так индекс угнетения включения тимидина в ДНК составил 1 ч воздействия ЭН 0,74 $\pm$ 0,06 для клеток EL-4 и 0,8 $\pm$ 0,05 для клеток МСА/77-23. Аналогичная величина через 6 ч совместной культивации равнялась 0,5 $\pm$ 0,01 ($p < 0,05$) для клеток EL-4и 0,6 $\pm$ 0,04 для клеток МСА/77-23. Колониеобразующая способность опухолевых клеток под воздействием ЭН изучена на EL-4 в фазе логарифмического роста опухоли. Исходно количество колоний, образовавшихся в капиллярах, было равно 20,0 $\pm$ 1,8; Кэф = 0,04%. Через 1 ч количество колоний незначительно снижалось, достигая величины 15,0 $\pm$ 1,6; Кэф = 0,03%. Через 6 ч инкубации количество колоний в опытных капиллярах снижалось до 1-2; Кэф = 0,0002%. Количество колоний в контрольных капиллярах практически не изменялось в зависимости от времени инкубации и составило соответственно 20,0 $\pm$ 1,7; 20,0 $\pm$ 1,4; 19,0 $\pm$ 1,5; Кэф = 0,04%. Таким образом, наблюдалось достоверное снижение Кэф через 6 ч ($p < 0,05$). Проведенные исследования показали, что ЭН обладает выраженным противоопухолевыми свойствами. ЭН достоверно снижает пролиферирующую активность клеток опухолей в культуре, о чем судили по угнетению включения тимидина в ДНК быстро делящихся клеток.

Заключение

Стремительное развитие робототехники и медицины побуждает исследователей к созданию перспективных медицинских робототехнических комплексов. Сегодня крайне актуален вопрос использования минироботов в медицине. ЭН не является традиционным медикаментозным средством, не вызывая аллергических и токсических реакций. Можно предположить, что слабое электромагнитное квазистационарное поле, создаваемое ЭН, угнетает метаболизм и скорость пролиферации опухолевых клеток. ЭН обладает способностью значительно снижать колониюобразование опухолевых клеток, которая характеризует скорость метастазирования. ЭН существенно повышает противоопухолевую активность клеток-фагоцитов, усиливая продукцию свободных радикалов кислорода α -TNF. Однако молекулярно-клеточный механизм подобной активности остается неизученным и требует дополнительных исследований.

Список литературы

1. Седанкин М.К., Хворостов С.А. и др. Применение капсульного миниробота в медицине // *Качество и жизнь*. – 2017. – №. 3. – С. 96-104.
2. Юдин А.Б., Чепур С.В., Шестаков С.В. Использование робототехники в интересах медицинской службы Вооруженных сил // *Военно-медицинский журнал*. – 2013. – Т. 334. – №. 6. – С. 49-53.
3. Хворостов С.А. Электронный нормализатор // Патент РФ № 2071368, класс а61N1/375. заявл. 30.01.1996; опубл. 10.01.1997
4. Креминская В.М., Мкртумян А.М., Бабаболкин М.И. Влияние автономного электростимулятора желудочно-кишечного тракта и слизистых оболочек на состояние углеводного и липидного обмена у больных сахарным диабетом // *Сахарный диабет*. 1999. № 3. С. 43-45
5. Хворостов С.А. Влияние автономного микроробота «Электронный нормализатор» на состояние углеводного обмена у больных сахарным диабетом // *Нано- и микросистемная техника*. 2006. № 12. С. 26-29
6. Предварительный отчет по теме: "Программа клинических испытаний по исследованию влияния электронного нормализатора, выпускаемого НПО "Экомед" (с процессором МАСИ431116.002) на состояние липидного обмена, качества жизни и психологического статуса у ликвидаторов аварии на ЧАЭС". / Под рук. В.М.Шамарина. Исполнители: Кукушкин С.К., Маношкина Е.М. // ГНИЦ профилактической медицины МЗ РФ. – М. – 1997. [Электронный ресурс] http://www.nprocomed.com/index_old.htm. (Дата обращения: 09.03.2019)
7. Седанкин М.К., Хворостов С.А. и др. Использование электронных нормализаторов в медицине // *Качество и жизнь*. – 2018. – №. 4. – С. 38-45
8. Отчет о клиническом исследовании влияния автономного электростимулятора желудочно-кишечного тракта и слизистых оболочек - "электронного нормализатора" на углеводный и липидный обмен, а также на секреторную функцию некоторых эндокринных желез/Под рук. Балаболкин М.И. Исполнители: Мкртумян А.М., Креминская В.М., Кафедра эндокринологии и диабетологии ММА им. И.М.Сеченова. 1996. [Электронный ресурс] http://nprocomed.com/enorm/enotz1_1.htmДата обращения:03.04.2019
9. Отчет «Противоопухолевые свойства автономного электростимулятора желудочно-кишечного тракта и слизистых оболочек (АЭС ЖКТ и СО) в культуре клеток» желез/Под рук. Л.Г.Коркиной. НИИ детской гематологии МЗ РФ.1994[Электронный ресурс] http://nprocomed.com/enorm/enotz14_1.htmДата обращения:03.04.2019

05.11.00

**М.К. Седанкин канд. техн. наук, И.В. Нелин канд. техн. наук, С.А. Хворостов,
М.С. Хворостов, В.А. Скуратов, С.Д. Мерцалов, М.С. Виноградов**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование»,
ФГБУ «ГНИИЦ РТ» МО РФ,
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России Москва,
НПО «Экомед», АО «ВНИИРТ»,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru, msedankin@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ПАЦИЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ МИНИРОБОТОВ

Рассмотрено применение в медицине электронного миниробота, стимулирующего желудочно-кишечный тракт организма человека, перемещающегося за счёт активации естественной перистальтики кишечника. Выполнены исследования влияния миниробота на состояние углеводного и липидного обмена пациентов, имеющих сахарный диабет. Установлено, что использование данных минироботов в комплексной терапии сахарного диабета сопровождается улучшением компенсации, что подтверждается пролонгированным снижением уровня гликированного гемоглобина, повышением уровня иммунореактивного инсулина и холестерина ЛПВП, снижением уровня общего холестерина, триглицеридов и холестерина ЛПНП.

Ключевые слова: минироботы, медицинская робототехника, эндогенный электрофорез, импульсная электротерапия.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня сахарный диабет (далее СД) является важной социальной проблемой. Общая численность пациентов с СД в России по состоянию на 2016 г. составила около 3 % населения, т.е. 4,348 млн. чел. Сохраняется рост распространённости СД преимущественно за счёт СД типа 2. В США на 2015 г. зарегистрировано 30,3 млн. человек, имеющих СД, что составляет почти 10% населения страны [1-3]. В течение предстоящих 15-20 лет прогнозируется бурное развитие робототехники. Важное место в подобных исследованиях занимают медицинские роботы, основное назначение которых – повышение эффективности оказания медицинской помощи гражданам при условии минимизации человеческого фактора.

Объектом исследования настоящей работы являются медицинские интрабиологические капсульные роботы, разработанные и выпускаемые НПО «Экомед», которые могут быть использованы в мирное время для диагностики и лечения военнослужащих и гражданских лиц. Также минироботы могут быть применены непосредственно в полевых медицинских частях в условиях, приближенных к боевым [4,5]. Капсульные минироботы оказывают управляющее воздействие на организм человека и являются терапевтическими устройствами. Этим минироботам Министерством здравоохранения РФ присвоено название «Электронный нормализатор» (ЭН), т.к. их воздействие на организм является нормализующим [4-6,10]. Кроме того, в настоящее время капсульные роботы используются в качестве эндоскопической визуализации желудочно-кишечного тракта. Планируется, что они в будущем смогут осуществлять различные медицинские манипуляции: визуализация в реальном времени, микрохирургия, биопсия, адресная доставка лекарств, удаление опухолей, воздействие на примыкающие к кишечнику органы и многое другое [7-9].

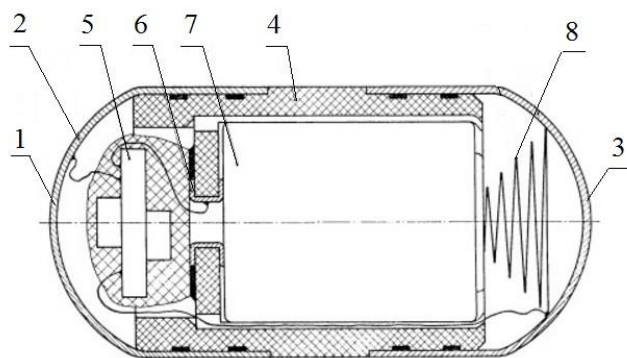


Рис. 1. Конструкция электронного миниробота

На рис. 1 схематически представлен вариант конструкции ЭН. Электроды (2) и (3), изолированные втулкой (4), образуют вместе неразъемный герметичный корпус (1), внутри которого размещен микропроцессор (5). Первый полюс питания (7) соприкасается с контактным элементом (6), а второй – прижимается пружиной (8) для надежного контакта. Два металлических полукорпуса являются одновременно электродами и вибраторами антенн, внутри которых находятся микропроцессор и блок питания. Типичные параметры электрических импульсов, создаваемых ЭН следующие: длительность импульса, мс: 0,5—1,2; период следования импульсов, мс: 15—33; длительность 1-й серии импульсов, мс: 270—560; период следования 1-й серии импульсов, с: 32—62; длительность 2-й серии импульсов, мс: 32—62; период следования 2-й серии импульсов, с: 75—135. На базе медицинских учреждений проводятся исследования эффективности применения ЭН в терапии различных заболеваний. В настоящей работе представлено исследования, выполненное на базе Первого МГМУ им. И.М. Сеченова.

Материалы и методы

Робот представляет собой микроэлектронную капсулу (проглатываемый процессор со встроенным источником питания, цилиндрический сфероид размером $\varnothing 11 \times 22$ мм), которая воздействует на гомеостаз электромагнитными полями, импульсными токами и ионным облаком. Другие особенности конструкции ЭН и их электрических параметров представлены в [4,5]. Целью проводимого исследования было изучение влияния ЭН на состояние углеводного и липидного обмена при СД. Исследования проведены по двойному слепому методу. Из 95 больных СД типа 2 выбраны 20 больных, у которых отмечалась различная степень нарушений липидного обмена. После рандомизации больные были разделены на 2 группы по 10 человек (1-я – 2 мужчин и 8 женщин; 2-я – 3 мужчин и 7 женщин). Больные женского пола были в возрасте от 43 до 66 лет (в среднем – $56,4 \pm 7,5$ лет), с длительностью заболевания от 1 года до 22 лет (в среднем – $10,13 \pm 3,18$ лет). Возраст обследованных мужчин составлял от 45 до 69 лет (в среднем – $53,2 \pm 7,3$ лет). Длительность заболевания была от 2 до 16 лет (в среднем – $9,8 \pm 3,1$ лет). В стационаре проводилось полное обследование: анализы крови, содержание иммунореактивного инсулина-ИРИ, С-пептида, эстрадиола, тестостерона, свободного тироксина и кортизола, гликированного гемоглобина. Исследования биохимических и гормональных показателей проводились до приема капсулы ЭН и через 30 дн. после приема. Больные по поводу основного заболевания принимали различные сахароснижающие препараты. В табл. 1 приведены данные о состоянии углеводного обмена у больных, которые получили капсулу ЭН. Таким образом, через 30 дн. после приема капсулы ЭН отмечалось достоверное снижение среднесуточной гипергликемии и глюкозурии. Однако нормализации или компенсации углеводного обмена не было достигнуто. Следует отметить, что наблюдаемое повышение секреции ИРИ и С-пептида, как и их концентрация до приема капсулы, находились в пределах нормальных значений у здоровых лиц без нарушений углеводного обмена.

Табл. 1. Показатели состояния углеводного обмена.

Показатели	До приёма	После приёма через 30 дн.	p
Среднесуточная гликемия, ммоль/л	9,98 ± 0,37	7,99 ± 0,49	< 0,048
Среднесуточная глюкозурия, г/сут	57,61 ± 5,02	22,76 ± 3,85	< 0,025
Гликированный гемоглобин, HbA1c, %	10,31 ± 0,37	8,1 ± 0,31*	< 0,048
ИРИ, мкЕД/мл	16,66 ± 2,91	26,69 ± 3,89	< 0,025
С-пептид, нмоль/л	0,43 ± 0,05	1,0 ± 0,13	< 0,001

* Через 60 дней приёма активной капсулы.

Табл.2. Показатели уровня липидов и углеводного обмена

Показатели	До приёма	После приёма через 30 дн.	p
Общий холестерин, ммоль/л	8,66 ± 0,44	6,37 ± 0,37	< 0,001
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	4,75 ± 0,45	3,39 ± 0,44	< 0,027
Холестерин ЛПВП, ммоль/л	1,25 ± 0,13	1,78 ± 0,26	< 0,048
Триглицериды, ммоль/л	4,17 ± 1,06	2,55 ± 0,5	< 0,027
Среднесуточная гликемия, ммоль/л	10,03 ± 1,77	8,97 ± 1,69	нд
Суточная глюкозурия, г/сут	76,60 ± 2,9	28,73 ± 1,9	< 0,05
ИРИ в сыворотке крови, мкЕД/ед	11,7 ± 1,61	17,68 ± 3,35	нд
С-пептид, нмоль/л	0,25 ± 0,03	0,46 ± 0,16	< 0,05
Гликированный гемоглобин, HbA1c, %	9,51 ± 0,48	9,44 ± 0,38	нд

В табл. 2 представлены показатели уровня липидов в сыворотке крови у больных через 30 дней после приёма капсулы ЭН. Несмотря на некоторое улучшение показателей углеводного обмена у больных этой группы не была достигнута компенсация диабета. Через 30 дн. после приема активной капсулы у больных этой же группы уровень ИРИ в сыворотке крови повысился до 29,63 ± 2,81 мкЕД/мл ($p < 0,003$; разница достоверна); разница между уровнем ИРИ до приема плацебо и на 30 дн. после приема активной капсулы также достоверна ($p < 0,004$). Через 30 дн. после приема активной капсулы у больных этой группы уровень С-пептида крови повысился до 0,81 ± 0,03 нмоль/л ($p < 0,046$). Показатели липидного обмена у больных после приема капсулы плацебо практически не изменились, тогда как через 30 дн. после приема активной капсулы содержание общего холестерина снизилось до 6,44 ± 0,43 ммоль/л ($p < 0,031$); достоверно и различие между содержанием холестерина на 30-й дн. после приема капсулы плацебо и на 30 дн. после приема активной капсулы. Изменение уровня холестерина в сыворотке крови до приема капсулы плацебо и на 30-й день после приема активной капсулы недостоверно. Более подробные сведения об проведенных исследованиях представлены в [5,10].

Заключение

Стремительное развитие робототехники в России и мире побуждает инженеров к созданию перспективных медицинских робототехнических комплексов, применение которых позволит повысить эффективность оказания медицинской помощи и сокращение сроков реабилитации. Исследования, выполненные на базе Первого МГМУ им. И.М. Сеченова показали, что применение ЭН оказывает долговременное благоприятное нормализующее действие на состояние липидного и углеводного обмена, а также на секреторную активность различных эндокринных желез. Необходимы дальнейшие исследования с целью совершенствования технологии и выработки новых подходов в электротерапии.

Список литературы

1. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К. Эпидемиология сахарного диабета в Российской Федерации: клинико-статистический отчет по данным Федерального регистра сахарного диабета // Сахарный диабет. 2017. Т. 20. №1. С. 13-41.
2. Centers for Disease Control and Prevention. National Diabetes Statistics Report, 2017. Atlanta, GA: U.S. Dept. of Health and Human Services; 2017. <https://www.cdc.gov/diabetes/data/statistics/statistics-report.html>
3. Дедов И.И., Балаболкин М.И. Патогенез сахарного диабета//Медицинский академический журнал. 2006. Т. 6. № 3. С. 3-15
4. Седанкин М.К., Хворостов С.А. и др. Применение капсульного миниробота в медицине //Качество и жизнь. – 2017. – №. 3. – С. 96-104
5. Седанкин М.К., Хворостов С.А. и др. Использование электронных нормализаторов в медицине //Качество и жизнь. – 2018. – №. 4. – С. 38-45
6. Хворостов С.А. Электронный нормализатор // Патент РФ № 2071368, класс а61N1/375. заявл. 30.01.1996; опубл. 10.01.1997
7. Basar M.R. et al. Ingestible wireless capsule technology: A review of development and future indication //International Journal of Antennas and Propagation. – 2012. – Т. 2012.
8. Ciuti G. et al. Frontiers of robotic endoscopic capsules: a review //Journal of Micro-Bio Robotics. – 2016. – Т. 11. – №. 1-4. – С. 1-18.
9. Beccani M. et al. Systematic design of medical capsule robots //IEEE Design & Test. – 2015. – Т. 32. – №. 5. – С. 98-108.
10. Отчет о клиническом исследовании влияния автономного электростимулятора желудочно-кишечного тракта и слизистых оболочек - "электронного нормализатора" на углеводный и липидный обмен, а также на секреторную функцию некоторых эндокринных желез/Под рук. Балаболкин М.И. Исполнители: Мкртумян А.М., Креминская В.М., Кафедра эндокринологии и диабетологии ММА им. И.М. Сеченова. 1996. [Электронный ресурс] http://proecomed.com/enorm/enotz1_1.htmДата обращения:03.04.2019

05.11.13

¹А.Г. Шляхова канд. техн. наук, А.Т. Шляхов канд. физ.-мат. наук,
²Л.А. Гайнулова канд. педагог. наук

¹Альметьевский государственный нефтяной институт,
кафедра нефтегазового оборудования и технологии машиностроения,
Альметьевск,

²Казанский Кооперативный Институт Российского Университета Кооперации,
кафедра естественных дисциплин сервиса и туризма,
Казань, 9274573382@mail

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Показано, что калориметрический способ измерения диэлектрических потерь способен регистрировать минимальное значение $\tan \delta$ на уровне 10^{-4} . В качестве теплового сенсора применена батарея из анизотропных термоэлементов (АТЭ) из висмута. Калориметрическим методом получена резонансная зависимость $\tan \delta$ от частоты внешнего электрического поля.

Ключевые слова: калориметрия, анизотропный термоэлемент, диэлектрические потери, резонанс.

Введение. В основе калориметрических методов измерения диэлектрической проницаемости лежит нагревание исследуемого вещества в электрическом поле высокой частоты. Непосредственно измеряемой величиной в этих методах является количество выделяющегося тепла. Калориметрические методы могут быть использованы в весьма широкой области длин волн — вплоть до сантиметрового диапазона. Применимость этих методов в области коротких волн ограничена тем, что размеры измерительного конденсатора должны быть достаточно малы по сравнению с длиной волны, когда электрическое поле внутри измерительного конденсатора можно еще считать однородным. При невыполнении этого условия метод теряет свою простоту, и трудности его теории значительно возрастают. Положительной стороной калориметрических методов, помимо широкополостности, является простота радиотехнического оборудования.

К недостаткам термометрических методов следует отнести трудности, связанные с измерением количества тепла, выделяющегося в исследуемом веществе, сравнительно небольшую точность измерений.

Объект исследования. В качестве объектов исследования использовались промышленные конденсаторы. Перед исследованием с конденсатора сняли изолирующую оболочку, положив его в раствор щелочи. Затем от него были отпаяны толстые контакты с заменой на более тонкие проводники. При калориметрических измерениях это способствовало лучшему контакту исследуемого объекта с тепломером. Также в качестве объекта исследований можно выбрать любой диэлектрик, для этого необходимо осуществить металлизацию его граней.

Описанный ниже способ [1] позволяет металлизировать различные диэлектрические материалы, включая многие пластмассы и даже древесину, используя для создания электропроводящего подслоя сплав.

Жидкий Ga-In - сплав обладает хорошей адгезией практически ко всем материалам, исключая фторопласт. Ga-In - сплав остается в жидком состоянии в широком интервале соотношений компонент и температур.

Сплав, приготовленный путем соприкосновения кусочка галлия с кусочком In. Сразу же в месте контакта образуется жидкая фаза, которая затем распространяется на весь металл. Эвтектический состав сплава соответствует 76% Ga и 24 % In с температурой плавления $15,6^{\circ}\text{C}$.

Для прочного сцепления сплава с поверхностью диэлектрика последняя матируется в соответствующем травильном растворе посредством тонкой шлифовальной шкурки или абразивного зерна. После промывки, сушки и обезжиривания на поверхность помещается небольшое количество сплава и тампоном из безворсовой ткани растирается по поверхности до образования тонкого равномерного слоя. При таком способе нанесения металла толщина слоя колеблется от 1 до 3 мкм.

Довести металлический подслои до требуемой толщины можно химическим или гальваническим меднением или никелированием. Металлизированный слой, утолщенный Cu или Ni, можно паять всеми припоями с температурой плавления до 230⁰ С.

Экспериментальная установка, методика и результаты измерений диэлектрических потерь

Для исследования зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от частоты используется установка, в которую вошли следующие электроизмерительные приборы: высокочастотный генератор ГЧ-102 и осциллограф С1-118А, ампервольтметр В7-21, авторский микрокалориметр.

С конца XX века интенсивно разрабатываются новые виды тепловых сенсоров: на основе анизотропных термоэлементов (АТЭ), сочетающих быстродействие и чувствительность, превосходящих на два и более порядка параметры известных тепловых устройств [2-12]. Кратко о сенсорной сути конструкции микрокалориметра: на внешней поверхности его прямоугольной камеры расположена батарея из последовательно соединенных АТЭ из висмута. Сформированная таким образом «ячейка калориметра» помещается в термостат. При наличии разности температур между объектом исследования и термостатом через АТЭ протекает тепловой поток, под действием которого возникает поперечная термо-ЭДС (эффект Зеебека-Борелиуса). Таким образом, АТЭ, используемый как тепловой сенсор в микрокалориметре, характеризуется вольтваттной чувствительностью S_0 равной ЭДС, развиваемая анизотропным термоэлементом при прохождении через него единицы тепловой мощности. По Джоуль-Ленцеву тепловому потоку с погрешностью 1% [2] калибруется вольтваттная чувствительность калориметра $S_0 = 15$ мВ/Вт.

Рабочие параметры микрокалориметра: быстродействие 10⁻²с., вольт-ваттная чувствительность 15 мВ/Вт, минимально обнаруживаемая мощность 10⁻⁷ Вт, объем реакционной камеры 0,03-0,1 см³, рабочий интервал температур 100-400 К.

Ход эксперимента. Исследуемый конденсатор, на который от генератора подается высокочастотное напряжение, размещается внутри микрокалориметра. Таким образом, диэлектрик оказывается помещенным в высокочастотное электрическое поле, причем его частоту мы можем изменять. Эффективное напряжение между обкладками конденсатора $U = 4$ В. Емкость конденсатора, измеренная из резонанса последовательного LC-контура, составляет $C = 10$ нФ.

На каждой частоте, при достижении теплового равновесия, измеряется термо-ЭДС с АТЭ из висмута вольтметром В7-21. Затем рассчитывается тепловая мощность $P_{\text{акт.}}$, поглощаемая диэлектриком при его помещении в переменное электрическое поле. Зная мощность, можно вычислить тангенс угла диэлектрических потерь: $\text{tg} \delta = \frac{P_{\text{акт.}}}{2\pi \nu C U^2}$ (таблица) и построить график зависимости $\text{tg} \delta$ от ν (рис.1).

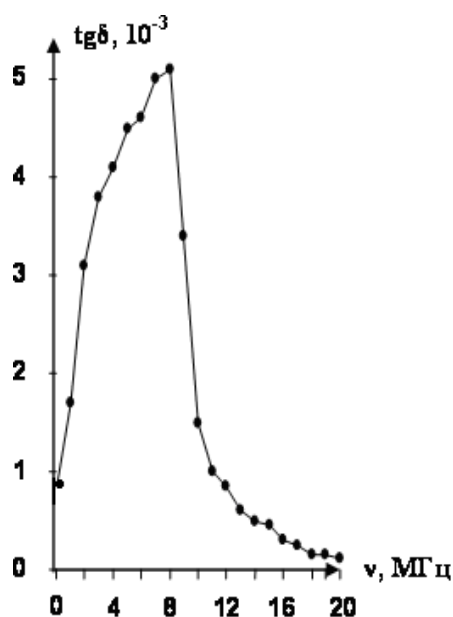
Рис. 1. График зависимости $\text{tg}\delta$ от частоты электрического поля.

Таблица. Частотные измерения диэлектрических потерь

$v, \text{МГц}$	0,1	0,5	1,5	2	3	6	8	9	10	15	18	20
$P, \text{мВт}$	0,08	0,69	3,0	6,2	9,6	27,7	41,0	30,5	15,1	6,8	2,9	2,4
$\text{tg}\delta, 10^{-3}$	0,82	1,38	2,0	3,1	3,8	4,6	5,1	3,4	1,5	0,45	0,16	0,12

Из данных видно, что при частоте $v_{\text{внеш}} = v_{\text{релакс}} = 8 \text{ МГц}$ получается максимальное значение тепловых потерь $5,1 \cdot 10^{-3}$. На основе теории можно сделать вывод, что эта частота совпадает с частотой поворота полярных молекул диэлектрика, т.е. с частотой релаксации.

При частотах меньших частоты релаксации, диполи полярных молекул диэлектрика претерпевают мало поворотов, поэтому тепловые потери малы, при резонансной частоте – диполи совершают порядка 10^6 поворотов в секунду, поэтому наблюдается максимум диэлектрических потерь. При дальнейшем увеличении частоты, диполи не успевают поворачиваться и потери вновь уменьшаются до 10^{-4} .

Выводы

Таким образом, показано, что калориметрический способ измерения диэлектрических потерь, использующий современные датчики теплового потока на АТЭ из висмута, позволяет измерять минимальное значение тангенса угла диэлектрических потерь на уровне 10^{-4} . Благодаря такой чувствительности возможны частотные измерения диэлектрических потерь калориметрическим способом, что ставит данную методику в один ряд с широко распространенными способами измерения диэлектрических потерь, отличающуюся от последних сравнительной простотой.

Список литературы

1. Коленко Е.А., Коленко К.Е. Способ металлизации диэлектрических материалов // ПТЭ-1989.-№5-С233.
2. Дивин Н.П. Физические основы управляемого выращивания монокристаллов висмута для анизотропных термоэлементов и их применение.// Автореф. дисс. к ф-м. наук. - Ленинград. 1982. – 14 с.
3. Митяков В.Ю. Возможности градиентных датчиков теплового потока на основе висмута в теплотехническом эксперименте // Дисс. д.т.н. - Санкт-Петербург. 2005. – 239 с.
4. Семиколонова Н.А., Чернуха О.Е., Шляхова А.Г., Шляхов А.Т. Оптимизация термического анализа веществ // Вестник Омского университета. – 2004. - №3. - С.54-56.
5. Шляхова А.Г., Дивин Н.П., Шляхов А.Т. Быстродействующий дифференциальный микрокалориметр // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института – 2005. – т.3. – С.225-235.
6. Шляхова А.Г., Шляхов А.Т., Галимов Э.Р. Калориметрическое исследование включений матричного металла в GaAs:Te. // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. – 2006. - т.4. – С.423-432.
7. Шляхова А.Г. Дифференциально-сканирующая калориметрия для контроля качества арсенида галлия // Изв. ВУЗов: Проблемы энергетики. - 2006. - №11-12. - С.104-107.
8. Шляхова А.Г., Галимов Э.Р., Шляхов А.Т. Разработка высокочувствительных и быстродействующих калориметрических устройств для изучения тепловых процессов // Изв. ВУЗов: Проблемы энергетики. - 2007. - №3-4. - С. 125-129.
9. Шляхова А.Г. Быстродействующий калориметрический метод контроля примеси в полупроводниковых материалах // Дисс. канд. техн. наук. - Казань: КГЭУ, 2007. – 124 с.
10. Шляхова А.Г., Шляхов А.Т. Термический анализ веществ: идеи, реализации, результаты // Научно-технический вестник Поволжья. -2018. - №3. - С.33-36.
11. Шляхова А.Г., Шляхов А.Т., Гайнулова Л.А. Анализ быстродействия и чувствительности термоэлементов для термического анализа веществ, // Научно-технический вестник Поволжья. -2019. - №3. - С.91-94.
12. Шляхов А.Т., Шляхова А.Г. Термический анализ веществ: история разработок авторских изобретений. // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института – 2015. – т.14. – С.292-311.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

05.13.00

М.А. Аль-Аскари, В.В. Афонин канд. техн. наук

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, vvafonin53@yandex.ru

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИСКАЖЕНИЙ
НА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ И СО СТРОБ ЭФФЕКТАМИ**

Приводится алгоритм неререференсной оценки качества растровых изображений с возможными искажениями типа строб эффектов. Эксперименты показали достаточно высокую скорость обработки изображений предлагаемым алгоритмом. Алгоритм реализован на методах выделения границ Canny и Prewitt. Проведен анализ работы совместно с существующими алгоритмами NIQE и BRISQUE. Для двух групп изображений предлагаемый алгоритм превосходит NIQE и BRISQUE.

Ключевые слова: алгоритм, цифровая обработка изображений, оценка качества, детектирование границ методами Canny и Prewitt.

Цифровая обработка изображений занимает особое место в прикладных и в научных исследованиях [1–13]. Решаются практические задачи различного характера [4–7]. В частности, задачи оценки качества изображений, которые могут решать на основе субъективных и объективных методов. Интенсивно развиваются неререференсные или безэталонные методы оценки качества растровых, в первую очередь, цветных изображений [1, 2, 8–12]. Неререференсные алгоритмы и методы осуществляют оценку качество изображений «вслепую» без какого-либо эталонного образца или группы образцов. Эта задача не имеет однозначного решения [13]. В связи с чем, считается актуальным разработка новых алгоритмов и методов неререференсной оценки качества изображений. Именно решению этой задачи посвящена настоящая работа.

В проведенных исследованиях разработка нового алгоритма оценки качества изображений выполнялась в системе MATLAB с пакетом Image Processing Toolbox [14]. Это позволило использовать как существующие методы неререференсной оценки качества изображений, так и методы детектирования границ: niqe, brisque, edge.

В основе предлагаемого алгоритма лежат такие методы детектирования границ, как Canny и Prewitt [14]. С их помощью получают бинарные изображения с разной степенью детализации. При этом применение алгоритма Prewitt осуществлялось на поиске определенного уровня порога, с помощью которого выполняется различная степень детализации рассматриваемых изображений.

Ниже даны основные шаги предлагаемого алгоритма неререференсной оценки качества растровых изображений.

Шаг 1. Чтение растрового полноцветного изображения из файла графического формата.

Шаг 2. Преобразование полноцветного изображения в полутоновое изображение.

Шаг 3. Определение числа уникальных пикселей UniqueN полутонового изображения. Если число UniqueN не превышает наперед заданного порога, то рассчитывается метрика Metrics как отношение числа уникальных пикселей к общему числу Nimg пикселей изображения: $Metrics = UniqueN / Nimg$ и алгоритм заканчивается. Иначе осуществляется переход к шагу 4.

Шаг 4. Определяется матрица A в результате обработки матрицы полутонового изображения алгоритмом Canny.

Шаг 5. Определяются координаты ненулевых элементов логической матрицы A – одномерные массивы x_c, y_c (c – Canny).

Шаг 6. Определяются минимальные и максимальные значения координат из массивов x_c, y_c .

Шаг 7. Определяется радиус R_a как минимум разницы максимумов и минимумов массивов x_c, y_c с делением на два. Определяются координаты центра окружности с радиусом R_a .

Шаг 8. Задается начальный параметр $pw = 0.995$ алгоритма Prewitt, что практически лишает выделение контуров на полутоновом изображении.

Шаг 9. Проход в цикле по трем цветовым каналам для детектирования контуров каждого из трех цветовых составляющих полноцветного изображения для получения логической матрицы B .

Шаг 10. Определение координат ненулевых элементов матрицы B – одномерные массивы x_p, y_p и вычисление минимальных и максимальных значений координат массивов x_p, y_p .

Шаг 12. Определение радиуса R_b аналогично шагу 7.

Шаг 13. Проверка величины радиуса R_b . Если он пустой (когда контуры не определены) или его величина не более единицы, то параметр pw изменяется в сторону уменьшения: $pw = (pw - pw/2) - 0.005$. Если параметр pw не превосходит нуля, то алгоритм Prewitt используется по умолчанию. В противном случае пересчитывается матрица B с новым значением параметра pw алгоритма Prewitt с целью определения нового значения радиуса R_b для каждой цветовой составляющей полноцветного изображения с определением координат соответствующего центра окружности.

Шаг 14. Определяется расстояние между центрами двух окружностей с радиусами R_a, R_b и $\cos(\varphi)$ между радиусами окружностей, построенных на основе детектирования границ методами Canny и Prewitt.

Шаг 15. Рассчитываются приведенные результирующие ошибки для каждого цветового канала с учетом $\cos(\varphi)$: если каждая из трех приведенных ошибок больше нуля, то метрика определяется как минимальное значение из трех приведенных ошибок. В противном случае метрика определяется как среднее значение приведенных ошибок каждого из каналов Red, Green, Blue.

Например, в системе MATLAB программная реализация алгоритмов Canny, Prewitt может быть выполнена с помощью функции edge.

Применение к изображению алгоритмов Canny и Prewitt с последующим определением его качества на основе числовой метрики корректируется с помощью анализа сдвига окружностей (Can и $Prwt$), полученных на основе ненулевых элементов матриц бинарного изображения. Такая корректировка выполняется на основе геометрических построений, на плоскости. Расстояние между центрами окружностей O_c, O_p может менять от нуля и более. Угол φ (ϕ) может меняться от нуля. Приведенные ошибки аппроксимации E_x, E_y в случае описания окружностей в параметрическом виде будут иметь следующий вид:

$$x_a = R_a \cdot \cos(t) + x_{a0}; \quad y_a = R_a \cdot \sin(t) + y_{a0};$$

$$x_b = R_b \cdot \cos(t) + x_{b0}; \quad y_b = R_b \cdot \sin(t) + y_{b0};$$

$x_{a0}, y_{a0}, x_{b0}, y_{b0}$ – координаты центров окружностей;

t – параметр, изменяющийся от 0 до 2π ;

$$E_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_{a_i} - x_{b_i}|}{\max(x_a)} 100\%,$$

$$E_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_{a_i} - y_{b_i}|}{\max(y_a)} 100\%.$$

Результирующую ошибку E_g предлагается определять либо через среднюю геометрическую величину E_x и E_y , умноженная на косинус угла φ прямоугольного треугольника, образованного между центрами окружностей Can и $Prwt$, если каждая из них

отлична от нуля, или как среднее значение, умноженная на косинус угла ϕ ($\cos \phi$), т. е.

$$E_g = \sqrt{E_x E_y} \cos(\phi), \quad E_g = \frac{E_x + E_y}{2} \cos(\phi).$$

Средняя геометрическая величина «погашает» значительный разброс между двумя величинами. Если их нет, то она совпадает со средней арифметической величиной. Величина E_g безразмерная. Значения метрик –вероятности артефактов принадлежат интервалу $[0; \infty)$. Чем меньше искажений на изображении, тем его метрика становится меньше, приближаясь к нулю.

Разработанный алгоритм проверялся на нескольких группах изображений, которые имели артефакты типа строб эффектов и без видимых искажений. Тестовые полутонные изображения со строб эффектами показаны на рис. 1 – рис. 2.



Рис. 1 – Strobe1.jpg



Рис. 2 – Strobe2.jpg

Тестовые изображения двух гербов (без видимых искажений) представлены на рис. 3 – рис. 4.



Рис. 3 – Татарстан.png



Рис. 4 – Мордовия.bmp

Результаты числовой нереференсной оценки качества изображений представленных на рис. 1 – рис. 4, сведены в табл. 1, в которых включены также метрики существующих алгоритмов NIQE и BRISQUE.

Таблица 1 – Результаты тестирования алгоритмов

Название алгоритма	Имя изображения / метрика			
	Strobe1.jpg	Strobe2.jpg	Татарстан.png	Мордовия.bmp
Предлагаемый алгоритм	0.725496	1.075540	0.000000	0.035590
NIQE	3.770202	4.385111	11.462704	14.946159
BRISQUE	48.975053	48.975053	51.736804	52.903422

Как видно из полученных результатов, отраженные в табл. 1, предлагаемый алгоритм дает более адекватные значения метрик по сравнению со значениями, полученные с помощью существующих алгоритмов NIQE, BRISQUE. Особенно это касается изображений, которые не обладают видимыми искажениями – гербы Татарстана и Мордовии.

Таким образом, предлагаемый алгоритм позволяет не только определять артефакты типа строб-эффектов, но и выявлять изображения с практически отсутствующими искажениями. В тоже время авторы дают себе отчет, что предложенный алгоритм не претендует на высокую степень универсальности.

Список литературы

1. Al-Askari M.A. Evaluation of strobe effects on bitmap images// Вестник Астраханского гос. тех. ун-та. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2018. №4. С. 80–89.
2. Аль-Аскари М.А. Разработка числовых метрик оценки строб-эффектов на изображениях //Естественные и технические науки. 2018. № 8 (122). С. 222–227.
3. Аль-Аскари М.А., Федосин С.А., Афонин В.В. Вероятностная оценка качества растровых изображений // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №4. С. 62 – 65.
4. Дёмин О.В. Смолин Д.О., Перишин В.Ф. Оценка качества смеси сыпучих материалов на основе анализа их цифровых изображений // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 157.
5. Сидоров Д.В. К вопросу оценки качества множества восстановленных изображений // Прикладная информатика, 2008. № 4 (16). С. 92–95.
6. Черушова Н.В., Митина Е.А., Касимкина М.М., Афонин В.В., Ерофеев В.Т. Оценка изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под воздействием эксплуатационных факторов // Вестник Мордовского университета. 2008. № 4. С. 124–127.
7. Павлюк Е.В. О метриках оценки качества сегментации изображений // Математическое моделирование в естественных науках, 2015. Т. 1. С. 332–336.
8. Бабкин П.С., Павлов Ю.Н. Анализ и сравнение объективных методов оценки качества изображений // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 9. С. 203–215.
9. L. Zhang, L. Zhang and A.C. Bovik. A feature-enriched completely blind local image quality // IEEE Transactions on Image Processing, vol. 24, no 8, pp. 2579–2591, August 2015.
10. Hantao Liu and Ingrid Heynderickx. A no-reference perceptual blockiness metric // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing 2008. Pages: 865–868.
11. Yan Fu and Shengchun Wang. A No Reference Image Quality Assessment Metric Based on Visual Perception // Algorithms 2016, 9(4), 87
12. K. Gu, J. Zhou, G. Zhai, W. Lin and A. C. Bovik. «No-reference quality as-sessment of screen content pictures», IEEE Transactions on Image Processing , vol. 26, no. 8, pp. 4005–4017, August, 2017.
13. Старовойтов В.В., Старовойтов Ф.В. Сравнительный анализ безэталонных мер оценки качества цифровых изображений // Системный анализ и прикладная информатика. 2017. № 1(13). С. 24–32.
14. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.

05.13.00

¹Д.А. Безуглов д-р техн. наук, ²С.Е. Мищенко д-р техн. наук,
²В.В. Шацкий канд. техн. наук, ³В.И. Юхнов канд. техн. наук

¹Ростовский филиал Российской таможенной академии,

²Ростовский научно-исследовательский институт радиосвязи,

³Северо-кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики,
кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи,
Ростов-на-Дону, bezuglovda@mail.ru

МЕТОД АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО СИНТЕЗА ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФУНКЦИОНАЛА

Предложен метод амплитудно-фазового синтеза линейной антенной решетки по заданной амплитудной диаграмме направленности, основанный на минимизации сглаживающего функционала. Проведен сопоставительный анализ предложенного метода и методов аппроксимационного синтеза. Показано, что сглаживающий функционал позволяет уменьшить неравномерность характеристики направленности в области главного луча и снизить уровень боковых лепестков.

Ключевые слова: синтез линейной антенной решетки, итерационный процесс, сглаживающий функционал.

Решение многих задач синтеза антенн обычно заключается в выборе амплитудно-фазового распределения в раскрыве антенны, обеспечивающего наилучшее приближение (аппроксимацию) реализуемой диаграммы направленности (ДН) антенны к заданной ДН [1, 2]. Если требования к ДН являются нереализуемыми, то применение методов аппроксимационного синтеза антенн становится неэффективным. Чаще всего это проявляется в получении неустойчивых решений, чувствительных к малым ошибкам амплитудно-фазового распределения. В монографии [3] был предложен подход, основанный на введении дополнительного стабилизирующего функционала [4]. В теории синтеза антенн в качестве стабилизирующего функционала принято использовать два: излучаемую мощность [3] или реактивную мощность антенны [5]. В то же время представляет интерес использование других регуляризирующих функционалов. Так при решении задач сглаживания в теории сплайнов [6] используют функционал, состоящий из суммы двух частных функционалов. Первый из них представляет собой оценку качества приближения двух функций, а второй – позволяет оценить гладкость формируемой функции. В известной литературе по теории синтеза антенн подобные функционалы не используются, хотя в некоторых задачах проектирования встречаются требования к динамическому диапазону колебаний на рабочем участке ДН.

Цель работы – развитие теории синтеза антенных решеток в части применения сглаживающих функционалов при выборе амплитудно-фазового распределения.

Решаемые задачи: 1 Обоснование метода амплитудно-фазового синтеза АР с использованием сглаживающего функционала. 2 Оценка работоспособности метода амплитудно-фазового синтеза АР по заданной амплитудной ДН.

Рассмотрим M -элементную линейную АР, в которой координаты фазовых центров ее антенных элементов определяют вектор $\mathbf{x} = (x_m | m = 1, 2, \dots, M)$.

Считаем, что каждому m -му антенному элементу АР соответствует комплексная амплитуда $A_m = a_m \exp(i\psi_m)$. ДН АР может быть представлена в виде:

$$F(\theta) = \sum_{m=1}^M A_m f_m(\theta) = \sum_{m=1}^M A_m \exp(ikx_m \sin \theta) \cos \theta. \quad (1)$$

Здесь $f_m(\theta)$ – комплексная ДН m -го антенного элемента АР; k – волновое число.

Пусть требуемая $F_0(\theta)$ ДН задана значениями в I узловых точках θ_i . Требуется найти вектор $\mathbf{A} = (A_m | m = 1, 2, \dots, M)$, обеспечивающий минимум сглаживающего функционала

$$q(\mathbf{A}) = \sum_{i=1}^I \rho(\theta_i) \left| F_0(\theta_i) - \frac{|F(\theta_i)|}{|F(\theta_0)|} \right|^2 + \alpha \int_{\theta_A}^{\theta_B} |F''(\theta)|^2 d\theta, \quad (2)$$

где $\rho(\theta)$ – весовая функция; θ_0 – направление максимума ДН; α – постоянная сглаживания; $[\theta_A, \theta_B]$ – область сглаживания; $F''(\theta)$ – вторая производная формируемой ДН по точке наблюдения.

С учетом выражений (1) и (2) запишем

$$F''(\theta) = - \sum_{m=1}^M A_m f_m(\theta) (ik|x_m| + (kx_m \cos \theta)^2 + 1) = \sum_{m=1}^M A_m f_m(\theta). \quad (3)$$

Отсюда получим

$$\begin{aligned} q(\mathbf{A}) = & \sum_{i=1}^I \rho(\theta_i) |F_0(\theta_i)|^2 - 2 \sum_{i=1}^I \rho(\theta_i) F_0(\theta_i) \left(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M A_m A_n^* f_m(\theta_i) f_n^*(\theta_i) \right)^{0,5} \times \\ & \times \left(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M A_m A_n^* f_m(\theta_0) f_n^*(\theta_0) \right)^{-0,5} + \sum_{i=1}^I \rho(\theta_i) \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M A_m A_n^* f_m(\theta_i) f_n^*(\theta_i) \times \\ & \left(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M A_m A_n^* f_m(\theta_0) f_n^*(\theta_0) \right)^{-1} + \alpha \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M A_m A_n^* \int_{\theta_A}^{\theta_B} f_m(\theta) f_n^*(\theta) d\theta. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь символ «*» обозначает операцию комплексного сопряжения.

Функционал (4) можно использовать для решения задач амплитудно-фазового синтеза. Найдем частные производные (4) $\partial q(\mathbf{A}) / \partial \text{Re}(A_s)$ и $\partial q(\mathbf{A}) / \partial \text{Im}(A_s)$. Чтобы избежать громоздкого выражения, введем обозначения

$$u(\mathbf{A}, \theta) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M A_m A_n^* f_m(\theta) f_n^*(\theta); \quad v(\mathbf{A}) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M A_m A_n^* \int_{\theta_A}^{\theta_B} f_m(\theta) f_n^*(\theta) d\theta. \quad (5)$$

При помощи введенных обозначений получим универсальное выражение для дифференцирования функционала (4) в виде:

$$\begin{aligned} q'(\mathbf{A}) = & -u(\mathbf{A}, \theta_0)^{-1} \times \\ & \times \sum_{i=1}^I \rho(\theta_i) F_0(\theta_i) \left(\frac{u'(\mathbf{A}, \theta_i)}{u^{0,5}(\mathbf{A}, \theta_i)} u(\mathbf{A}, \theta_0)^{0,5} - \frac{u'(\mathbf{A}, \theta_0)}{u^{0,5}(\mathbf{A}, \theta_0)} u(\mathbf{A}, \theta_i)^{0,5} \right) + \\ & + u(\mathbf{A}, \theta_0)^{-2} \sum_{i=1}^I \rho(\theta_i) (u'(\mathbf{A}, \theta_i) u(\mathbf{A}, \theta_0) - u(\mathbf{A}, \theta_i) u'(\mathbf{A}, \theta_0)) + \alpha v'(\mathbf{A}), \end{aligned} \quad (6)$$

где символ «'» обозначает операцию дифференцирования введенной функции по реальной или мнимой частям комплексной амплитуды;

$$\frac{\partial}{\partial \text{Re}(A_s)} u(\mathbf{A}, \theta) = \sum_{n=1}^M A_n^* f_s(\theta) f_n^*(\theta) + \sum_{m=1}^M A_m f_m(\theta) f_s^*(\theta); \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial \text{Im}(A_s)} u(\mathbf{A}, \theta) = i \sum_{n=1}^M A_n^* f_s(\theta) f_n^*(\theta) - i \sum_{m=1}^M A_m f_m(\theta) f_s^*(\theta); \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial \text{Re}(A_s)} v(\mathbf{A}) = \sum_{n=1}^M A_n^* \int_{\theta_A}^{\theta_B} f_s(\theta) f_n^*(\theta) d\theta + \sum_{m=1}^M A_m \int_{\theta_A}^{\theta_B} f_m(\theta) f_s^*(\theta) d\theta; \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial \text{Im}(A_s)} v(\mathbf{A}) = i \sum_{n=1}^M A_n^* \int_{\theta_A}^{\theta_B} f_s(\theta) f_n^*(\theta) d\theta - i \sum_{m=1}^M A_m \int_{\theta_A}^{\theta_B} f_m(\theta) f_s^*(\theta) d\theta. \quad (10)$$

Выражения (4)-(10) позволяют реализовать итерационный метод синтеза АР.

На этапе инициализации итерационного процесса определяют начальное амплитудно-фазовое распределение $\mathbf{A}^{(0)}$. При помощи выражения (4) оценивают значение функционала $q_0 = q(\mathbf{A}^{(0)})$ и рассматривают его в качестве текущей оценки качества наилучшего имеющегося решения. Кроме того, находят предельное число шагов итерационного процесса T и задают начальное значение параметра $v^{(0)}$ скорости приближения к экстремуму. Далее осуществляют циклическое повторение шагов итерационного процесса. На произвольном шаге с номером t вычисляют компоненты вектора градиента функционала (4)

$$\mathbf{G}(\mathbf{A}^{(t)}) = \left(\frac{\partial q(\mathbf{A}^{(t)})}{\partial \text{Re } A_1^{(t)}} + i \frac{\partial q(\mathbf{A}^{(t)})}{\partial \text{Im } A_1^{(t)}}, \frac{\partial q(\mathbf{A}^{(t)})}{\partial \text{Re } A_2^{(t)}} + i \frac{\partial q(\mathbf{A}^{(t)})}{\partial \text{Im } A_2^{(t)}}, \dots, \frac{\partial q(\mathbf{A}^{(t)})}{\partial \text{Re } A_M^{(t)}} + i \frac{\partial q(\mathbf{A}^{(t)})}{\partial \text{Im } A_M^{(t)}} \right).$$

Вычисляют пробный вектор комплексных амплитуд, двигаясь в направлении антиградиента с выбранной скоростью:

$$\mathbf{B}^{(t+1)} = \mathbf{A}^{(t)} - v^{(t)} \mathbf{G}(\mathbf{A}^{(t)}). \quad (11)$$

При решении задач амплитудно-фазового синтеза оценивают значение функционала (4) $q^{(t+1)} = q(\mathbf{B}^{(t+1)})$ с амплитудно-фазовым распределением, полученным по формуле (11).

Далее сопоставляют оценку функционала (4) $q(\mathbf{B}^{(t+1)})$ со значением q_0 . Если $q_0 > q^{(t+1)}$, то присваивают новое наилучшее значение функционала (4) $q_0 = q^{(t+1)}$, а также присваивают $\mathbf{A}^{(t+1)} = \mathbf{B}^{(t+1)}$. Кроме того, сохраняют прежнее значение скорости приближения к экстремуму $v^{(t+1)} = v^{(t)}$. Если условие $q_0 > q^{(t+1)}$ не выполнено, то считают, что $\mathbf{A}^{(t+1)} = \mathbf{A}^{(t)}$ и уменьшают скорость приближения к экстремуму, например, путем деления на два. Выход из итерационного процесса может быть осуществлен по достижении предельного числа итераций при $t = T$, в случае, если скорость приближения к экстремуму уменьшилась ниже выбранного порогового значения.

Таким образом, предлагаемый итерационный метод амплитудно-фазового синтеза линейной АР отличается от известных, например [6], только представлением функционала (2) и компонентами вектора градиента. Однако это существенно влияет на результат решения задачи. Метод может быть распространен и на плоский раскрыв. Для этого необходимо получить выражение, описывающее вторую производную диаграммы направленности, аналогичное (4).

Рассмотрим применение предлагаемого метода синтеза на основе сглаживающего функционала (3) для решения задач амплитудно-фазового синтеза.

В качестве примера рассмотрим синтез АР при формировании «столообразной» ДН, луч которой задан в секторе $\theta \in [-15^\circ, 15^\circ]$.

На рис. 1 приведены ДН, сформированные после 250 шагов итерационного процесса. Кривая 1 соответствует заданной ДН, кривая 2 – получена при $\alpha = 0$. В этом случае сглаживающая часть функционала (3) не участвует в синтезе АР и ДН соответствует решению задачи аппроксимационного синтеза. Кривые 3 и 4 получены при $\alpha = 0,02$ и отличаются шириной области сглаживания. Кривой 3 соответствует $\theta_A = -10^\circ$, $\theta_B = 10^\circ$, а кривой 4 – $\theta_A = -30^\circ$, $\theta_B = 30^\circ$.

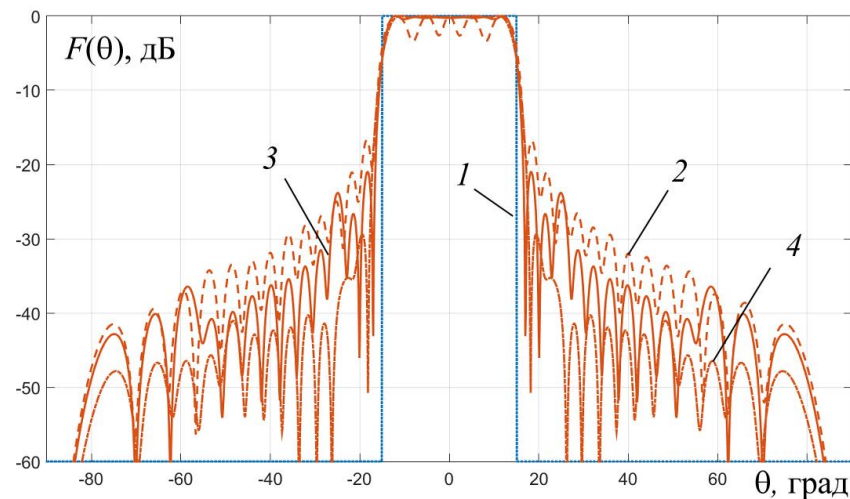


Рис. 1 – Заданная и синтезированные ДН

На рис. 2 и 3 приведены амплитудные и фазовые распределения в каналах АР. Кривые 1 на данных рисунках соответствуют начальным амплитудным и фазовым распределениям, а номера остальных кривых соответствуют параметрам итерационного процесса, перечисленным при описании результатов на рис. 1. Функция $\arg(A_m)$ на рис. 3 обозначает вычисление фазы комплексного числа A_m .

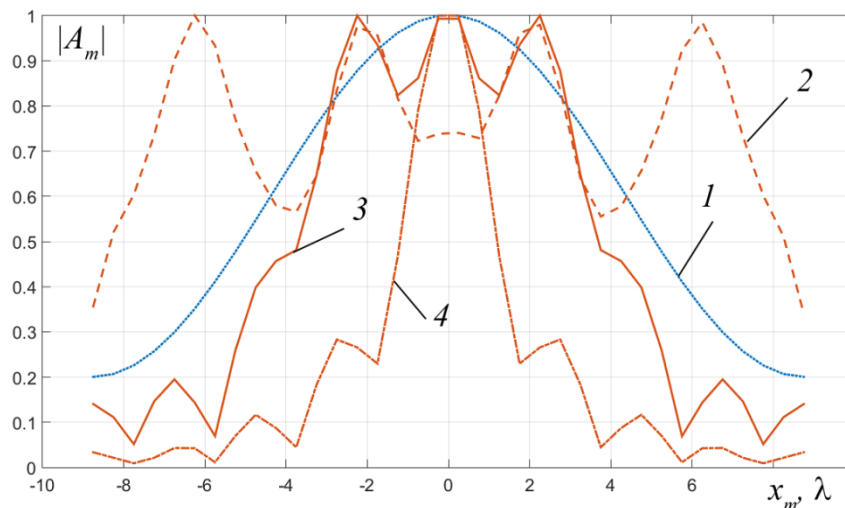


Рис. 2 – Амплитудные распределения

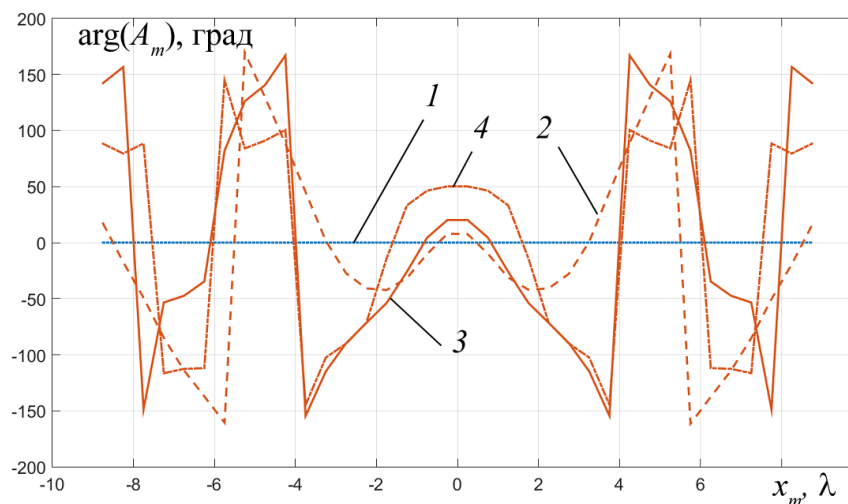


Рис. 3 – Фазовые распределения

Выводы: Предложен метод амплитудно-фазового синтеза АР по заданной амплитудной ДН, основанный на использовании сглаживающего функционала. Полученные результаты показали, что реализация предлагаемого метода амплитудно-фазового синтеза АР в отличие от метода аппроксимационного синтеза позволила получить амплитудное распределение с одним экстремумом. Сглаживающая часть функционала обеспечивает получение более равномерной характеристики в области главного луча и влияет на уровень боковых лепестков.

Список литературы

1. Зелкин Е.Г., Соколов В.Г. Методы синтеза антенн. Фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрытием. - Сов. радио, 1980. - 296с.
2. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны: Учеб. для вузов. – М.: Энергия. 1975. 528 с.
3. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем. Теория и методы расчета. - М.: Сов. радио, 1974, 232 с.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986, 288с.
5. Зелкин Е.Г., Кравченко В.Ф., Гусевский В.И. Конструктивные методы аппроксимации в теории антенн. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2005. 512с.
6. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.И. Методы сплайн-функций. – М.: Наука, 1980. 350 с. Shatsky

05.13.18

Д.А. Булашов, И.Н. Сидоров д-р физ.-мат. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
Казань, Sidorovin@mail.ru

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОТСТРОЙКИ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ВАЛОПРОВОДА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

В статье представлено решение задачи поиска конструктивных решений для отстройки критических частот валопровода газоперекачивающего агрегата за счет изменения параметров муфт трансмиссии, динамических характеристик опорных сегментных подшипников скольжения компрессора, небольшого увеличения/уменьшения массы колес компрессора путем замены материала. Решение исходной задачи сводится к решению задачи минимизации целевой функции - амплитуды виброперемещений упругой линии валопровода в диапазоне частот, превышающим рабочий, в пространстве варьируемых параметров.

Ключевые слова: валопровод газоперекачивающего агрегата, критические частоты, динамические характеристики сегментных подшипников скольжения, параметры муфт трансмиссии, нейросетевые технологии, поверхности регрессии, генетический алгоритм.

Одним из этапов совершенствования мощных газоперекачивающих агрегатов (ГПА) является снижение общего уровня вибронегруженности. Анализ литературы, связанный с этой тематикой, приводит к выводу, что обычно решение этой проблемы связывают с изменением массово-жесткостных характеристик системы и/или управлением жесткости опор. Так, в работе [1] для отстройки критических частот предлагается варьировать диаметры вала ротора компрессора на части его длины. В диссертации [2] используются приближенные схемы анализа влияния изменения жесткостей опор на критические частоты по найденному решению для безпорной системы.

Для таких агрегатов как ГПА-16 «Волга» с приводом НК-16-18 СТ или НК-38 снижение вибронегруженности связано с попыткой отстройки второй и третьей критической частот вращения вала. Агрегат состоит из конвертированного газотурбинного двигателя со свободной турбиной, трансмиссии в виде промежуточного вала с двумя муфтами и компрессора.

В качестве вариантов конструктивных решений для отстройки критических частот ГПА предлагается: 1.) изменение параметров муфт трансмиссии за счет изменения параметров и количества пластин [3]; 2.) изменение динамических характеристик опорных сегментных подшипников скольжения компрессора путем изменения их конструктивных параметров в заданных пределах [4], [5] и параметров подачи масла; 3.) небольшое увеличение/уменьшение массы колес компрессора путем замены материала.

Расчеты свободных и вынужденных колебаний указанных агрегатов, проводившиеся с помощью программы «Валопровод» [6] при варьировании только жесткости пластинчатых и мембранных муфт не привели к существенным результатам по отстройке второй и третьей критической частот [3]. Поэтому в качестве расширенного варианта отстройки критических частот предлагается рассматривать комплексное варьирование указанных выше параметров.

При этом предлагается два варианта отстройки критических частот:

1. Вариант1 — «нормальное решение» с условиями: 1) критические частоты должны быть меньше левой границы рабочего диапазона 3710 об/мин (388.5 с^{-1}) на 20%; 2) критические частоты должны быть больше правой границы рабочего диапазона 5565 об/мин (582.8 с^{-1}) на 20%; 3) при реализации п.п.1,2 выбирается вариант, при котором максимальная амплитуда виброперемещений валопровода в диапазоне частот $1000 \leq n \leq 7000$ об/мин имеет минимальное значение.

2. Вариант2 – «компромиссное решение», для которого третье условие варианта 1 будет следующим: выбираем такие варьируемые параметры валопровода, для которых амплитуды его перемещений минимальны для критической частоты, попадающей в рабочий диапазон. При этом п.п.1,2 варианта 1 для второй критической частоты могут не выполняться.

Решение задач вариантов 1, 2 сводится к решению задачи оптимизации в семимерном пространстве варьируемых параметров. В качестве целевой функции с ограничениями для рассмотренных вариантов принимались:

Целевая функция – амплитуда виброперемещений упругой линии валопровода (T – символ транспонирования)

$$A = A(z, \omega, \Omega) \quad , \quad \Omega = [a_1, a_2, \alpha_1, \alpha_2, m_1, m_2, m_3]^T. \quad (1)$$

Здесь z – продольная координата ГПА (рис. 1), ω – частота вращения валопровода, Ω – вектор варьируемых параметров. Параметры a_1, a_2 , определяют вариацию коэффициентов жесткости и демпфирования 1 – й и 2 – й опор компрессора согласно формулам [4], о чём будет сказано ниже

$$C_{\beta\beta}^{(\alpha)} = \left(C_{\beta\beta(a\omega)}^{(\alpha)} \cdot a_{\alpha} + C_{\beta\beta(\omega)}^{(\alpha)} \right) \cdot \left(\frac{30 \cdot \omega}{\pi} \right) + C_{\beta\beta(a)}^{(\alpha)} \cdot a_{\alpha} + C_{\beta\beta(0)}^{(\alpha)}, \quad (2)$$

$$\omega \in [105, 735], c^{-1}, a_{\alpha} \in [0, 1], \alpha = 1, 2, \beta = x, y.$$

$$K_{\beta\beta}^{(\alpha)} = \left(K_{\beta\beta(a\omega)}^{(\alpha)} \cdot a_{\alpha} + K_{\beta\beta(\omega)}^{(\alpha)} \right) \cdot \left(\frac{30 \cdot \omega}{\pi} \right) + K_{\beta\beta(a)}^{(\alpha)} \cdot a_{\alpha} + K_{\beta\beta(0)}^{(\alpha)}, \quad (3)$$

$$\omega \in [105, 735], c^{-1}, a_{\alpha} \in [0, 1], \alpha = 1, 2, \beta = x, y.$$

Параметры α_1, α_2 , определяют вариацию коэффициентов жесткости муфт на поперечное смещение и на поворот вокруг поперечных осей в соответствии с результатами [3] согласно формулам

$$C = C_l \cdot (1 - \alpha_1) + C_u \cdot \alpha_1, \text{ Н/м}, \alpha_1 \in [0, 1], \quad (4)$$

$$S = S_l \cdot (1 - \alpha_2) + S_u \cdot \alpha_2, \text{ Н м / рад}, \alpha_2 \in [0, 1],$$

где C_l, C_u, S_l, S_u – соответственно нижнее и верхнее значения диапазона изменения жесткостей муфт на поперечное смещение и на поворот вокруг поперечных осей.

Параметры m_1, m_2, m_3 определяют вариацию массы 1 – го, 2 – го и 3 – го дисков компрессора согласно формуле

$$M_i = -M_{il} \cdot (1 - m_i) + M_{iu} \cdot m_i, \text{ кг}, m_i \in [0, 1], i = 1, 2, 3, \quad (5)$$

где M_{il}, M_{iu} – соответственно нижнее и верхнее значения диапазона изменения массы i – го диска.

Ограничения –

Вариант 1

$$\left(\omega_{cf}^{(i)}(\Omega) \leq 0.8 \cdot \omega_{lr} \right) \vee \left(\omega_{cf}^{(i)}(\Omega) \geq 1.2 \cdot \omega_{ur} \right), i = (1, 2, 3), \quad (6)$$

Вариант 2

$$\left(\omega_{cf}^{(i)}(\Omega) \leq 0.8 \cdot \omega_{lr} \right) \vee \left(\omega_{cf}^{(i)}(\Omega) \geq 1.2 \cdot \omega_{ur} \right), i = (1, 3), \quad (7)$$

где $\omega_{cf}^{(i)}$ – критические частоты валопровода, $\omega_{lr} = 388.5 \text{ с}^{-1}$, $\omega_{ur} = 582.8 \text{ с}^{-1}$ соответственно нижнее и верхнее значения рабочего диапазона частот вращения валопровода.

В качестве критерия оптимальности при зависимостях (2) – (5) и ограничениях (6), (7) принималось

$$\max_{(z, \omega, \Omega)} A(z, \omega, \Omega) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для определения оптимальных значений целевой функции вариантов 1,2 использовался метод стохастической оптимизации [7 - 9]. В рамках этого метода строятся шесть функций отклика - многомерные поверхности регрессии критических частот и максимальных амплитуд (аппроксимационные поверхности на множестве значений $\{\Omega\} = (\Omega_1, \dots, \Omega_q)$ вектора Ω) в пространстве варьируемых параметров с применением нейросетевых технологий

$$\begin{aligned} \tilde{\omega}_{cf}^{(p)}(\Omega) &= \text{Reg}\left(\Omega, \omega_{cf}^{(p)}(\{\Omega\})\right), \{\Omega\} = (\Omega_1, \dots, \Omega_q), q = 2^7 = 128, \\ \tilde{A}_p(\omega_{cf}^{(p)}, \Omega) &= \text{Reg}\left(\Omega, \max_z A(z, \omega_{cf}^{(p)}, \{\Omega\})\right), p = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь **Reg** - оператор построения поверхности регрессии на множестве значений критических частот и максимальных амплитуд, вычисленных с помощью программы [6] на множестве $\{\Omega\}$ векторов варьируемых параметров. Количество векторов этого множества $q = 2^7$ определено двумя значениями каждой компоненты вектора – 0, 1.

В данной работе указанные выше многомерные поверхности строятся с использованием свободного фреймворка scikit-learn [10].

С помощью поверхности регрессии критических частот (9) определяются подобласти пространства векторов Ω , для которых выполняется ограничение (6)

$$\begin{aligned} \Omega_l &= \left\{ \Omega \mid \tilde{\omega}_{cf}^{(i)}(\Omega) \leq 0.8 \cdot \omega_{lr} \right\}, i = (1, 2, 3), \\ \Omega_u &= \left\{ \Omega \mid \tilde{\omega}_{cf}^{(i)}(\Omega) \geq 1.2 \cdot \omega_{ur} \right\}, i = (1, 2, 3). \end{aligned} \quad (10)$$

Далее в областях (10) находится вектор Ω_* , удовлетворяющий критерию (8), приобретающему вид

$$\max_{(\Omega \in \Omega_l \cup \Omega_u)} \tilde{A}_p(\omega_{cf}^{(p)}, \Omega) \rightarrow \min, p = 1, 2, 3.$$

Для проверки принципиальной возможности предложенного подхода была решена задача отстройки критической частоты для ГПА-16 «Волга» - «исходный» вариант расчета (ИВР). Он представляет собой систему из двух связанных упругими муфтами и трансмиссией роторов (рис.1, в варианте интерфейса программы [6]).

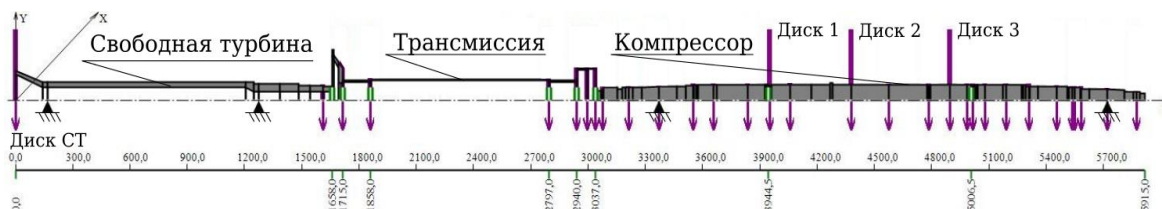


Рис. 1 – Схема роторной системы ГПА-16 «Волга»

Для изотропных опор двигателя были приняты коэффициенты жесткости $C_{eng} = 1.5 \cdot 10^9$ Н/м с нулевыми коэффициентами демпфирования. Коэффициенты жесткости и демпфирования ортотропных опор компрессора рассчитывались с помощью программы [4] при статических реакциях левой опоры $R_1 = 6.65$ кН и правой опоры $R_2 = 5.42$ кН, вызванных весом ротора. Были определены пересекающиеся области

изменения параметров подшипников с самоустанавливающимися подушками с индивидуальным подводом смазки, и с самоустанавливающимися подушками типа ТРИЗ. Границы этих областей аппроксимировались функциями (2), (3) с параметрами, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры аппроксимации жесткостей опор компрессора

Коэф- фициенты жесткости	C _{xx} , Н/м	Опора № 1			
		$C_{xx(a\omega)}^{(1)}$	$C_{xx(\omega)}^{(1)}$	$C_{xx(a)}^{(1)}$	$C_{xx(0)}^{(1)}$
		$1.12 \cdot 10^5$	$7.66 \cdot 10^3$	$2.40 \cdot 10^8$	$-3.78 \cdot 10^5$
		Опора № 2			
		$C_{xx(a\omega)}^{(2)}$	$C_{xx(\omega)}^{(2)}$	$C_{xx(a)}^{(2)}$	$C_{xx(0)}^{(2)}$
		$1.59 \cdot 10^5$	$2.33 \cdot 10^4$	$3.12 \cdot 10^8$	$-9.60 \cdot 10^5$
	C _{yy} , Н/м	Опора № 1			
		$C_{yy(a\omega)}^{(1)}$	$C_{yy(\omega)}^{(1)}$	$C_{yy(a)}^{(1)}$	$C_{yy(0)}^{(1)}$
		$9.81 \cdot 10^4$	$2.24 \cdot 10^4$	$1.00 \cdot 10^8$	$1.34 \cdot 10^8$
		Опора № 2			
		$C_{yy(a\omega)}^{(2)}$	$C_{yy(\omega)}^{(2)}$	$C_{yy(a)}^{(2)}$	$C_{yy(0)}^{(2)}$
		$1.74 \cdot 10^5$	$2.95 \cdot 10^4$	$7.85 \cdot 10^7$	$1.13 \cdot 10^8$
Коэф- фициенты демпфи- рования	K _{xx} , Н·с/м	Опора № 1			
		$K_{xx(a\omega)}^{(1)}$	$K_{xx(\omega)}^{(1)}$	$K_{xx(a)}^{(1)}$	$K_{xx(0)}^{(1)}$
		$-3.90 \cdot 10^3$	$2.57 \cdot 10^1$	$2.84 \cdot 10^7$	$1.33 \cdot 10^6$
Коэф- фициенты демпфи- рования	K _{xx} , Н·с/м	Опора № 2			
		$K_{xx(a\omega)}^{(2)}$	$K_{xx(\omega)}^{(2)}$	$K_{xx(a)}^{(2)}$	$K_{xx(0)}^{(2)}$
		$-3.98 \cdot 10^3$	$3.79 \cdot 10^1$	$2.89 \cdot 10^7$	$2.40 \cdot 10^6$
	K _{yy} , Н·с/м	Опора № 1			
		$K_{yy(a\omega)}^{(1)}$	$K_{yy(\omega)}^{(1)}$	$K_{yy(a\omega)}^{(1)}$	$K_{yy(0)}^{(1)}$
		$1.59 \cdot 10^3$	$-1.41 \cdot 10^3$	$1.59 \cdot 10^3$	$1.70 \cdot 10^7$
		Опора № 2			
		$K_{yy(a\omega)}^{(2)}$	$K_{yy(\omega)}^{(2)}$	$K_{yy(a\omega)}^{(2)}$	$K_{yy(0)}^{(2)}$
		$2.04 \cdot 10^2$	$-5.46 \cdot 10^2$	$2.04 \cdot 10^2$	$8.69 \cdot 10^6$

В качестве сегментных подшипников опор компрессора ИВР были использованы подшипники скольжения из эксплуатационной практики с самоустанавливающимися подушками при индивидуальном подводе смазки при заданной нагрузке [4]. Данные этих подшипников приведены в таблице 2 в столбце № 5.

Таблица 2 – Данные подшипников скольжения опор компрессора

№п/п	Наименование	Обо- зна- чение	Размер ность	Исход- ная	Выбранная опора 1 (индив.)	Выбранная опора 2 (ТРИЗ)
1	Диаметр шейки вала	d	мм	160.0	160.0	160.0
2	Ширина подушки опоры 1(2)	B	мм	113.5 (149)	100.0	145.0
3	Угол охвата подушки	θп	град	65.8	65.8	75.0

4	Степень нереверсивности подушки опоры	$\bar{\theta}_p$	-	0.5	0.5	0.55
5	Число подушек	z	-	5	5	4
6	Радиальный зазор между рабочими поверхностями подушки и шипа	δ	мм	0.2	0.21	0.09
7	Радиальный зазор в подшипнике под точкой опоры подушки при центральном положении шипа	h_{po}	мм	0.1	0.1	-
8	Число жиклёров в форсунке	z1	-	5	5	-
9	Перепад давления смазки на входе и выходе из подшипника	Δp	МПа	0.1	0.14	0.18
10	Температура смазки на входе в подшипник	t_0	°C	50.0	50.0	35.0
11	Марка смазки опоры		-	Тп-22с	ХС-40	ХА-30

Подшипникам валопровода ИВР, согласно формулам (2), (3) и данным таблицы 2 (столбец № 5) соответствуют параметры $a_1 = a_2 = 0$.

Нижнее и верхнее значения диапазона изменения жесткостей муфт на поперечное смещение и на поворот вокруг поперечных осей в соответствии с (4) принимали значения $C_l = 1.95 \cdot 10^7$ Н/м, $C_u = 4.18 \cdot 10^8$ Н/м, $S_l = 5.45 \cdot 10^3$ Н·м/рад, $S_u = 2.32 \cdot 10^5$ Н·м/рад [3]. Параметры масс дисков №1, №2, №3 компрессора в соответствии с (5) принимали значения $M_{il} = 30$ кг, $M_{iu} = 70$ кг $i = (1, 2, 3)$.

Для определения количественных оценок качества полученной регрессии (9) весь набор данных для проведения расчетов с помощью программы [6] делился на тренировочную (обучающую) и тестовую части. Первая серия расчетов из 128 вариантов использовалась в качестве обучающей (таблица 3), вторая серия из 10 вариантов - как тестовая для оценки качества получаемых поверхностей регрессии. Качество оценивалось по нескольким критериям, например по коэффициенту детерминации R^2 и средневзвешенной квадратичной ошибке MSE [8,9].

Таблица 3 – Коэффициенты варьирования для построения поверхностей регрессии критических частот и максимальных амплитуд

Вариант	Колич.	a_1	a_2	α_1	α_2	m_1	m_2	m_3
Обуч.	128	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1
Тест	10	0,56	0,32	0,21; 0,77	0,11; 0,54	0,23; 0,63	0,43	0,37

Дисбалансы величиной 1 кг·мм задавались на диске свободной турбины (угол 0^0), первом (угол 0^0), втором (угол 45^0) и третьем (угол 180^0) дисках компрессора.

Для решения задачи вынужденных колебаний применялась программа [6] «Валопровод». Она может использовать два варианта решения: 1.) собственный, реализующий «метод интегрирующих матриц» [6,11]; 2.) вариант с использованием ANSYS Mechanical APDL. Исходные данные решаемой задачи (рис.1) генерируются с помощью интерфейса программы «Валопровод», т.е. генерируется макрос на внутреннем языке ANSYS – APDL, который формирует систему и обеспечивает старт решения. После этого разработанная программа на языке Python запускает ядро ANSYS в bat-режиме в соответствии с параметрами каждого варианта Таблицы 3 для решения задачи вынужденных колебаний. Критические частоты выбиралась по критерию максимальное значение величины суммарных опорных динамических реакций.

Проведенные расчеты показали, что из всех вариантов построения гиперповерхностей регрессии (линейная, квадратичная, кубическая, дерево решений [9] и случайный лес) наиболее предпочтительным является дерево решений.

В данной работе в качестве алгоритма поиска экстремумов использовался простой вариант генетического алгоритма [12]. Обработка элементов упрощенного генетического алгоритма проводилась на нескольких традиционных тестовых функциях [8]: обобщенная функция Розенброка (двумерный вариант); функция Гриванка (двумерный вариант) (Griewangk); функция Экли (Ackley) (двумерный вариант); функция Уитли (Whitley) (двумерный вариант).

Результат решения ИВР с вектором $\Omega_{dep} = [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.3, 0.3]^T$, соответствующим эксплуатационным параметрам ГПА-16 «Волга», представлен на рисунке 2.

Результаты работы алгоритма поиска экстремумов приведены на рисунке 3, из которого следует, что критические частоты вращения отстраиваются от рабочего диапазона с запасом более 20%. «Нормальное решение» получено для $\Omega = [0.26, 0.85, 0.66, 0.74, 0.47, 0.55, 0.35]^T$. Частоты, соответствующие этим параметрам: $\omega_{cf}^{(1)} = 209.44 \text{ с}^{-1}$, $\omega_{cf}^{(2)} = 733.03 \text{ с}^{-1}$. Параметры подшипников при индивидуальном подводе смазки [4], соответствующие $\Omega_1 = a_1 = 0.26$ и типа ТРИЗ $\Omega_2 = a_2 = 0.85$, указаны в таблице 2 в столбцах № 6 и № 7 соответственно. Левая и правая муфты трансмиссии, соответствующие параметрам $\Omega_3 = \alpha_1 = 0.66$ и $\Omega_4 = \alpha_2 = 0.74$, могут быть представлены пакетами пластин типа 1,2П0 [3] из 7 и 8 пластин толщиной 1.2 мм соответственно.

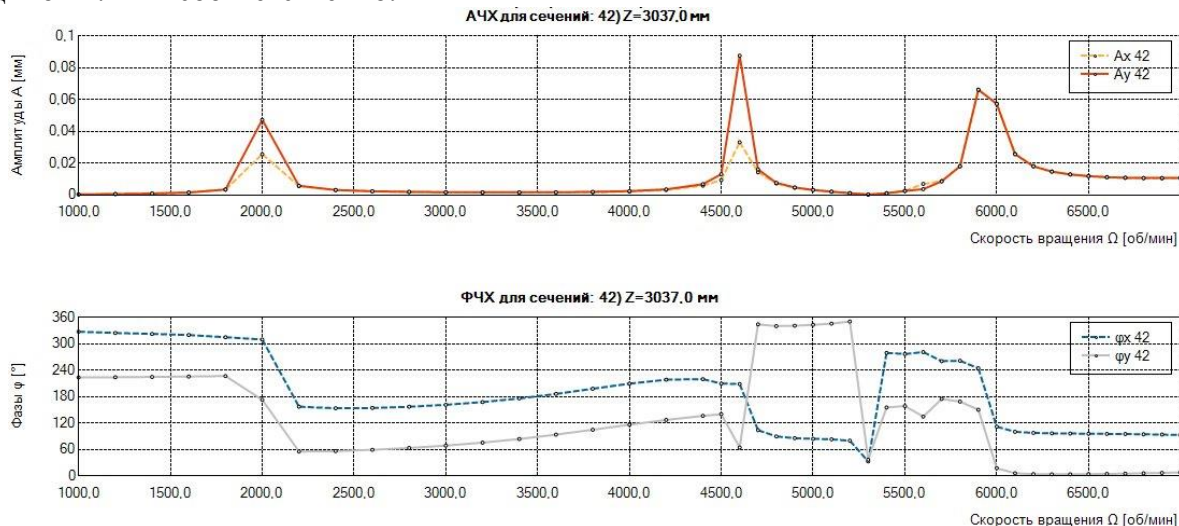


Рис. 2 - Амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики для сечения 3037.0 мм: параметры валопровода соответствующие эксплуатационным ГПА-16 «Волга»

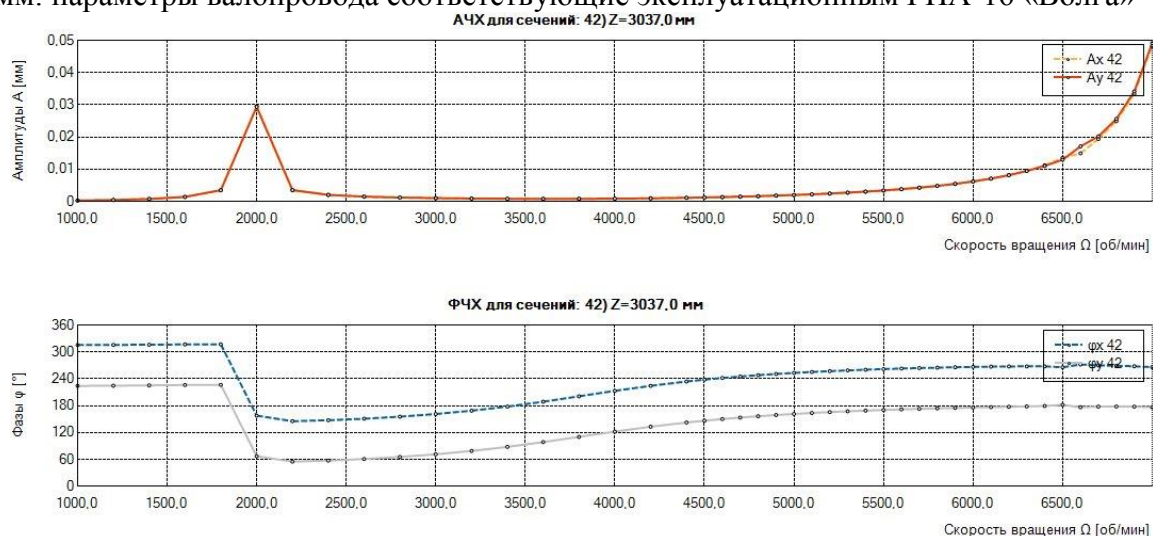


Рис. 3 - Амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики для сечения 3037.0 мм: оптимальный вариант («нормальное решение»)

В заключении можно отметить следующее:

1. «Нормальное решение» отстройки критических частот валопровода ГПА найдено.
2. Отстройка критических частот валопровода ГПА достигается с помощью: параметров и количества пластин муфт трансмиссии; использования во второй опоре компрессора сегментного подшипника типа ТРИЗ с пониженной температурой масла на входе в подшипник; небольшого изменения массы колес компрессора.

Список литературы

1. *Симоновский В.И., Угничев А.С.* Решение задачи отстройки роторов от критических частот с помощью симлекс-метода. Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції: СумДУ, 2012. — Ч.2. — С. 188-189.
2. *Матвеев А.Е.* Повышение эффективности отстройки критических частот вращения гибких роторов на основе создания специального метода расчёта частот. Диссертация кандидата технических наук. - Рыбинск: Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева (РГАТА), 2005, - 163 с.
3. *Сидоров И.Н., Горелов А.В., Булашов Д.А.* Вычисление и сравнительный анализ коэффициентов жесткости мембранных и пластинчатых соединений муфт газоперекачивающих агрегатов // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. №2, С.28-35.
4. *Сидоров И.Н., Булашов Д.А., Туктарова В.В.* Алгоритм и программные средства для расчета динамических характеристик опорных сегментных подшипников скольжения с индивидуальным подводом смазки // Вестник технологического университета. Т.20. №23. 2017. С.74-78.
5. *Марцинковский В.С., Юрко В.И.* Расчётная оценка влияния маслосъёмных скребков на характеристики опорных подшипников с самоустанавливающимися колодками. Проектирование и исследование компрессорных машин // Сб. научных трудов. Выпуск 6., Казань, 2009г., С. 278-287.
6. *Савинов В.И., Булашов Д.А.* Свидетельство о государственной регистрации № 2016610276 программы для ЭВМ Валопровод.
7. *Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А.* Глубокое обучение / пер. с англ. 2-е изд. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652с.
8. *Price K.V., Storn R.M., Lampinen J. A.* Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. -537 pages.
9. *Раика С.* Python и машинное обучение // пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 418с.
10. <https://scikit-learn.org>
11. *Евгеньев С.С., Савинов В.И., Сидоров И.Н., Семенова В.В.* Математические модели, методы и программные средства для анализа поперечных колебаний роторных систем // Журнал «Энергетик», № 11, 2010. С.36-39.
12. *Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И.* Теория эволюционных вычислений. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2012. – 260с.

05.13.19

А.Р. Ванеев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,
мегафакультет компьютерных технологий и управления,
факультет безопасности информационных технологий,
Санкт-Петербург, andre9.van@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ МНОЖЕСТВЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПО ТРЕБОВАНИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению особенностей и порядка проведения работ при осуществлении классификации информационных и автоматизированных систем по требованиям безопасности информации с учетом необходимости одновременного применения различных методик классификации, в соответствии с составом обрабатываемой информации.

Ключевые слова: информационная безопасность, классификация информационных систем, множественная классификация, организационные меры защиты информации.

Развитие средств обработки информации неминуемо приводит к увеличению объёмов и уровня вовлеченности в данный процесс основных элементов из всех сфер жизни современного общества. Концентрация большого количества информации и стремление использовать её в новых и необычных услугах и сервисах, приводит к формированию нетиповых информационных и автоматизированных систем обработки информации, усложняя процесс обеспечения информационной безопасности, за счет невозможности однозначного определения и классификации таких систем, в том числе по требованиям безопасности информации. Одной из наиболее часто встречающихся проблем, особенно в сфере защиты информации для государственных информационных систем, является непонимание особенностей и принципов проведения классификации новых систем, особенно в ситуациях, когда классифицируемая система обладает сразу несколькими классификационными признаками, позволяющими её одновременное отнесение и рассмотрение в разрезе различных методологий классификации.

Под классификацией следует понимать разбиение общего множества объектов на подмножества-классы, сгруппированные по наиболее существенным признакам, при этом под классом понимается совокупность объектов, обладающих некоторыми признаками общности, которые в свою очередь будут являться признаком – критерием классификации. Рассмотрим вышеописанное определение на простом примере: в большой емкости с различного вида крупами (системами), каждый раз при просеивании крупы через сито с определенной решёткой (классифицировании) мы делим общее множество на отдельные классы, в данном случае, по типу крупинки (классификационному признаку), изменив тип сита и повторив этот процесс несколько раз, мы получим достаточную степень систематизации исходного множества и детализации описания каждого из классов, исходя из общего набора свойственных им классификационным признакам. Следует учитывать, что каждый из полученных таким образом классов, сам по себе будет являться множеством, над которым мы также можем проводить операции по классификации до тех пор, пока не останется либо множества, либо новых классификационных признаков. В разрезе обеспечения информационной безопасности, каждый из таких фильтров, заключается в отдельных законодательно закреплённых требованиях к защите конфиденциальной информации, а, следовательно, множественная классификация одной и той же системы не

является ошибочной, не носит излишнего характера и обуславливается составом и характером обработки такой информации в системе.

Наиболее часто встречающиеся классификации основаны на положениях следующих документов:

- руководящий документ Гостехкомиссии «Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации» от 30.03.1992 г. Согласно документу установлены 9 классов защищенности, а разделение всех автоматизированных систем осуществляется по 3 группам и соответствующим им классам:

- 3-я группа включает автоматизированные системы (АС), в которых работает только один пользователь, допущенный ко всей информации в АС, размещенной на носителях одного уровня конфиденциальности. Группа содержит два класса – 3А и 3Б.

- 2-я группа включает АС, в которых работает несколько пользователей, которые обладают одинаковыми правами ко всей информации в АС, обрабатываемой и/или хранимой на носителях различного уровня конфиденциальности. Группа содержит 2 класса – 2А и 2Б.

- 1-я группа - многопользовательские АС, в которых одновременно обрабатываются и/или хранятся информация различных уровней конфиденциальности, а пользователи имеют различные права доступа к информации АС. Группа содержит 5 классов – 1А, 1Б, 1В, 1Г, 1Д.

- приказ ФСТЭК России «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» от 11.02.2013 г. №17. Согласно приказу для государственных информационных систем устанавливается 3 класса защищенности: К1, К2, К3.

- постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» от 01.11.2012 г. №1119. Согласно постановлению для информационных систем персональных данных устанавливается 4 уровня защищенности персональных данных: УЗ1, УЗ2, УЗ3, УЗ4.

- совместный приказ ФСТЭК и ФСБ России «Об утверждении требований о защите информации, содержащейся в информационных системах общего пользования» от 31.08.2010 г. №489/416. Согласно приказу, устанавливаются 2 класса информационных систем открытого доступа: I и II класс;

- постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений» от 08.02.2018 г. № 127. В соответствии с ним, устанавливается 3 категории значимости первая – самая высокая, а третья самая низкая.

Отдельно стоит отметить, что в соответствии с действующими нормами, классификацию системы должен осуществлять именно обладатель информации, т.е. лицо, самостоятельно создавшее информацию либо получившее на основании закона или договора право разрешать или ограничивать доступ к информации, определяемой по каким-либо признакам. Результат проведения процесса – формирование акта классификации, одна из распространенных ошибок при составлении акта относится к случаям, когда осуществляется множественная классификация систем. В этом случае, необходимо проводить классификацию независимо, не опираясь на результаты предыдущих классификаций (если это не противоречит порядку классификации), а результат оформлять отдельными актами классификации.

В рамках исследования было проанализировано более 10 методик классификации, как отечественные, так и международные, в результате чего, был систематизирован общий порядок проведения классификации для любого класса систем. Вне зависимости от методики, процесс проведения классификации осуществляется в соответствии со следующим порядком:

1. Приказом руководителя (уполномоченного заместителя) организации, являющейся на законных основаниях обладателем информации, обрабатываемой в классифицируемой информационной системе, назначить комиссию по проведению классификации. В приказе отразить:

- состав комиссии с указанием ФИО, должности и функциональной роли для каждого из членов комиссии;

- наименование классифицируемой системы (или нескольких систем);

- документы, в соответствии с которыми должна производиться классификация;

- сроки проведения классификации.

2. Ознакомить с приказом всех участников комиссии.

3. Установить время заседания комиссии.

4. Комиссии под протокол в установленное время заседания определить:

- порядок проведения классификации в соответствии с требованиями документа, на основании которого проводится классификация;

- определить состав классификационных признаков, значимых при проведении классификации;

- определить значения классификационных признаков для классифицируемой системы;

- установить класс информационной системы.

5. На основании протокола заседания классификационной комиссии зафиксировать итоговый результат классификации в акте классификации.

6. В установленном порядке передать акт классификации на утверждение руководителю (уполномоченному заместителю) организации.

Во всех исследуемых методиках процесс определения конечных значений каждого из классификационных признаков определяется экспертным путем, обычно в результате консолидированного экспертного мнения. Данный подход не является оптимальным, однако существенно упрощает общий порядок формирования комиссии по классификации, позволяя использовать доступных штатных сотрудников и экспертов в области безопасности информации.

Таким образом, в данной статье мы рассмотрели общий порядок проведения классификации информационных систем по требованиям безопасности информации, рассмотрели основные особенности проведения множественной классификации информационных и автоматизированных систем, включая теоретическое обоснование основных аспектов её проведения. В результате мы можем сделать вывод, что проведение классификации информационных и автоматизированных систем по требованиям безопасности информации является неотъемлемой составляющей проведения работ по защите информации, а необходимость множественной классификации обуславливается составом и характером обработки информации.

Список литературы

1. Приказ ФСТЭК России «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» от 11.02.2013 г. №17.

2. Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 N 149-ФЗ

05.13.00

Л.А. Галиуллин канд. техн. наук, Е.В. Зубков канд. техн. наук,
А.Н. Илюхин канд. техн. наук, А.Х. Тазмеев канд. хим. наук,
И.А. Галиуллин канд. техн. наук

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, galilenar@yandex.ru

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ

Спроектирована автоматизированная информационная система на базе веб-технологий. Сайт спроектирован так, что находясь на любой странице, пользователь может выбрать необходимый ему раздел. Возможность попасть в любое место сайта, несмотря на свое местонахождение в нем, упрощает навигацию, делая ее удобной и понятной.

Ключевые слова: сайт, веб, программирование, интернет, сеть.

Направление веб-технологий является одним из самых актуальных на данный момент, поскольку Internet-технологии становятся все более доступными обычным пользователям, и даже такая обыденная вещь, как покупка товаров уже возможна не выходя из дома [1]. Миллионы людей, имеющих доступ к интернету, осуществляют свои покупки в интернет-магазинах [2].

Целью данной работы является проектирование автоматизированной информационной системы интернет-магазина на основе веб-технологий [3]. Прежде чем приступить непосредственно к самой реализации АИС, необходимо смоделировать данную систему, то есть построить несколько абстрактных моделей, позволяющих точно ответить на вопросы, которые будут возникать в процессе разработки.

Построение модели интернет-магазина следует начать с UML диаграммы прецедентов [4]. На Рис. 1 показана совокупность прецедентов и актеров, а также отношения между ними. Здесь можно увидеть, что в роли актеров выступают: покупатель и администратор [5]. Возможности покупателя ограничены, он может просматривать каталог, выбирать удобный для него способ оплаты и соответственно осуществлять заказ, но не имеет прямого доступа к изменению информации о товарах, это может делать только администратор, поскольку только он имеет прямой доступ к Панели Администратора.

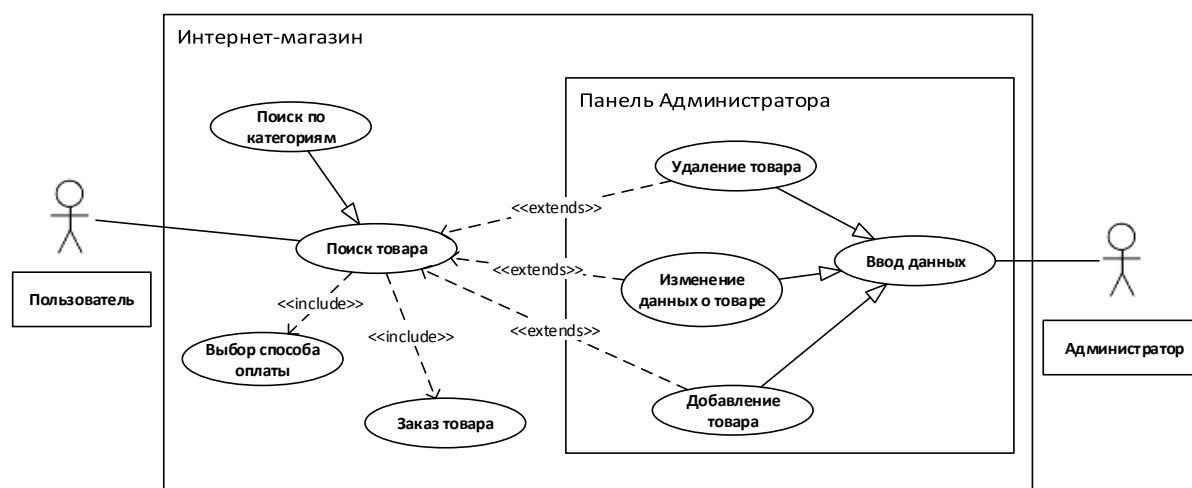


Рис. 1 - Диаграмма прецедентов

На диаграмме довольно подробно рассмотрены прецеденты двух основных актеров: покупателя и администратора, но для упрощения диаграммы была откинута иерархия актеров, которая является также важным аспектом в проектировании интернет-магазина [6]. Для более подробного рассмотрения взаимосвязи актеров, построена диаграмма прецедентов с иерархией актеров (Рис. 1). В роли актеров выступают:

1. Администратор, имеет полный доступ к изменению информации о товарах, его прав также достаточно для осуществления контроля за заказами пользователей.
2. Модератор, пользователь с менее ограниченными правами чем Администратор.
3. Зарегистрированный пользователь, в отличие от незарегистрированного имеет доступ к личному кабинету, в котором сосредоточена вся личная информация, в том числе о текущих и прошлых заказах данного пользователя.
4. Незарегистрированный пользователь, обладает минимальными правами доступа, он может осуществлять покупки, однако для осуществления контроля за ними, он должен будет произвести регистрацию.

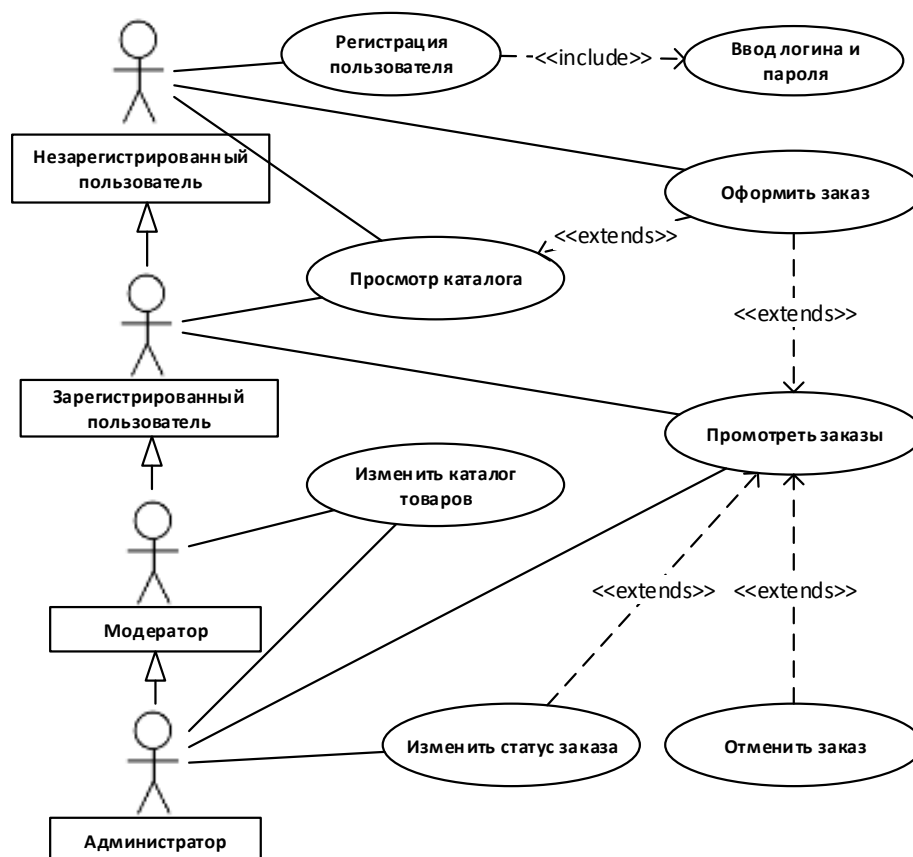


Рис. 2 - Диаграмма прецедентов (иерархия актеров)

На Рис. 3 изображена диаграмма классов, которая отражает взаимосвязь сущностей, их атрибутов и методов [7]. Здесь видно, что Покупатель является абстрактным классом, от которого наследуются классы Зарегистрированного и Незарегистрированного пользователей [8]. Важным моментом является то, что покупателю для осуществления заказа товара не нужно быть зарегистрированным, а регистрация необходима лишь для того, чтобы повторно не вводить данные при оплате, а также для полного контроля за заказом [9].

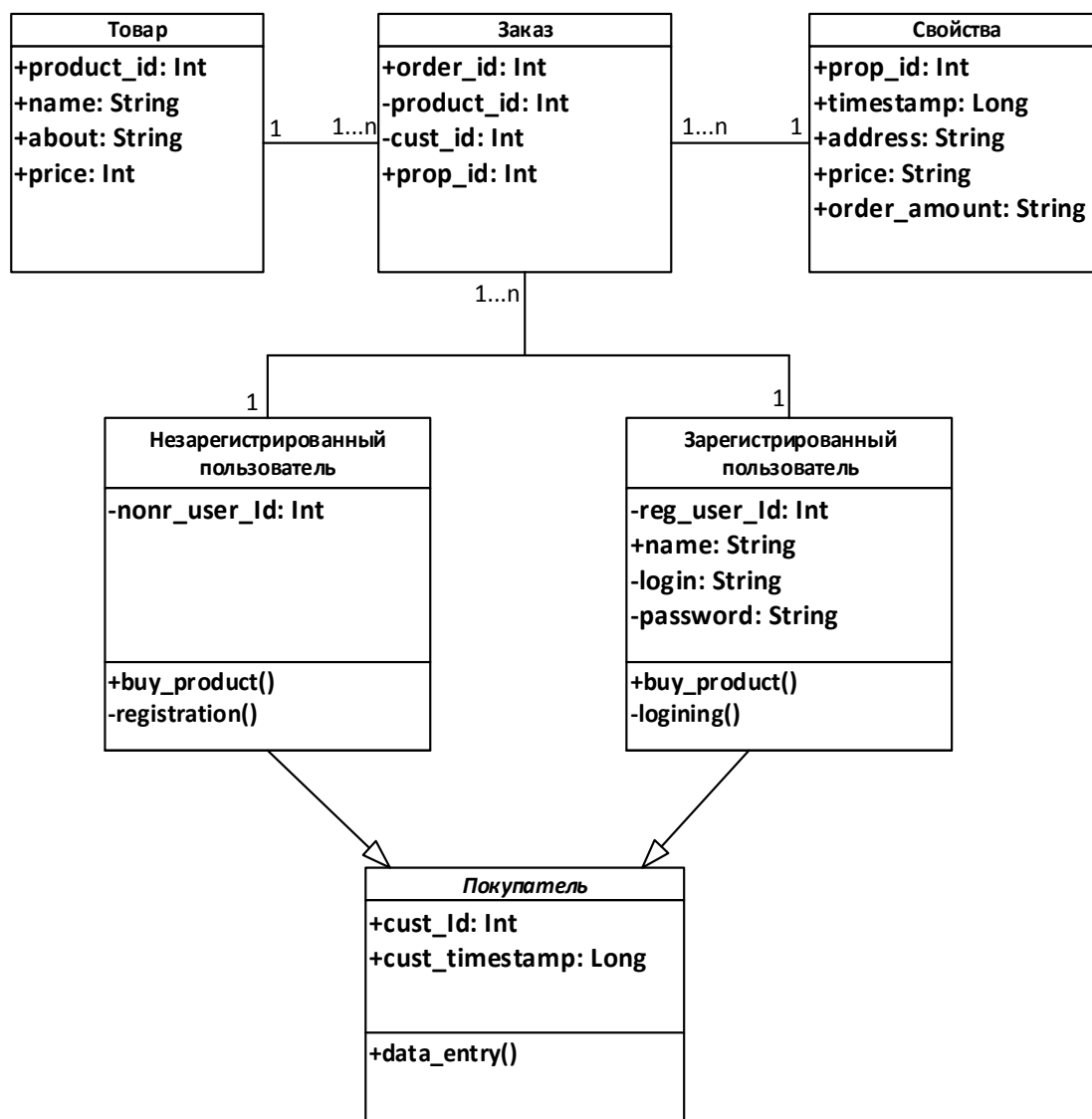


Рис. 3 - Диаграмма классов

В результате проведенной работы по предложенной методике был создан полноценный интернет-магазин с возможностью покупки товаров, оплаты заказов, а также с сохранением информации о заказах в личном кабинете пользователей [10].

Сайт с основной задачей справляется: удовлетворяет всем информационным запросам посетителя, обеспечивает удобный интерфейс для доступа ко всем разделам.

Список литературы

1. Valiev R.A., Galiullin L.A., Iljuhin A.N. Approaches to organization of the software development // International Journal of Soft Computing. Volume 10, Issue 5, 2015, Pages 336-339.
2. Valiev R.A., Galiullin L.A., Iljuhin A.N. Design of the modern domain specific programming languages // International Journal of Soft Computing. Volume 10, Issue 5, 2015, Pages 340-343.
3. Valiev R.A., Galiullin L.A., Iljuhin A.N. Methods of integration and execution of the code of modern programming languages // International Journal of Soft Computing. Volume 10, Issue 5, 2015, Pages 344-347.
4. Валиев Р.А., Хайруллин А.Х., Шибakov В.Г. Модели и методы синтеза алгоритмов и программ систем автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении // Вестник машиностроения. – 2015. – №6. – С.48–51.
5. Хайруллин А.Х. Модели и методы синтеза алгоритмов и программ систем автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении / А.Х. Хайруллин, Р.А. Валиев, В.Г. Шибakov // Вестник машиностроения. – 2015. – № 6. – С.48–51.
6. Valiev R.A., Galiullin L.A., Dmitrieva I.S., Iljuhin A.N. Method for complex web applications design // International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10, Issue 6, 2015, Pages 15123-15130.
7. Valiev R.A. Automated design systems for manufacturing processes / R.A. Valiev, A.K. Khairullin, V.G. Shibakov // Russian Engineering Research. 2015. № 9. P. 662-665.
8. Галиуллин Л.А., Валиев Р.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н. САПР пользовательского интерфейса на базе облачных технологий (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ) №2015611061, 23.01.2015.
9. Галиуллин Л.А., Халяфиев Р.А., Халяфиев А.А. Процесс торговых обменов в системе цифровой дистрибуции компьютерных игр // «Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2017)»: VII Международная научно-практическая конференция. (2017; Набережные Челны). – С. 157-160).
10. Галиуллин Л.А., Гараев А.З., Юнусов И.Р. Проектирование информационной системы технической поддержки в виде веб-приложения // VII Камские чтения Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, в трёх частях. Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет". 2015. С. 83-85..

05.13.11

**Р.Н. Голых канд. техн. наук, В.Н. Хмелёв д-р техн. наук, А.В. Шалунов д-р техн. наук,
Р.А. Лопатин, В.Д. Минаков**

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова», технологический факультет,
кафедра методов и средств измерений и автоматизации,
Бийск, romangl90@gmail.com

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЁТА СКОРОСТИ ГЕТЕРОГЕННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В КАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ, СОЗДАВАЕМОМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

В работе представлено описание и обоснование структуры программного модуля для расчёта скорости гетерогенной химической реакции «жидкость-твёрдое тело» на единицу площади поверхности раздела. Созданный программный модуль впервые позволил рассчитать оптимальные режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие максимальную скорость гидролиза на единице поверхности раздела «порошковая целлюлоза-смесь воды с катализатором».

Ключевые слова: *программный модуль, численный расчёт, производительность, кавитация, химическая реакция, ультразвук.*

Расчёт скорости гетерогенных химических реакций под действием интенсифицирующих факторов – важнейший этап проектирования аппаратов и технологических линий для производства высокоэнергетических топлив, высокопрочных материалов, химически активных веществ из гетерогенных систем. На сегодняшний день для расчёта таких реакций существует множество САЕ-систем [1, 2]. Однако они обладают основным недостатком – отсутствие средств для расчёта константы скорости реакции при воздействии внешних физических полей (в частности, ультразвуковых полей). На сегодняшний день данная проблема решается путём внесения в САЕ-системы эмпирических выражений (как правило, представляющих собой аппроксимации), не позволяющих учесть все возможные влияющие характеристики среды на скорость химической реакции. В связи с этим актуально создание программного модуля, способного рассчитывать константу скорости реакции под действием кавитации на основании феноменологической модели процесса и интегрироваться с существующими САЕ-системами для учёта пространственной неоднородности реакции.

Поскольку в рассматриваемом процессе, интенсифицируемом наложением кавитационного поля, преобразование энергии ультразвуковых (УЗ) колебаний в ускорение реакции состоит из нескольких стадий, очевидно, что создаваемый программный модуль должен иметь компонентную структуру. Выделены следующие компоненты и требования, предъявляемые к ним:

– компонент для расчёта параметров кавитационных пузырьков (концентрации кавитационных пузырьков n_{bub} , м⁻³ и давления ударной волны при схлопывании $p(t)$, Па) в зависимости от режимов ультразвукового воздействия (частоты f , Гц и интенсивности I , Вт/м²). Параметры кавитационных пузырьков рассчитываются на основе численного решения уравнения Кирквуда-Бете методом Рунге-Кутты с адаптивным шагом по времени,

определяемым как $\Delta t_{i+1} = \frac{\varepsilon R(t_i) \Delta t_i}{R(t_i) - R(t_i - \Delta t_i)}$ (ε – максимально допустимое относительное

изменение радиуса кавитационного пузырька R). Адаптивный шаг по времени позволяет учесть взрывной характер схлопывания пузырька и рассчитать $p(t)$. Концентрация n_{bub} рассчитывается на основе моделей коалесценции и дробления пузырьков [3], использующих

интегрирование элементарных функций от радиуса пузырька $R(t)$ и его производной $\frac{\partial R}{\partial t}(t)$.

– компонент для расчёта константы скорости химической реакции (K) (вычисляется на основании модели, описанной в статье [4]) в зависимости от параметров кавитационных пузырьков (концентрация n_{bub} , м⁻³ и давление ударной волны при схлопывании $p(t)$, Па):

$$k(f, I) = 1 + f \frac{n_{bub} D_0}{V} \int_0^{\tau} \int_V \int_V \left[-1 + \frac{D_{micro}(p_0 + p_{sh.bub}(t, |\mathbf{r} - \mathbf{s}|, f, I))}{D_0} \right] dV(\mathbf{r}) dV(\mathbf{s}) dt ;$$

где $D_{micro}(p)$ – скорость химической реакции в микроскопическом объёме (характерные размеры которого много меньше линейных размеров объёма V , но много больше диаметра твёрдой частицы d), кг/с; $\mathbf{r}$ – пространственная координата в объёме V , м; f – частота УЗ колебаний, с; p_0 – атмосферное давление, Па; D_0 – скорость химической реакции без ультразвукового воздействия, кг/с; $k(f, I) = \frac{K}{K_0}$ – относительное увеличение константы

скорости химической реакции при действии ультразвуковой кавитации; n_{bub} – концентрация кавитационных пузырьков, м⁻³; $p_{sh.bub}(t, r, f, I)$ – давление ударной волны при схлопывании пузырька в момент времени t на расстоянии r от центра пузырька, Па.

Компонент должен использовать алгоритмы динамического программирования для расчета вклада каждого кавитационного пузырька в изменение эквивалентной константы скорости реакции, поскольку существует множество пар «кавитационный пузырёк-твёрдая частица», в которых расстояния между центрами пузырька и частицы приблизительно одинаковы. Соответственно, отсутствует необходимость повторяющихся одинаковых вычислений вклада пузырька в изменение константы. На основании этого разработан авторами алгоритм динамического программирования для вычисления константы скорости

реакции, позволяющий сократить число операций с $O(N^6)$ до $O(N^5)$ ($N = \frac{L}{h}$; L – характерные линейные размеры кавитационной области, м; h – шаг разбиения кавитационной области на элементарные объёмы, м);

– компонент, реализующий пользовательский интерфейс. Компонент должен обладать гибкостью архитектуры при возможных модификациях модели и быть способным генерировать файлы специального формата для интеграции с САЕ-системой. При этом генерируемые файлы должны содержать описание слабой формулировки задачи, учитывающее зависимость константы скорости реакции от режимов УЗ воздействия.

Реализованный программный модуль на основе предложенной компонентной структуры и модели реакции под действием кавитации позволил рассчитать зависимости относительной скорости химической реакции на поверхности ($k(f, I) = K/K_0$; где K – константа скорости химической реакции при УЗ воздействии; K_0 – без УЗ воздействия) от параметров УЗ воздействия (рисунок 1) и оптимальной интенсивности, обеспечивающей максимальную скорость (рисунок 2). Зависимости были получены на примере реакции гидролиза порошковой целлюлозы (размеры частиц порошка – 100 мкм) в присутствии катализатора при фиксированной площади межфазной поверхности.

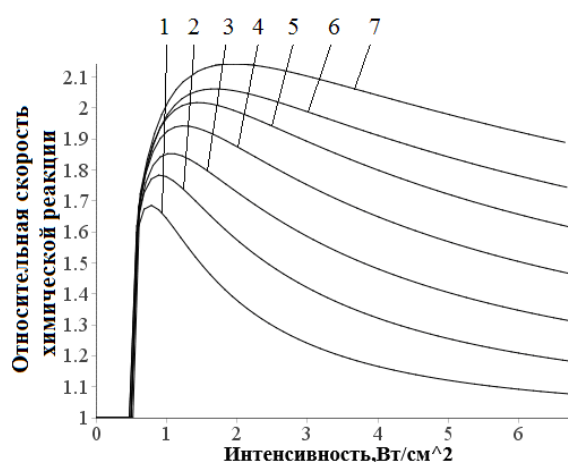


Рис. 1 – Зависимости относительной скорости химической реакции от интенсивности УЗ воздействия при различных частотах (кГц) (1 – 20; 2 – 25; 3 – 30; 4 – 35; 5 – 40; 6 – 45; 7 – 50)

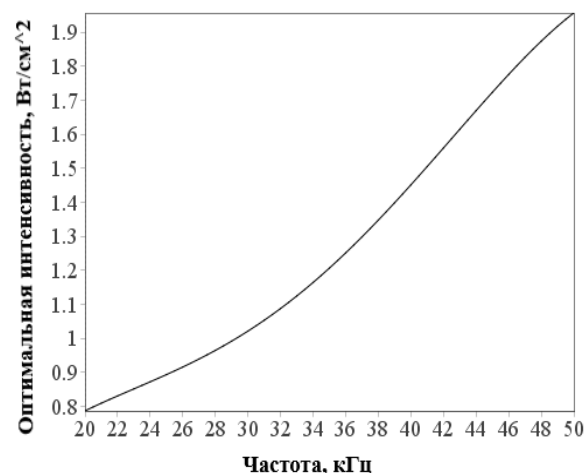


Рис. 2 – Зависимость оптимальной интенсивности, обеспечивающей максимальную скорость химической реакции на единицу поверхности раздела, от частоты УЗ воздействия

На основе рассчитанных зависимостей при помощи предложенной феноменологической модели для каждой заданной смеси реагентов и частоты УЗ воздействия программный модуль строит полиномиальную аппроксимацию относительной скорости химической реакции $k(I)$. Используя построенную аппроксимацию, программный модуль генерирует код на языке FreeFEM++, описывающий слабую формулировку задачи расчёта пространственно неоднородной гетерогенной химической реакции:

$$\int_V (\mathbf{v}(\mathbf{u}, \nabla) \mathbf{C}) = \int_V D_{dif} (\nabla \mathbf{v}, \nabla \mathbf{C}) dV + \int_V K_0 k(I(\mathbf{r})) (C_0 - C) dV ;$$

где C – текущая концентрация продукта реакции, моль/м³; $\mathbf{u}$ – скорость течения смеси реагентов, м/с; D_{dif} – коэффициент диффузии продукта реакции в смеси реагентов, м²/с; C_0 – концентрация продукта реакции при полном израсходовании вещества твёрдой фазы, моль/м³; $\mathbf{v}$ – вспомогательная функция.

Таким образом, интеграция созданного программного модуля с САЕ-системой FreeFEM++ впервые позволит рассчитать кинетику гетерогенной химической реакции в технологических объёмах произвольно заданной геометрии с учётом ультразвукового воздействия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (№ проекта 18-79-00094).

Список литературы

1. Lene O., Björn H., Solberg T. Experiments and CFD Modelling of Fast Chemical Reaction in Turbulent Liquid Flows. International Journal of Chemical Reactor Engineering // Int J Chem React Eng. – 2005. – 3.
2. Tang G. et al. CFD Modeling of Flow and Chemical Reactions in a Submerged Lance Copper Smelting Furnace. // 9th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing. – 2018.
3. Khmelev V.N., Golykh R.N., Shalunov A.V., Bazhin V.E., Nesterov V.A. Determination of Optimum Conditions of Ultrasonic Cavitation Treatment of High-viscous and Non-newtonian liquid media // EDM'2015: Conference Proceedings. – 2015. – P. 208-212.
4. Хмелёв В.Н., Голых Р.Н., Лопатин Р.А., Минаков В.Д.. Моделирование влияния ультразвуковой кавитации на механическую активацию молекул целлюлозы в ходе реакции получения биоэтанола // Южно-Сибирский научный вестник. – 2019. – № 1. – С. 193-197.

05.13.00

Л.Н. Горбушин, Н.Е. Конева канд. техн. наук

Московский политехнический университет,
кафедра «Автоматика и управление»,
Москва, levontino@gmail.com, N.Koneva21@mail.ru

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В статье проведены тенденции развития воспроизводительных вычисленных систем в центрах обработки данных и особенности их реализации.

Ключевые слова: Центр обработки данных, вычисления, высокопроизводительные системы.

Вычислительная техника является важнейшей составляющей процесса вычислений и обработки данных. А жизнь современного человека и вовсе трудно представить без электронно-вычислительных машин (ЭВМ). В настоящее время такие машины используются повсеместно и установлены практически в каждом доме. Однако, так было не всегда: в древности люди использовали для подсчётов пальцы и камни, а затем и счеты. Позже для облегчения этого труда, были созданы механические машины. И лишь в XX веке появились первые ЭВМ – предшественники тех, к которым мы привыкли и используем каждый день.

Электронно-вычислительная машина (ЭВМ) - комплекс технических средств[1], в котором основные функциональные элементы (логические, запоминающие, индикационные и др.) выполнены на электронных элементах, предназначенных для автоматической обработки информации (данных) в процессе решения вычислительных и информационных задач.

Так как объемы передаваемых и обрабатываемых данных в последние годы стремительно растут, неизбежно требуется повышение производительности и надежности ЭВМ. Этот фактор инициировал изменение структуры и масштабов устройств обработки информации, что привело к возникновению центров обработки данных (ЦОД)[2].

Центр обработки данных (ЦОД) — это отказоустойчивая комплексная централизованная система, обеспечивающая автоматизацию бизнес-процессов с высоким уровнем производительности и качеством предоставляемых сервисов.

Назначение ЦОД — обеспечение гарантированной безотказной работы информационной системы предприятия с заданными уровнями доступности, надежности, безопасности и управляемости. Использование технологии создания центров обработки данных позволяет создавать резервные штаб-квартиры предприятий с сохранением максимально возможной функциональности информационной системы при чрезвычайных обстоятельствах[3].

Работа с большими объемами данных требует высокой вычислительной производительности средств обработки и достаточного уровня надежности.

Вычислительная мощность компьютера (производительность компьютера) — это количественная характеристика скорости выполнения определённых операций на компьютере. Чаще всего вычислительная мощность измеряется во флопсах (количество операций с плавающей запятой в секунду), а также производными от неё. На данный момент принято причислять к суперкомпьютерам системы с вычислительной мощностью более 10 терафлопсов ($10 \cdot 10^{12}$ или десять триллионов флопсов; для сравнения среднестатистический современный настольный компьютер имеет производительность порядка 0.1 терафлопса). Одна из наиболее мощных на тесте Linpack компьютерных систем — американский Summit — имеет производительность, превышающую сотню петафлопсов.[4]

Существует большое разнообразие тестов, ориентированных на оценку высокопроизводительных систем. Совокупность таких тестов позволяет достаточно адекватно оценить характеристики суперкомпьютера в различных условиях его применения.

Наиболее распространённым тестом является Linpak, который основан на решении системы линейных алгебраических уравнений методом Гаусса. Этот тест является стандартным при оценке производительности суперкомпьютеров с кластерной архитектурой. Перед запуском, его тщательно оптимизируют под конкретную вычислительную установку. Поэтому оценка производительности суперкомпьютеров, полученная на данном тесте, близка к пиковой. Данный тест используется при формировании рейтинга наиболее высокопроизводительных вычислительных систем в мире. (Таблица 1)[4]

Таблица 1 - Пять лучших вычислительных систем из ТОП-500

	Rmax Rpeak (Pflops)	Название	Архитектура, Тип процессора, сеть	Производитель	Место Страна, год	Операционная система
1	143.500 200.795	Summit	Power System AC922 POWER9, Tesla V100, Infiniband EDR	IBM	Национальная лаборатория Оук- Ридж, США, 2018	Linux (RHEL)
2	94.640 125.436	Sierra	Power System S922LC POWER9, Tesla V100, Infiniband EDR	IBM	Ливерморская национальная лаборатория, США, 2018	Linux (RHEL)
3	93.015 125.436	Sunway Taihu Light	Sunway MPP SW26010, Sunway	NRCPC	Национальный суперкомпьютерн ый центр в Уси, Китай, 2016	Linux (Raise)
4	61.445 100.679	Tianhe-2	TH-IVB-FEP Xeon E5-2692, Matrix-2000, TH Express-2	Оборонный научно- технический университет NUDT	Национальный суперкомпьютерн ый центр в Гуанчжоу, Китай, 2013	Linux (Kylin)
5	21.230 27.154	Piz Daint	Cray XC50 Xeon E5- 2690v3, Tesla P100, Aries	Cray <u>Inc.</u>	Швейцарский национальный суперкомпьютерн ый центр, Швейцария, 2016	Linux (CLE)

Высокопроизводительная вычислительная система – это вычислительная система, производительность (или вычислительное быстродействие) которой во много раз выше, чем у массовых компьютеров, за счет параллельной обработки данных. Параллельная обработка данных подразумевает одновременную работу ряда независимых устройств (процессоров) [5, 6].

Таким высоким вычислительным характеристикам современные высокопроизводительные вычислительные системы, используемые в ЦОД, обязаны кластерной архитектуре, применяемой в данной отрасли уже более 15 лет.

Под кластерной архитектурой подразумевается построение суперкомпьютеров за счет объединения серийных вычислительных компонентов с помощью высокопроизводительных локальных вычислительных сетей, функционирующих под управлением открытого программного обеспечения.

Кластерные системы характеризуются следующими достоинствами[7,8]:

- приемлемая стоимость, за счет использования общедоступных компонентов;
- гибкое масштабирование в большом диапазоне потребностей;
- небольшие сроки реализации системы.

В качестве недостатков, стоит отметить, ограниченную пропускную способность канала передачи данных, обеспечивающего синхронизацию взаимосвязанных последовательных процессов вычисления.

Пропускная способность канала определяется эффективностью коммутационной среды (Таблица 2) при обмене сообщениями различной длины – короткими или длинными.

Таблица 2 - Основные коммутационные среды

Технология	Пропускная способность	Задержка
Infiniband (SDR)	2 Гбит/с	2.5 мкс
PCI Express	2 Гбит/с	2 мкс

Наиболее эффективными коммутационными средами являются Infiniband (SDR,DDR,QDR) и PCI Express, которые обладают низким уровнем задержки и высокой пропускной способностью при хорошей способности к масштабированию.

Все современные материнские платы поддерживают технологию PCI Express 3.0 или PCI Express 4.0, что позволяет собрать кластер из стандартных компонентов.

Для повышения производительности кластерных решений, используются различные ускорители, чаще всего графические ускорители. Использование графических процессоров в связке со стандартной процессорной архитектурой значительно увеличивает быстродействие не только при обработке графических объектов, но и при решении широкого круга требуемых задач.

Производительность графических ускорителей наиболее точно определяется умножением матриц с одинарной (SGEMM) и двойной (DGEMM) точностью.

Новейшие графические ускорители NVIDIA Tesla V100 на базе графического процессора(GPU) Volta и AMD Radeon Instinct MI60 на базе Vega20 справляются с данными тестами наиболее результативно.(Таблица 3)

Таблица 3 - Производительность GPU

Графический адаптер	GPU	SGEMM, Тфлопс	DGEMM, Тфлопс
NVIDIA Tesla V100	Volta	6.627	13.106
AMD Radeon Instinct MI60	Vega20	6.717	14.047

Таким образом, с текущим уровнем развития технологий, научно-техническое сообщество вплотную приблизилось к достижению экзафлопного уровня производительности вычислительных систем. Предоставленные, такими системами возможности могли бы позволить качественно улучшить уровень моделирования в различных сферах промышленности и науки.

Однако, на пути к достижению эксафлопного уровня производительности необходимо преодолеть ряд ограничений:

1. Энергопотребление. При сохранении текущих тенденций развития технологий система экзафлопной производительности, построенная на базе вычислительных элементов, в обозримом будущем, будет иметь мощность порядка 100 МВт. Текущая энергоэффективность высокопроизводительных систем – примерно 1 ГФлопс/Вт, для построения систем экзафлопного уровня необходимо достичь значений порядка 40–75 ГФлопс/Вт.

2. Оперативная память и системы хранения данных. Современные технологии не отвечают требованиям экзафлопных вычислений по объёму хранения данным и скорости доступа к ним, что справедливо по отношению как к оперативной памяти, так и к системам долгосрочного хранения данных. Системам экзафлопного уровня необходимо иметь около

128 Пб оперативной памяти, объединённой в единое адресное пространство и имеющей многоуровневую архитектуру.

3. Параллелизм. Замедление роста тактовой частоты обозначило единственный путь повышения пиковой производительности вычислительных систем в целом – использование параллельных вычислений. В настоящий момент не существует архитектуры вычислительной системы, способной обеспечить эффективную работу подобного числа ядер. Современные технологии разработки приложений и их текущие реализации (OpenMP, TBB, Cilk+, MPI, CUDA, OpenCL и т.д.) также не готовы к эффективному использованию такого объёма вычислительных ресурсов.

4. Надежность. Экстенсивный рост количества используемых компонент ведёт к уменьшению времени наработки на отказ (MTBF). В настоящее время 20% вычислительной мощности высокопроизводительных систем теряется по причине возникших неисправностей и восстановления после них, типичные значения MTBF

составляют от 8 часов до 15 дней. Согласно прогнозам, для систем экзафлопного уровня, MTBF должен составлять от нескольких минут до 1 часа.

5. Гетерогенность. Гетерогенность архитектуры позволяет использовать вычислительные возможности высокопроизводительных и энергоэффективных специализированных устройств, таких, как графические ускорители или заменяющие СБИС ПЛИС, сохраняя в то же время функциональность системы общего назначения. Однако для её эффективного использования необходимо наличие программной модели, обеспечивающей унифицированный подход к разработке программ для различных аппаратных конфигураций.

На основе анализа современных высокопроизводительных вычислительных систем, можно сделать вывод о том, что для достижения высокого уровня вычислительной производительности в ЦОД наиболее целесообразным является:

- выбор компьютерной архитектуры кластерного типа;
- использование общедоступных компонентов стандартной процессорной архитектуры в связке с проблемно-ориентированными ускорителями;
- реализация коммуникационной среды на основе технологии Infiniband или PCI Express;
- существенное увеличение эффективности кластера с помощью использования сверхбольших интегральных схем программируемых логических интегральных схем.

В свою очередь, задача повышения вычислительной производительности и достижения экзафлопного уровня вычислений является одним из самых актуальных направлений.

Список литературы

1. Гегель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем: Учебник. М.: Издательство Московского государственного университета, 2010. – 544 с.
2. Горбушин Л.Н. Основные проблемы при эксплуатации центров обработки данных // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы. Материалы IX международной научно-практической конференции – Москва, 2017 – с. 87 - 90
3. Горбушин Л.Н., Конева Н.Е. Анализ систем охлаждения, применяемых в центрах обработки данных // Сборник статей XXI международная конференция «Развитие науки в XXI веке» 1 часть – Харьков, 2018 – с. 26 - 30
4. <https://www.top500.org/lists/2018/11/>
5. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
6. Корнеев В.В. Вычислительные системы. – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 512 с.
7. Лацис А.О. Параллельная обработка данных. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 330 с.
8. Яблонский С.В., Конева Н.Е., Конев Ф.Б. Развитие высокопроизводительных систем обработки информации. – Естественные и математические науки в современном мире / Сборник статей по материалам XIX международной научно-практической конференции. – Новосибирск. 2014. №6(18). С.49-56

05.13.11

Т.А. Деменкова канд. техн. наук, Ф.А. Игнатъев

МИРЭА- Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Представлены результаты исследований основных методов обработки и фильтрации цифровых изображений. Проанализированы проблемы использования готовых решений и предложена методика, позволяющая расширять, оптимизировать и распараллеливать процесс обработки. Разработаны алгоритм и программное обеспечение для практической оценки методов предварительной обработки цифровых изображений на основе усредняющих фильтров.

Ключевые слова: *предварительная обработка цифровых изображений, алгоритмы фильтрации, матрица свертки.*

Введение

На сегодняшний день технологии компьютерной обработки цифровых изображений становятся все более востребованными в таких областях как космонавтика, микробиология и метеорология. Решение задач в области цифровой обработки изображений требует большого объема экспериментальных исследований, в которых используются специализированные алгоритмы и многократное тестирование с привлечением большой базы изображений из предметной области исследования. Примером задачи повышение визуального качества изображения является восстановление его четкости и резкости после увеличения в размерах для более подробного рассмотрения границ объектов и мелких деталей. Цифровая память компьютера способна хранить только массивы, потому изображения хранятся как некоторая цифровая модель, в общем случае матрица. Цифровое изображение можно представить в виде функции $F(x,y)$, где x и y – координаты точки на поверхности изображения, ограниченные высотой и шириной изображения соответственно, а $f(x,y)$ – яркость в точке с координатами x,y для черно-белых изображений или цвет для цветных. Одной из моделей цветного изображения является трехкомпонентная теория цвета, в общем случае описывающая цвет как смешение нескольких основных цветов. Наиболее популярным на сегодняшний день является представление аддитивной цветовой модели RGB (Red, Green, Blue). Основным вопросом при замене непрерывного изображения дискретным состоит в определении условий, при которых такая замена минимизирует потерю информации, содержащуюся в непрерывном изображении.

1. Задачи обработки цифровых изображений

Обработкой цифрового изображения считается любое изменение или анализ данных, представленных в виде цифрового изображения, результатом которого является также цифровое изображение, направленное на визуальное восприятие человеком. Следует выделить основные группы задач обработки изображений: улучшение, восстановление и машинный анализ изображений [1]. Задачи улучшения изображения направлены на изменение изображения с точки зрения конкретного применения и характеризуются субъективно визуальной интерпретацией. Целью задач восстановления изображения является повышение его визуального качества при заранее известном типе преобразования, искажившим изображение. При машинном анализе ставится задача распознавания изображений или элементов изображения, в общем случае для автоматизации потока данных. Основными комплексами методов обработки цифровых изображений являются предварительная обработка, фильтрация и блочная обработка [2].

Одним из примеров предварительной обработки изображения на программном уровне является способ усреднения изображения, базирующийся на свертке изображения [3]. Свертка является методом преобразования какого-либо векторного значения в скалярное.

Каждый из таких методов представляется определенными коэффициентами. При обработках цифровых изображений вектором является цвет группы пикселей, а результатом - скалярное значение, получаемое на основе применения к исходному изображению какого-либо фильтра, обозначает цвет пикселя в обработанном изображении. Базисное усреднение определяет среднее значение всех уровней яркости поверхности исходного изображения.

Цифровые фильтры на основе свертки характеризуются размером группы пикселей. Это называется размером фильтра, или размером матрицы. Матрица, применяемая при свертке, называется ядром свертки. Обычно размеры ядра представляются матрицей 3×3 . С помощью программного обеспечения исходное изображение было обработано шестью ядрами.

2. Методы низкоуровневой обработки

Повышение качества цифрового изображения путем ослабления действия помех, вызванных процессом снятия или дискретизации, можно достичь фильтрацией изображений. При искажении изображения шумом яркость или цвет в каждой точке исходного изображения оценивается полезностью или похожестью сигнала множества соседних точек и заменяется другим значением, признанным наименее искаженным. Из данного алгоритма следует, что основной задачей при применении методов фильтрации является задача поиска наиболее пригодной для конкретных входных данных вычислительной процедуры для достижения наилучших результатов. Примерами таких процедур выступают алгоритмы линейной фильтрации, масочная фильтрация изображений, рекуррентная каузальная фильтрация, фильтр Винера и медианная фильтрация. Примером применения данных методов является подавление шумов. На исходном изображении цифровой шум отображается в виде наложенной маски из пикселей случайного цвета и яркости, такая маска классифицируется как шум Гаусса или двоичный шум. К фильтрам, эффективно подавляющим шум Гаусса, относятся линейные усредняющие фильтры, такие как фильтр-ящик и биномиальный фильтр.

Принцип действия линейных фильтров основан на суммировании количества пикселей внутри маски и деления полученной суммы на число пикселей. Отсюда становится очевидным, что недостатком линейных фильтров является размывание контура, вследствие чего теряется исходный уровень яркости и полезной информации. Этих недостатков лишен медианный фильтр, относящийся к фильтрам нелинейной фильтрации. Принцип данного фильтра заключается в том, что пиксели внутри маски фильтра сортируются, в результате выбирается один пиксел, в частности, медианный фильтр выбирает среднее значение, по которому в результате будет восстанавливаться яркость возмущенного пикселя. Что касается применения медианных фильтров, то они хорошо подавляют двойной шум без размывания изображения, однако менее эффективно исключают шум Гаусса.

3. Методика использования способов обработки

В общем случае применение готовых решений обусловлено несколькими проблемами. Обычно разработка так называемых библиотек имеет универсальный характер, что не является оптимальным для решения конкретной задачи. При использовании таких библиотек результат заведомо гарантируется как верифицированный для целей, возможно варьирующихся от заданных. Однако основной проблемой использования готовых решений является ограничение на платформы, под которые разработаны библиотеки и соответственно возможности по расширению, оптимизации и распараллеливанию процессов обработки.

При решении реальных задач обработки изображений, как правило, недостаточно одного метода. Требуется последовательное, а нередко итерационное, применение нескольких методов. Тогда возникает проблема выбора этих методов и их конкретных параметров. Так, например, фильтр низких частот Гаусса позволяет получить эффект размытия изображения для восстановления поврежденных пикселей; фильтр повышения резкости позволяет добиться повышенной четкости изображения; фильтр высоких частот Лапласа позволяет выделять контуры на изображении; вертикальный градиентный фильтр Превитта определяет границы градиента. Для рационального подхода к выбору инструментов требуется как минимум возможность проведения практической оценки результатов различных способов обработки цифрового изображения. Алгоритм обработки представлен на рис.1.

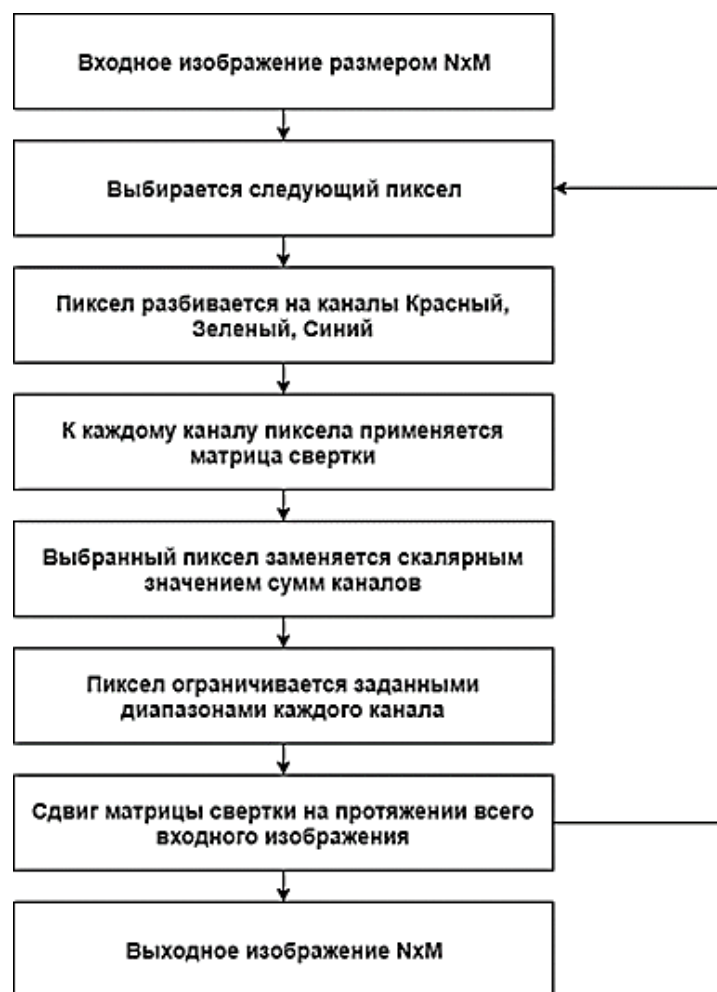


Рис. 1 - Алгоритм с использованием матрицы свертки

В качестве практической оценки предварительных методов обработки цифровых изображений на основе усредняющих фильтров было разработано программное обеспечение, позволяющее обрабатывать входное изображение заданной матрицей и отображать на экран визуальное различие между входным и выходным изображением (рис.1).

Поскольку задачи улучшения изображения характеризуются визуальной интерпретацией, данный подход позволяет наглядно продемонстрировать на конкретном исходном материале возможности применения различных моделей матриц свертки.

Заключение

Применение множества различных методов обработки цифрового изображения варьируется в различных областях. Разработанная программа позволяет определить возможности заданного ядра фильтра и подобрать конкретные значения матрицы для использования в зависимости от поставленной задачи. Имея данный инструмент, можно практически оценить различные варианты применения матриц свертки.

Работа выполнена в рамках государственного заказа при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 8.5098.2017/8.9).

Список литературы

1. Старовойтов В.В., Голуб Ю.И. Цифровые изображения: от получения до обработки.- Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014.-202 с.
2. Сирота А.А., Иванков А.Ю. Блочные алгоритмы обработки изображений на основе фильтра Калмана в задаче построения суперразрешения // Компьютерная оптика, 2014, том 38, №1. С.118-126.
3. Тамьяров А.В, Шестов Р.В. Анализ методов предварительной обработки изображения на основе усредняющих фильтров // Вестник ВУиТ. №18, 2011. С.109-115.

05.13.10

В.В. Кукарцев канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»,
кафедра инженерно-экономических систем,
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
Красноярск, vlad_saa_2000@mail.ru

КАНОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Построена каноническая модель процесса воспроизводства ОПФ предприятия.
Рассмотрены материальные входы подсистем ОПФ машиностроительного предприятия.
Рассмотрена структура ОПФ машиностроения.*

Ключевые слова: *Основные производственные фонды, система, свойства, модель, входы и выходы.*

Цель изучения процесса воспроизводства основных производственных фондов (ОПФ) может быть сформулирована как разработка научно-методических основ принятия управленческих решений в области выбора и реализации вариантов воспроизводства активной части ОП промышленных предприятий.

Многофункциональной технологии системного анализа по исследованию систем воспроизводства ОПФ не имеется. Вместе с этим в определенных обстоятельствах следует придерживаться его общих принципов, таких как целенаправленность, изолированность, декомпозируемость, функциональность, развитие [1; 2].

Упомянутые принципы системного анализа представлены как совокупность модификаций: канонической, иерархической, состава элементов системы, внутренней структуры, функционирования и развития системы [1;2]. Данная совокупность моделей дает возможность исследовать реальную систему, проанализировать ее качества и провести перенос приобретённых знаний на имитационную систему.

Для отражения принципа *изолированности* системы воспроизводства ОПФ принято строить каноническую модель (рис. 1), которая демонстрирует связи изучаемой системы с окружающей средой через входы и выходы. Рассмотрим материальные входы подсистем ОПФ машиностроительного предприятия, в которой имеется сложная видовая структура. Следовательно, производственный процесс ОПФ можно разделить на группы [3]:

1. Сооружения (например, ж/д пути, эстакады, дороги, путепроводы, мосты и т.д.);
2. Средства передвижения;
3. Передаточные устройства - устройства, которые осуществляют передачу разных видов энергии;
4. Здания;
5. Автомобили и техника: силовые машины и оборудование; рабочие машины и оборудование; совокупность математических и технических средств (устройства, программы, приборы); приборы для измерения производственных процессов, проведения лабораторных исследований (КИП, автоматика).
6. Инструмент - орудия труда для производства работ (режущие инструменты, патроны и другие);
7. Хозяйственный и производственный инвентарь - это предметы, которые не относятся ни к сооружениям, ни к оборудованию;
8. Прочие основные фонды.

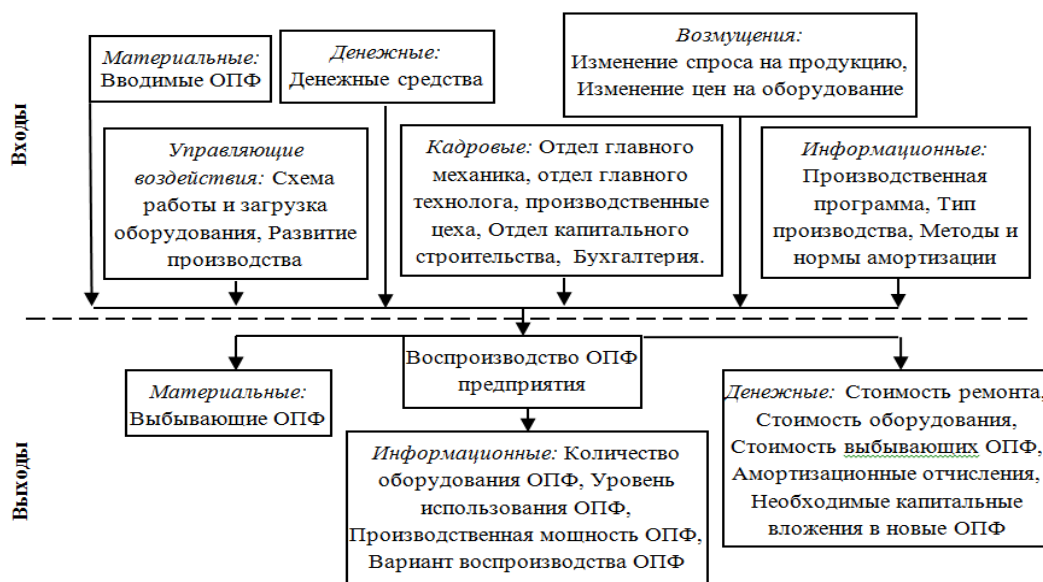


Рис. 1- Каноническая модель процесса воспроизводства основных производственных фондов предприятия

Разные виды показывают различное действие на движение процесса производства и содержат разнообразное значение (рис. 2). Большую часть в общей структуре на 52,4% со всех видов занимают автомобили и оборудование, 43% занимает рабочая группа машин и оборудования. Они конкретно определяют технический уровень производства, становятся активной частью СТ, естественно действующий на производственную мощность предприятия. Если удельный вес производственных фондов выше этой части, то они дают большой экономический успех при прочих равнозначных условиях. Следовательно, моделирование воспроизводства конкретно этой части основных производственных фондов является более актуальной в наше время.

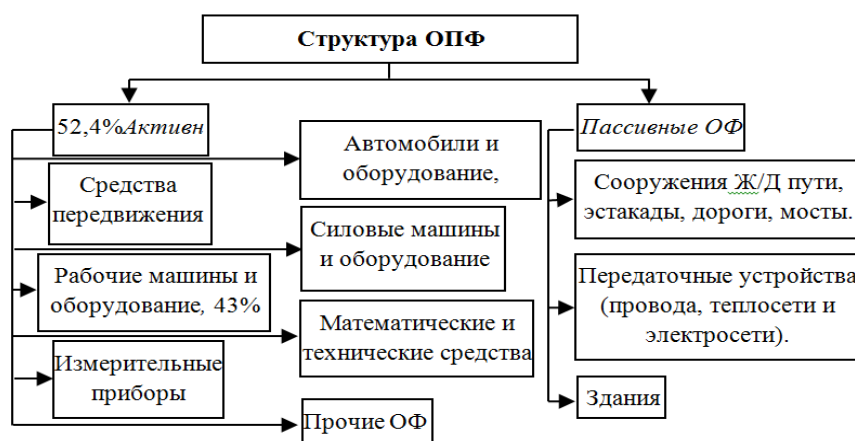


Рис. 2- Структура ОПФ машиностроения

Денежные входы содержат следующие средства:

Займные - это денежные средства, которые выдаются кредитором на основании договора займа должнику на конкретный срок (целевой государственный кредит, инвестиционный селенг, долгосрочные кредиты организаций и т.д.) [4]. Привлеченные - это средства, полученные за счёт эмиссии акций предприятия, безвозмездных вложений государственных органов и коммерческих структур; Собственные финансовые средства - реинвестиции от продажи основных фондов, амортизационные отчисления, прибыль и т. д.;

Информационные входы содержат следующие элементы:

- *производственная программа*, которая напрямую находит требуемую производственную мощность ОПФ предприятия. Рост объемов заказов на создание продукции запрашивает повышения количества оборудования для его производства, получение наиболее производительных машин, вдобавок увеличения эффективности их употребления, но и наоборот, понижение спроса на продукцию, вырабатываемую организацией, ведёт к потребности избавляться от ненужных СТ. Производственная программа одна из главнейших факторов, от которых зависят варианты воспроизводства средств труда [5];

- *тип производства* устанавливает формы организации производственного процесса. Тип производства находит уровень загрузки оборудования и через него действует на величину производственной мощности предприятия;

- *метод и нормы амортизации* - этот метод амортизации обобщает режим пользования и ухудшение СТ, динамику их потребительной стоимости; норма амортизации описывает процесс перенесения стоимости в единицу времени.

Управляющие воздействия. Смена работы и загрузки оборудования определяют соотношение времени работы и времени потерь СТ. Можно снижать либо увеличивать величину производственной мощности управляя этими параметрами.

Возмущения. Непредусмотренное изменение спроса на продукцию может потребовать резкого снижения или увеличения производственной мощности предприятия. К тому же, под действием инфляции цены на новое оборудование могут повыситься и сократить возможности предприятия по увеличению мощности.

Материальные выходы. Техничко-технологическая система, применяемая для создания продукции, а также выводимое оборудование, которое снижает количество машин, употребляемых в производстве, и понижает производственную мощность.

Информационные выходы. Стоимость ремонта, количество оборудования, количество необходимого оборудования и его стоимость, уровень его использования, амортизационные отчисления - эта информация, которая нужна для определения величины и уровня использования производственной мощности предприятия и выбора варианта воспроизводства.

Кадровый вход - это подразделения предприятия, реализовывающие воспроизводство ОПФ. Сюда относится отдел главного механика, отдел главного технолога, производственные цеха, отдел капитального строительства, бухгалтерия.

Таким образом, в данной статье детально рассмотрена каноническая модель системы воспроизводства ОПФ, которая отражает принцип изолированности. В совокупности с построением других моделей (иерархической, состава элементов системы, внутренней структуры, функционирования и развития системы) данная модель дает возможность исследовать реальную систему, проанализировать ее качества и провести перенос приобретенных знаний на имитационную систему.

Список литературы

1. *Анфилатов, В.С.* Системный анализ в управлении: Учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин - М.: Финансы и статистика, 2002. - 368 с.
2. *Фролов, Н.Ю.* Система комплексного анализа воспроизводства основных фондов / Н. Ю. Фролов // Наука и бизнес: пути развития. – 2017. - № 11(77). – С. 80-88.
3. *Бойко А.А.* Методы стратегического планирования инновационного воспроизводства основных производственных фондов //Сибирский журнал науки и технологий. – 2011. – №. 5 (38).
4. *Boyko A., Kukartsev V., Stupina A.* Principles of innovative reproduction strategic planning of the enterprises fixed assets in rocket and space industry //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 224..
5. *Кукарцев, В.В.* Программная реализация процесса воспроизводства основных производственных фондов / В. В. Кукарцев // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. - 2009. - Вып. 2. - С. 33-41.

05.13.12

¹А.Ю. Логинов, ²А.Е. Розенбаум

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), институт фундаментального образования, кафедра интеллектуальных информационных технологий,

^{1,2}АО «ОКБ «Новатор»,
Екатеринбург, LoginovAYu@gmail.com, RozenbaumAE@rambler.ru

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ О СОСТАВАХ ИЗДЕЛИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ PDM И ERP МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В работе описаны сложные случаи, не позволяющие осуществить непосредственную интеграцию данных о конструкторском, технологическом и производственных составах изделий информационных системах машиностроительного предприятия. Предложены рекомендации по раскрытию вариантного состава изделия, а также способ интеграции материалов, покупных и стандартных элементов, используемых в PDM- и в ERP-системах при помощи отношения «многие ко многим», реализованного через добавление номенклатурных номеров к материалам, покупным и стандартным элементам, хранящимся в ERP-системе. Сделаны выводы о том, что предложенный способ позволяет решить ряд проблем, возникающих при интеграции данных о составах изделий внутри информационных систем предприятия.

Ключевые слова: *состав изделия, интеграция данных, PDM, ERP, вариантный состав.*

Введение

В настоящее время на большинстве машиностроительных предприятий используются одновременно информационные системы PDM (Product Data Management), для управления инженерными данными об изделии [1] и ERP (Enterprise Resource Planning), для управления ресурсами предприятия [2], в том числе и материальными.

Очень редко встречается ситуация, когда эти две системы организованы при помощи единого программного продукта. Как возможный пример можно привести связку 1С: PDM / 1С: ERP [3, 4]. Как правило машиностроительные предприятия имеют дело с PDM-продуктом от одного производителя, а ERP-система приобретается у другого производителя.

В PDM- и в ERP-системах машиностроительных предприятий хранятся составы изделий. Состав изделия — это перечень компонентов изделия с указанием для каждого из них необходимых для его определения атрибутов (характеристик). Как правило, этот перечень представляет собой иерархически организованный список, отображающий вхождение деталей в подузлы, подузлов — в узлы и/или агрегаты и т.д.

При этом в PDM-системе хранятся и конструкторские, и технологические составы изделий.

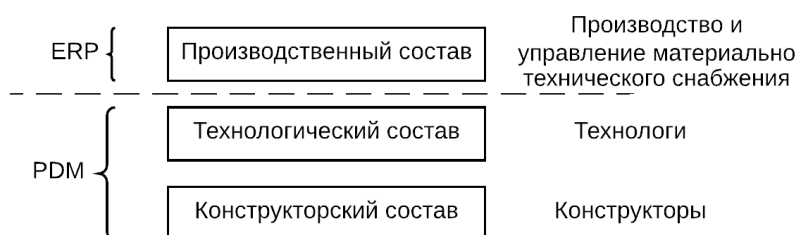


Рис. 1. – Конструкторский, технологический и производственный составы

Под конструкторским составом понимается то, как изделие видят спроектировавшие его конструкторы. Такой состав формируется на основании конструкторских спецификаций, чертежей и прочих конструкторских документов.

Под технологическим составом понимается сумма конструкторского состава и добавленных туда технологических особенностей производства деталей и сборочных единиц: материалы, необходимые для производства деталей, вспомогательные материалы, технологические нужды. При формировании норм в технологическом составе учитываются материалы из технологических требований, припуски под обработку заготовок на конкретном оборудовании и ряд других факторов.

В ERP-системе на основании указанных выше составов формируется производственный состав конкретных экземпляров изделия, который используется для планирования и управления производством и для организации закупок [5].

Как уже было сказано выше, как правило на предприятиях используются PDM- и ERP-системы от разных поставщиков. Поэтому задача эффективной интеграции PDM- и ERP-систем машиностроительного предприятия является очень актуальной [6-7].

Данная статья посвящена изучению сложных случаев, возникающих при работе с составами изделий в информационных системах машиностроительного предприятия, выработке рекомендаций для успешной интеграции такого рода данных внутри информационных систем машиностроительного предприятия.

Основная часть

Рассмотрим сначала идеальный случай возможной интеграции PDM- и ERP-систем предприятия.

Такой случай подразумевает следующее:

1. Применяется единое централизованное хранилище нормативно-справочной информации (НСИ), используемое всеми системами предприятия [8, 9]. Каждая НСИ-запись имеет уникальный ключевой идентификатор, используемый во всех системах. Как правило, в качестве НСИ-данных имеются ввиду используемые материалы, стандартные и покупные элементы.

2. Отсутствуют допустимые замены в составах, заводимых в соответствии со спецификациями и отсутствуют замены в технологических нуждах, заводимых в соответствии с техническими требованиями из чертежей.

3. В составах используются только те стандартные и покупные элементы, которые возможны к покупке управлением материально технического снабжения. После формирования составов сборочных единиц итоговые ведомости покупных элементов (ГОСТ 2.106-96 «ЕСКД. Текстовые документы») попадают в управление материально технического снабжения, которое производит закупку и комплектует производство.

4. Для каждой детали существует единственный материал, из которого она может быть произведена. Далее технолог, выбирая технологию обработки (если она не задана конструктором), указывает единственный конкретный сортament, из которого будет производиться деталь. После этого управление материально технического снабжения производит закупку необходимого сортамента материала и выдаёт его в производство.

5. При передаче составов сборочных единиц из PDM- в ERP-систему связь элементов осуществляется по ключу.

При этом конструкторы, технологи, управление материально технического снабжения и производственные цеха работают с одним и тем же набором материалов и покупных стандартных элементов. Конструкторы и технологи напрямую определяют материалы, используемые при производстве изделия.

Следует отметить, что в рассматриваемом идеальном случае производственный состав совпадает с технологическим.

Однако описанный идеальный случай практически никогда не достигается из-за многообразия факторов, влияющих на состав изделия.

Рассмотрим возможные отклонения от идеального случая.

Во-первых, необходимо учитывать обработку вариантности в составах изделия на всех уровнях.

1. В спецификации и на чертеже могут быть указаны допустимые замены элементов (согласно ГОСТ).

2. В чертеже детали может быть указано несколько взаимозаменяемых материалов, из которых она может быть произведена.

3. Как правило технолог разрабатывает несколько техпроцессов для производства одной и той же детали (под разный набор оборудования). Соответственно для каждого техпроцесса может быть указан свой сортамент используемого материала.

4. Материалы, используемые в технологических нуждах, допускают замены.

5. Композитные материалы, использующиеся в составе изделия практически всегда подразумевают вариантные компоненты внутри своего состава.

Вариативность в составе не позволяет ставить знак равенства между технологическим и производственным составами. В ERP-системе при формировании состава конкретного экземпляра изделия по каждому случаю вариативности придётся принимать решение о том, какой из вариантов будет выбран. В результате в ERP-системе должен сформироваться состав экземпляра изделия, в котором полностью отсутствует вариативная составляющая.

При импорте в ERP-систему решение по каждому варианту может приниматься:

- человеком, исходя из личного опыта и имеющихся компетенций;
- автоматически (на основании анализа загруженности производственных мощностей, складских запасов, графика выполнения обязательств смежниками и ряда других факторов);
- полуавтоматически (когда система предоставляет оператору возможность корректировки только в случае возникновения неоднозначной ситуации, решение по которой не может быть принято автоматически).

Во-вторых, управление материально технического снабжения может закупать материалы, руководствуясь ценовыми соображениями и соображениями эффективной организации складских запасов. Например, если в конструкторских спецификациях часто используется обычный метиз, но иногда указывается метиз с точно такими же размерными характеристиками, но повышенной точности, то при незначительной разнице в цене управление материально технического снабжения может закупать все метизы таких размеров только с повышенной точностью приобретать и выдавать только их, независимо от того, какая точность требуется в каждом конкретном случае.

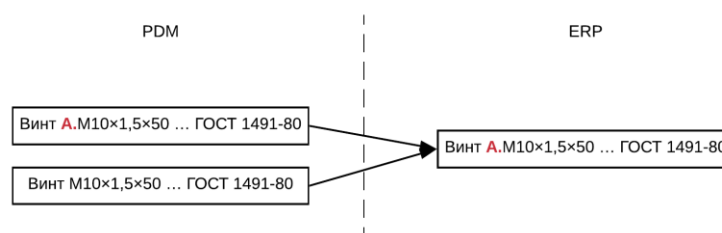


Рис. 2. – Несколько элементов в PDM указывают на один элемент в ERP

В этом случае одному и тому же материалу или стандартному элементу из системы ERP, соответствует несколько разных материалов или стандартных элементов в системе PDM.

Иногда управлению материально-технического снабжения в системе ERP необходимо организовать отдельный учёт движения и расходования партий одного и того же материала или стандартного элемента.

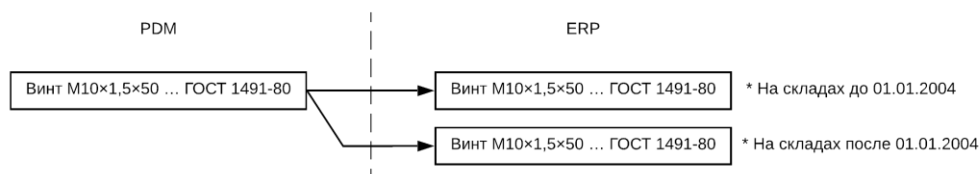


Рис. 3. – Несколько элементов в ERP указывают на один элемент в PDM

Очень часто такая ситуация может возникнуть при раздельном подсчёте остатков на складе (до какого-то фиксированного момента времени) и вновь поступающих материалов (начиная с фиксированного момента времени). В этом случае один и тот же материал из системы PDM будет соответствовать нескольким материалам из системы ERP.

В результате получается, что наборы материалов, стандартных и покупных элементов PDM системы связаны отношением «многие ко многим» с набором таких же элементов в ERP-системе (рисунок 4).

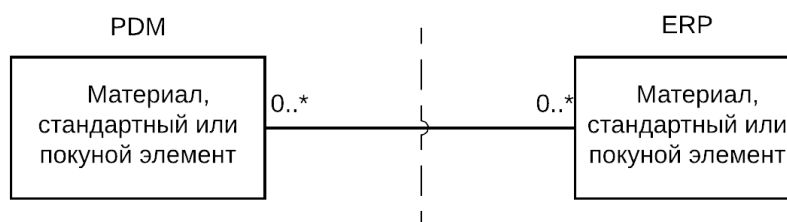


Рис. 4. – Материалы, стандартные и покупные элементы в PDM и в ERP

Организация такого соотношения может быть выполнена различным образом.

Например, на уровне ERP-системы для каждого материала, стандартного и покупного элемента вводится понятие номенклатурного номера, например, представляющего собой набор из 7 цифр.

Для материалов, стандартных и покупных элементов в PDM-системе вводится дополнительный атрибут, в котором будут указываться эти номенклатурные номера элементов из ERP-системы.

Введение цифровых номенклатурных номеров для материалов в ERP позволяет:

- ускорить поиск материалов, стандартных и покупных элементов внутри ERP- системы (для многих сотрудников управления материально технического снабжения)
- дополнительно группировать материалы, стандартные и покупные элементы по диапазонам номенклатурных номеров (которые впоследствии могут быть привязаны к ведущим, которые осуществляют закупки именно этих позиций).

Выводы

При интеграции PDM- и ERP-систем машиностроительного предприятия необходимо принимать во внимание вариативность в составе изделия на всех уровнях. При создании состава конкретного экземпляра изделия в каждом случае вариативности решение об используемом в производстве варианте должно приниматься на уровне ERP-системы.

Кроме того, использование на уровне ERP-системы набора материалов, стандартных и покупных элементов, связанного отношением «многие ко многим» с набором таких же элементов PDM-системы, позволяет формализовать достаточно сложные правила работы с товарно-материальными ценностями, сложившиеся на предприятии за многолетнюю историю.

Указанные принципы использованы на практике в АО «ОКБ «Новатор» (г. Екатеринбург) при интеграции систем «Состав изделия 2.0» (PDM-система), «Складской учёт 2.0», «Учёт инструментов» (ERP-система) [10, 11]. Опыт интеграции указанных систем признан успешным.

Список литературы

1. Тимофеев П.Г. Роль и значение PDM-систем при разработке технологического оборудования / П.Г. Тимофеев, А.Г. Ягопольский // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 2016. - №10 (679). - С. 73-81.
2. Сергеева И.И. Современные тенденции развития ERP-систем в России / И.И. Сергеева, М.И. Царева // Экономическая среда. - 2016. - №1 (15). - С. 64-69.
3. Полевич К.Б. Интеграция информационных систем в единое информационное пространство на платформе "1С: предприятие" // Современные научные исследования и разработки. - 2018. - № 9 (26). - С. 304-309.
4. Нужный А.М. Организация обмена технологическими данными в системе 1С: PDM / А.М. Нужный и др. // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2015. - Т.11. № 4. - С. 26-29.
5. Сергеева Е.П. ERP-системы как основа конкурентного бизнеса / Е.П. Сергеева, И.И. Сергеева // Вестник ОрелГИЭТ. - 2015. - №3 (33). - С. 81-85.
6. Полянский Ю.В. Интеграция SAP-, PDM-, ERP-систем в единое информационное пространство производственного предприятия / Ю.В. Полянский и др. // Известия самарского научного центра российской академии наук. - 2013. - Т. 15. №4-3, - С. 628-634.
7. Гусеница Д.О. Интеграция PDM и ERP систем в рамках создания единого информационного пространства предприятия / Д.О. Гусеница, П.Ф. Юрчик // Автоматизация и управление в технических системах. - 2014. - №2 (10). - С. 68-74.
8. Черников М.С. Совершенствование автоматизированной системы технологической подготовки производства на основе интеграции данных автоматизированных систем управления различной функциональности / М.С. Черников, Д.Ю. Шабалкин // Известия самарского научного центра российской академии наук. - 2012. - Т.14. № 4-2. - С. 540-544.
9. Андриченко А.Н. Тенденции и состояние в области управления справочными данными в машиностроении // Онтология проектирования. - 2012. №2 (4). - С.25-35.
10. Логинов А.Ю. Опыт разработки и внедрения в ОКБ «Новатор» электронного справочника составов изделий // Материалы III научно-практической конференции «Повышение производительности труда в оборонно-промышленном комплексе за счет современных методов управления производством». 2017. - С. 64-65.
11. Логинов А.Ю. Организация единого информационного пространства сбора и обработки конструкторско-технологической информации об изделиях на базе информационных систем собственной разработки / А.Ю. Логинов, Д.В. Вольман, А.Е. Розенбаум // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. - 2012. - № 3 (262). - С. 24-26.

05.13.19

¹Н.П. Мошуров, ²И.А. Щудро канд. техн. наук, ³Ю.Д. Фот канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
^{1,3}кафедра компьютерной безопасности
и математического обеспечения информационных систем,
²кафедра программного обеспечения вычислительной техники
и автоматизированных систем,
Оренбург, moshurov@bk.ru, shudro@mail.ru, Fotulia@mail.ru

ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ЛОКАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЯХ

В статье представлен анализ технологий защиты персональных данных в локальных и глобальных сетях, который позволит выявить основные проблемы и обозначить тренды их решения в будущем. В качестве локальной сети рассмотрена корпоративная информационная система, ее структура, требования к технологиям защиты персональных данных, а также выделены их обязательные составляющие (аппаратная составляющая, программная и административно-нормативная). Изучение особенностей указанных элементов позволило сделать вывод, что они также должны применяться и при защите персональных данных в глобальных сетях. Отличительные черты обеспечения информационной безопасности на глобальном уровне проанализированы на примере облачных технологий CSA, ENISA, NIST с помощью сравнения их технологических возможностей.

Ключевые слова: *персональные данные, защита, технологии, сеть.*

Сегодня локальные и глобальные сети стали универсальным средством хранения информации. Процесс обмена данными гораздо упростился, стал быстрее и во многих случаях реализуется на бесплатной основе [1]. Но это имеет и обратную сторону, в том случае, когда информация, особенно значительные объемы персональных данных, часто обрабатываются, а бывает и передаются без четкого согласия или даже информирования их собственников.

Признание права человека на анонимность в сети всегда было одним из столпов ее архитектуры и философии [2]. В то же время по логике этой же архитектуры без размещения лицом персональных данных на серверах (а, следовательно, в сети) полноценное пользование всеми ее удобствами невозможно [3]. В большинстве случаев пользователь не может осуществить простых вещей (установить программное обеспечение, загрузить контент, осуществить покупку), не оставив взамен хотя бы минимальных сведений о себе. В конце концов, даже те данные (чаще всего технические и необходимые системе для нормальной работы), которыми устройство пользователя в автоматическом режиме обменивается с серверами, являются, такими, с помощью которых «лицо может быть конкретно идентифицировано», т.е. с нормативно-правовой точки зрения – персональными [4]. По разным источникам, от 70 до 90% данных, которые теряются, составляют именно персональные данные [5].

Каждый раз, подключаясь к сети, устройство пользователя автоматически регистрируется в ней, указывая уникальный идентификатор - IP-адрес, телефонный номер коммутируемого соединения, абонентский номер договора с оператором доступа и другие, необходимые для регистрации в сети, данные [6,7]. Далее, находясь в сети, лицо оставляет за собой информационный «шлейф», состоящий из еще большего количества сведений.

Так, приведем в качестве примера минимальный перечень данных, которые автоматически передаются и остаются в глобальных сетях при каждом посещении любого веб-ресурса: веб-адрес просматриваемой страницы (URL), уникальный IP-адреса, наименование провайдера, страна регистрации, местонахождение устройства, параметры браузера и компьютера, данные прокси-сервера, данные о поддержке cookies¹⁵ и Java, часовой пояс.

Отметим, что в приведенном примере речь идет не о целенаправленном поиске персональных данных, а лишь о том минимуме автоматически передаваемой компьютером пользователю информации в штатном режиме.

Итак, с учетом вышесказанного, можно сделать вывод, что стремительное развитие информационных технологий в сфере доступа, обработки данных, распространение сведений и другие факторы усложняют условия хранения информации о физическом лице, а значит, расширяют возможности несанкционированного распространения сведений частного характера.

Таким образом, приведенные обстоятельства обуславливают актуальность, теоретическую и практическую значимость исследований в области выявления актуальных, наиболее мощных и эффективных средств защиты персональных данных в локальных и глобальных сетях.

В целом конфиденциальная информация является объектом научного анализа многих отечественных и зарубежных ученых, в частности И.Л. Видела, В.М. Брижко, Р.А. Калюжного, В.А. Копылова, Н.В. Кушака и др.

Непосредственно научным исследованием вопросов защиты персональных данных занимаются такие отечественные ученые как А. А. Баранов, К. И. Беляков, И. Б. Жилиев и т.д. Также можно проследить зарубежный взгляд на обозначенную проблему в трудах Д. Белла, Дж. Гэлбрейта, Дж. Мартина, И. Масуда и др.

Однако в научно-практическом аспекте проблему защиты персональных данных нельзя считать полностью изученной, поскольку процесс формирования и развития информационного общества (пространства) до сих пор продолжается и находится на этапе становления.

Итак, целью данной статьи является анализ технологий защиты персональных данных в сетях различного типа, что позволит выявить основные проблемы и наметить тренды их решения в будущем.

Неоднородность киберпространства, которое по сути является виртуальной и технологической средой, позволяет условно выделить в его пределах несколько зон, отличающихся по таким критериям: особенности обработки/хранения персональных данных и режим доступа к персональным данным третьей стороной.

В результате можно выделить следующие зоны:

1) автоматизированная - уровень сетевого протокола и локатора веб-ресурсов URL, данные о компьютере, местонахождении и истории посещений пользователя попадают в эту зону «по умолчанию», что обусловлено исключительно техническими потребностями работы сети;

2) открытая – в этой зоне субъект добровольно размещает в публичном доступе свои данные (сайты, блоги, чаты);

3) частично открытая - прежде всего это коммуникативные сервисы (e-mail, социальные сети, Skype, ICQ), где субъект сам выбирает режим доступа третьей стороны к своим персональным данным;

4) закрытая - локальная сеть, не подключенная к интернету, к ее контенту технически возможен несанкционированный доступ (корпоративные, локальные информационные системы, территориально разнесены филиалы и т.д.).

Итак, принимая во внимание приведенную классификацию, проанализируем более подробно технологии защиты персональных данных в локальных и глобальных сетях.

В качестве примера локальной сети рассмотрим корпоративную информационную сеть, которая представляет собой территориально распределенный комплекс программно-технических средств (рис. 1), размещенных на всех уровнях управления структурой предприятия и объединенных между собой каналами передачи данных.

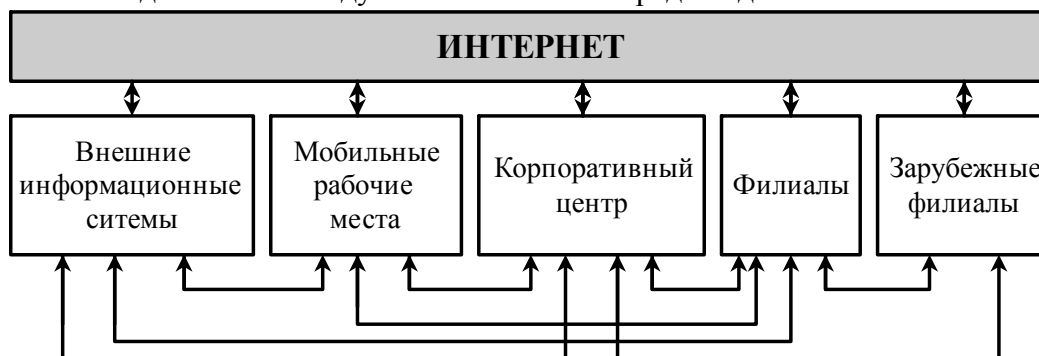


Рис. 1 - Структура организации корпоративной информационной сети

В состав корпоративной информационной сети входят локальные информационные системы корпоративного центра, а также территориально разнесенных филиалов, в том числе и зарубежных. В своем составе они могут иметь внешние информационные системы. Например, информационные системы организаций-партнеров, которые имеют доступ к информационным или техническим ресурсам корпоративной информационной сети. Отдельные элементы (рабочие места системы) могут быть мобильными, в том числе и такими, где будет проводиться обработка данных и, в частности, персональных.

Технологии защиты персональных данных в корпоративной информационной сети должны решать ряд взаимосвязанных задач: управление доступом; обеспечение конфиденциальности, целостности, достоверности и доступности данных; обеспечение безопасного межсетевого и межсистемного обмена данными; своевременное выявление вторжений и обеспечение антивирусной защиты; проведение аудита и регистрации событий, которые имеют место при обработке персональных данных; контроль за перемещением персональных данных за пределы защищенной информационной системы [8].

С учетом приведенного считаем, что такие технологии защиты персональных данных должны включать в себя следующие обязательные составляющие:

аппаратная (физическая, 하드верная) составляющая: а) оборудование, на котором реализована ИТ-инфраструктура, должно находиться в защищенном помещении, с климат-контролем, бесперебойным питанием, эффективной противопожарной защитой; б) должно быть обеспечено круглосуточное обслуживание всей ИТ-инфраструктуры; в) необходимо физическое разделение ресурсов;

программная (софтверная) составляющая: а) полномасштабная антивирусная защита, особенно в случае пользования такими сервисами, как SaaS и PaaS; б) наличие специально настроенных сетевых экранов (брандмауэров, файрволов) для виртуальных машин, а также для всех операционных систем, задействованных в инфраструктуре; в) защита систем и программ хотя бы в части наиболее уязвимых мест; г) обязательное шифрование, по крайней мере, важной и конфиденциальной информации;

административно-нормативная составляющая: а) пропускной режим в серверные помещения (вплоть до биометрического контроля доступа), максимальная ограниченность, регламентирование и учет доступа к информации, хранящейся в хранилищах и базах данных; б) аутентификация пользователей по логину и паролю с обязательным шифрованием этого процесса; в) введение системы статусов пользователей с соответствующей диверсификацией прав и уровней доступа к ресурсам ИТ-инфраструктуры.

Следует отметить, что указанные составляющие также актуальны и для защиты персональных данных в глобальных сетях, которая, тем не менее, имеет свои особенности и специфические черты.

Так, для защиты персональных данных в глобальных сетях сегодня широко используется репрезентативное, эффективное и разнообразное семейство PET(s) - «технологий защиты приватности» (Privacy Enhancing Technologies) [9]. Грамотное и комплексное применение этих технологий обычно позволяет обеспечить безопасное пребывание в режиме он-лайн. Использование PETs одобрено и даже рекомендовано специальным меморандумом Европейской Комиссии [10].

Свои отличительные черты имеет соблюдение безопасности персональных данных в новейших онлайн-средах. Учитывая тенденции и прогнозы развития современных ИКТ, особого внимания заслуживает вопрос повышения безопасности данных в облачных сервисах [11]. По прогнозам ведущих консалтинговых компаний мира, быстрое совершенствование и распространение облачных технологий сейчас является одним из тех ключевых трендов, которые в ближайшие 5-8 лет заметно повлияют на глобальное развитие ИТ-индустрии [12].

Архитектура «облачного» сервиса является более лаконичным, продуктивным и экономным решением по сравнению с сетями предыдущего поколения.

В организации и архитектуре «облачного» сервиса существуют звенья, способные стать потенциальной основой для мощной и эффективной системы защиты данных, в том числе и персональных. Рассмотрим их более подробно.

Во-первых, в современных «облачных» сервисах все данные и трафик обязательно шифруются (обычно с использованием протокола SSL - Secure Sockets Layer) [13]. Итак, персонал «облачных» дата-центров, как и любые другие третьи лица, не имеют прямого доступа к персональным данным пользователя - без введения уникального пароля они просто набор символов.

Во-вторых, профессиональному хакеру гораздо проще получить доступ к информации на локальном компьютере, чем пытаться «сломать» системы защиты «облачного» дата-центра.

В-третьих, в случае потери данных вследствие чрезвычайной ситуации в современных дата-центрах обычно делается резервное копирование информации на другие серверы.

В-четвертых, сегодня на уровне глобальных ИТ-компаний осуществляется постоянная и масштабная работа по совершенствованию аппаратно-программных комплексов защиты данных в «облаках». Менеджер Cisco по маркетингу сетевых вычислений и виртуализации Джеймс Уркхарт констатирует: «Крупные поставщики «облачных» услуг, такие как Amazon, CSC, HP, IBM, Salesforce.com, Verizon Business и др., создали мощные механизмы безопасности. Они работают не только на прикладном, но и на инфраструктурном уровне и включают в свой состав такие инфраструктурные средства, как межсетевые экраны и системы шифрования» [14].

В настоящее время ведущими организациями, занимающимися вопросами безопасности в облаке, является Альянс безопасности в облаке (Cloud Security Alliance, CSA), состоящий из представителей ИТ-индустрии, а также две государственные организации Европы и США: Европейское агентство сетевой и информационной безопасности (ENISA) и Национальный институт стандартов и технологий (NIST) [15].

Итак, с целью выявления преимуществ применения тех или иных технологий защиты персональных данных, сравним режимы информационной безопасности в облаках CSA, ENISA, NIST (см. табл. 1). Сравнение проведено по технологической составляющей, для этого были выделены отдельные блоки и соответствующие вопросы информационной безопасности (ИБ). Если вопрос ИБ реализован в блоке полностью, он отмечен как «+», если частично - «+/-», в случае отсутствия - «-».

Таблица 1 - Сравнение технических составляющих информационной безопасности персональных данных в «облачном» сервисе

№	Технические вопросы		Классификация		
			CSA	ENISA	NIST
1	Доступность данных и ресурсов	1.1 Отключение облачных сервисов	+	+	+
		1.2 Атаки DDoS	-	+	+
		1.3 EDoS-атака	-	+	-
		1.4 Расположение данных	+	+	+
		1.5 Исчерпание ресурсов	+	+	-
2	Интероперабельность обеспечения	2.1 Совместимость обеспечения	+	+	+
		2.2 Стандартизированный интерфейс	+	-	-
3	Безопасность приложений и программ	3.1 Безопасность ПО	+	+	+
		3.2 Разграничение доступа	+	+	+
		3.3 Мониторинг активности приложений	+	+	+
		3.4 Выявление опасных программ	+	+	+
		3.5 Защита образов виртуальных машин от модификации	+	-	+
4	Управление данными и защита	4.1 Изоляция данных	+	+	+
		4.2 Безопасное хранение и обработка данных	+	+	+
		4.3 Шифрование данных	+	+	+
		4.4 Управление ключами	+	+	+
5	Идентификация, аутентификация и управление доступом	5.1 Модели идентификации и аутентификации в облаке	+	-	-
		5.2 Управление профилями пользователей в облаке	+	+	+
		5.3 Предоставление услуг идентификации, аутентификации, совместного доступа к информации в облаке или ресурсам	+	+	+
		5.4 Реализация идентификации пользователей	+	+/-	+
		5.5 Доступ к данным авторизованных пользователей	+	+	+
6	Виртуализация	6.1 Обеспечение защиты гостевой виртуальной машины от атак	+	-	+
		6.2 Механизмы защиты от неправомерных действий администраторов	+	+	+
		6.3 Вопрос быстродействия, пикового увеличения нагрузки, увеличения числа узлов	+	+	+
		6.4 Обеспечение безопасности данных на уровне виртуальной машины	+	-	+

Таким образом, анализ существующих методов и подходов показывает, что построение оптимальных технологий защиты персональных данных, как в локальных, так и в глобальных сетях, базируется на сочетании различных подходов и инструментов, в том числе контекстного анализа информации с учетом форматов их передачи, а также алгоритмов реагирования на выявленные попытки передачи персональных данных, шифрования и т.д. Значительные перспективы по защите персональных данных содержат в себе «облачные сервисы».

Список литературы

1. Лукьяненко Т.В., Танкаян А.И. Information security of pc and types of threats // Colloquium-journal. - 2018. - №10-1. - С. 59-62.
2. Respondents view of novel framework for data protection in social networking sites: an analysis Sharma // Shilpi International journal of computing science and mathematics. – 201. - Volume 10: Number 1. – P. 22-31.
3. Харчевникова М.П., Селезнев В.В. Защита персональных данных в сети // Теория и практика современной науки. - 2017. - №4(22). - С. 1063-1066.
4. Попов К.Г. Проблемы организации защиты персональных данных в интернете // Евразийский юридический журнал. - 2016. №5. - С. 309-310.
5. *Malgieri, Gianclaudio* User-provided personal content in the EU: digital currency between data protection and intellectual property // International review of law, computers & technology. – 2018. - Volume 32. – P. 118-140
6. *Микаева А.С.* Проблемы правового регулирования отношений в сети интернет // Научное обозрение. - 2016. - №2. - С. 104-110.
7. *Ceross, Aaron* Examining data protection enforcement actions through qualitative interviews and data exploration // International review of law, computers & technology. – 2018. - Volume 32: Issue 1. – P. 99-117.
8. *Dijk, N. et al.* Right engineering? The redesign of privacy and personal data protection // International review of law, computers & technology. – 2018. - Volume 32: Issue 2/3. – P. 230-256.
9. *Nartijärvi, Markus* Balancing data protection and privacy – The case of information security sensor systems // Computer law & security review: the international journal of technology law. – 2018. – Vol. 34. – P. 1019-1038.
10. Privacy Enhancing Technologies (PETs). The existing legal framework URL: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-07-159_en.htm (дата обращения: 18.01.2019)
11. Тугузов Г.Т., Соболюкин Д.А. Защита информации и персональных данных // Студенческий вестник. - 2018. - №9-4. - С. 49-51.
12. Good practices for security of Internet of things in the context of smart manufacturing. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2018. – 362 p.
13. *Сатикова Д.М.* Обработка персональных данных с использованием облачных сервисов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. - 2018. - №4. - С. 169-173.
14. CEBIT-2013. Безопасность в «облаках» URL: <http://www.softline.kiev.ua/ru/blog/blog-kompanii/cebit-2013/729-cebit-2013-bezopasnost-v-oblakakh.html> (дата обращения: 01.02.2019)
15. *Белов Д.А., Давлекамова И.А.* Защита персональных данных при переходе к облачным вычислениям // Современные научные исследования и инновации. - 2017. - №5(73). - С. 10.

05.13.17

Н.А. Мунасыпов канд. физ.-мат. наук

Оренбургский государственный педагогический университет,
кафедра математики и методики преподавания математики,
Оренбург, nail.munasypov@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА В СИСТЕМЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

В работе рассмотрена задача построения оптимального признакового пространства в системе распознавания; при этом предполагается, что имеются ресурсные ограничения, предназначенные для определения значений признаков. Предложен алгоритм выделения наиболее существенных признаков, учитывающий соотношение между информативностью признака, определяемой на основе близости между объектами, и затратами ресурсов, необходимых для определения соответствующего признака.

Ключевые слова: оптимальный признак, информативность признака, признаковое пространство, система распознавания, ресурсные ограничения.

Эффективность распознавания во многом определяется набором признаков, с помощью которых описываются распознаваемые объекты. Увеличение размерности признакового пространства позволяет, с одной стороны, более точно описывать исследуемые объекты. Но использование большого количества признаков затрудняет обработку информации и требует больших затрат ресурсов, предназначенных для обработки данных и принятия решений [1,2]. Поэтому актуальной является задача сокращения размерности признакового пространства и выделения наиболее значимых признаков [3].

Пусть имеются непересекающиеся классы $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$, содержащие некоторые объекты; обозначим ω_{pk} – k -ый объект класса Ω_p ; допустим, что все объекты характеризуются с помощью признаков $x^1, x^2, \dots, x^N$. Тогда описания объектов имеют вид $\omega_{pk} = (x_{pk}^1, x_{pk}^2, \dots, x_{pk}^N)$, где x_{pk}^j – значение j -го признака объекта ω_{pk} . Исходную информацию о принадлежности объектов к определённым классам удобно задать в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Описания объектов

Классы	Объекты	Признаки			
		x^1	x^2	...	x^N
Ω_1	ω_{11}	x_{11}^1	x_{11}^2	...	x_{11}^N
	ω_{12}	x_{12}^1	x_{12}^2	...	x_{12}^N
	...	...	...	...	...
	ω_{1K_1}	$x_{1K_1}^1$	$x_{1K_1}^2$	...	$x_{1K_1}^N$
Ω_2	ω_{21}	x_{21}^1	x_{21}^2	...	x_{21}^N
	ω_{22}	x_{22}^1	x_{22}^2	...	x_{22}^N
	...	...	...	...	...
	ω_{2K_2}	$x_{2K_2}^1$	$x_{2K_2}^2$	...	$x_{2K_2}^N$
...	...	...	...	...	...
Ω_m	ω_{m1}	x_{m1}^1	x_{m1}^2	...	x_{m1}^N
	ω_{m2}	x_{m2}^1	x_{m2}^2	...	x_{m2}^N
	...	...	...	...	...
	ω_{mK_m}	$x_{mK_m}^1$	$x_{mK_m}^2$	...	$x_{mK_m}^N$

В качестве меры близости между объектами рассмотрим выражение

$$d^2(\omega_{pk}, \omega_{ql}) = \sum_{j=1}^N (x_{pk}^j - x_{ql}^j)^2. \quad (1)$$

Меру близости между классами можно задать выражением

$$R^2(\Omega_p, \Omega_q) = \sum_{j=1}^N \lambda_j \left[\frac{1}{K_p K_q} \sum_{k=1}^{K_p} \sum_{l=1}^{K_q} (x_{pk}^j - x_{ql}^j)^2 \right]. \quad (2)$$

В этом выражении $\lambda_j = \{0; 1\}$; причём полагаем $\lambda_j = 1$, если признак x_j используется в признаковом пространстве, и $\lambda_j = 0$ в противном случае. Информативность признака j для пары классов Ω_p и Ω_q зададим следующим образом:

$$\rho_{p,q}^j = \frac{1}{K_p K_q} \sum_{k=1}^{K_p} \sum_{l=1}^{K_q} (x_{pk}^j - x_{ql}^j)^2. \quad (3)$$

В зависимости от критерия эффективности системы распознавания информативности признаков могут иметь различный вид. В качестве критерия эффективности можно рассмотреть минимум квадрата расстояния между возможными парами классов:

$$W_1 = \min_{p,q} R^2(\Omega_p, \Omega_q) = \min_{p,q} \sum_{j=1}^N \lambda_j \rho_{p,q}^j. \quad (4)$$

Информативность признака определим следующим образом:

$$\tilde{\rho}^j = \min_r \rho_r^j. \quad (5)$$

Здесь r – номер пары классов, для которых вычисляем соответствующее значение информативности. Критерием эффективности может служить также среднеквадратичное расстояние между парами классов

$$W_2 = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n R_r^2. \quad (6)$$

Тогда целесообразно информативность признака определить как

$$\tilde{\rho}^j = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n \rho_r^j. \quad (7)$$

При проектировании системы распознавания при наличии ресурсных ограничений использовать полное признаковое пространство не всегда возможно, поэтому возникает проблема выбора наиболее выгодных признаков. Для выяснения вопроса о целесообразности включения признаков в признаковое пространство необходимо ввести показатель важности (эффективности) признака, и этот показатель должен учитывать два параметра: информативность и затраты. То есть эффективность I можно определить как функцию двух переменных $I = I(\rho, C)$. Эта функция может иметь различный аналитический вид. В частности, можно ввести показатель эффективности

$$I(x^j) = \frac{\tilde{\rho}^j}{C_j}. \quad (9)$$

Он отражает естественную связь между информативностью $\tilde{\rho}^j$ признака x^j и затратами C_j на измерение данного признака.

Таким образом, необходимость сокращения пространства признаков возникает и в случае наличия ресурсных ограничений, и в случае их отсутствия. В соответствии с информацией о наличии ресурсных ограничений рекомендуются следующие алгоритмы решения:

Вариант 1. Ресурсные затраты на измерения признаков равны между собой, или значения затрат не существенны и не играют особой роли.

1. Вычисляются информативности $\tilde{\rho}^j$.

2. Значения $\tilde{\rho}^j$ располагаются в порядке убывания.

3. В признаковое пространство выбираем необходимое количество наиболее информативных признаков (или же измерения признаков проводятся поочерёдно до тех пор, пока целесообразно проводить измерения).

Вариант 2. Учитываются ресурсные затраты на измерения признаков.

1. Вычисляются значения $\tilde{\rho}^j$.

2. Вычисляются эффективности $I(x^j) = \frac{\tilde{\rho}^j}{C_j}$.

3. Значения эффективностей располагаются в порядке убывания.

4. Выбираем наиболее эффективные признаки в соответствии с требованиями по объёму признакового пространства.

Рассмотрим следующий пример. Пусть множество объектов подразделено на 4 класса, в каждом из которых содержатся по 4 объекта; эти объекты характеризуются шестью признаками. Все исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Численные значения признаков объектов

Классы	Объекты	Признаки					
		x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
Ω_1	ω_{11}	6	14	3	10	8	13
	ω_{12}	7	15	4	12	9	12
	ω_{13}	6	13	3	11	9	14
	ω_{14}	8	16	5	10	10	12
Ω_2	ω_{21}	12	10	8	5	11	7
	ω_{22}	15	11	10	6	13	9
	ω_{23}	13	10	9	7	12	9
	ω_{24}	12	9	7	4	10	6
Ω_3	ω_{31}	5	8	11	8	14	13
	ω_{32}	4	6	12	7	15	10
	ω_{33}	6	7	14	8	13	12
	ω_{34}	5	6	12	9	15	12
Ω_4	ω_{41}	9	5	9	6	4	9
	ω_{42}	12	7	10	7	6	10
	ω_{43}	11	6	10	7	5	9
	ω_{44}	10	5	11	8	6	8

В качестве меры близости между объектами рассмотрим выражение (1), а в качестве меры близости между объектами пары классов рассмотрим (2). Информативности признаков для каждой пары классов определим по формуле (3). Из исходных данных имеем $p = 1,4$; $q = 1,4$. Так как каждый класс содержит по четыре объекта, то $K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 4$. Приведём результаты вычислений:

$$\begin{aligned} \rho_{1,2}^1 &= 41,25; \rho_{1,2}^2 = 22; \rho_{1,2}^3 = 24,5; \rho_{1,2}^4 = 29,5; \rho_{1,2}^5 = 8; \rho_{1,2}^6 = 27,375; \\ \rho_{1,3}^1 &= 4,25; \rho_{1,3}^2 = 62; \rho_{1,3}^3 = 74,125; \rho_{1,3}^4 = 8,75; \rho_{1,3}^5 = 28,75; \rho_{1,3}^6 = 2,875; \\ \rho_{1,4}^1 &= 16; \rho_{1,4}^2 = 78,5; \rho_{1,4}^3 = 40,25; \rho_{1,4}^4 = 15,25; \rho_{1,4}^5 = 15,25; \rho_{1,4}^6 = 15,25; \\ \rho_{2,3}^1 &= 66; \rho_{2,3}^2 = 11,75; \rho_{2,3}^3 = 16,5; \rho_{2,3}^4 = 8; \rho_{2,3}^5 = 9,5; \rho_{2,3}^6 = 18,875; \\ \rho_{2,4}^1 &= 9; \rho_{2,4}^2 = 19,25; \rho_{2,4}^3 = 4; \rho_{2,4}^4 = 4; \rho_{2,4}^5 = 41; \rho_{2,4}^6 = 3,75; \\ \rho_{3,4}^1 &= 32,5625; \rho_{3,4}^2 = 23,75; \rho_{3,4}^3 = 6,75; \rho_{3,4}^4 = 2; \rho_{3,4}^5 = 82,375; \rho_{3,4}^6 = 9,25. \end{aligned}$$

Информативности признаков определим по формуле (7). Тогда:

$$\tilde{\rho}^1 = \frac{169,0625}{6}; \tilde{\rho}^2 = \frac{217,25}{6}; \tilde{\rho}^3 = \frac{166,125}{6}; \tilde{\rho}^4 = \frac{67,5}{6}; \tilde{\rho}^5 = \frac{184,875}{6}; \tilde{\rho}^6 = \frac{77,375}{6}.$$

Если не учитывать ресурсные ограничения, то

$$\tilde{\rho}^2 > \tilde{\rho}^5 > \tilde{\rho}^1 > \tilde{\rho}^3 > \tilde{\rho}^6 > \tilde{\rho}^4.$$

Значит, признаки ранжируются в следующем порядке:

$$x^2, x^5, x^1, x^3, x^6, x^4.$$

Предположим, что известны затраты C_j на измерения признаков:

$$C_1 = 7, C_2 = 8, C_3 = 5, C_4 = 6, C_5 = 9, C_6 = 4.$$

Вычислим (с точностью до 0,01) значения эффективностей по формуле (9):

$$I(x^1) = 4,03; I(x^2) = 4,53; I(x^3) = 5,54; I(x^4) = 1,88; I(x^5) = 3,42; I(x^6) = 3,22.$$

Значит, признаки ранжируются следующим образом:

$$x^3, x^2, x^1, x^5, x^6, x^4.$$

Наличие ресурсных ограничений приводит к другому приоритету признаков, что следует учитывать при построении признакового пространства.

Список литературы

1. *Мунасыпов Н.А.* Применение метода динамического программирования в задачах распределения ресурсов в системе распознавания // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. – 1998. – №4. С.4–12.
2. *Горелик В.А., Мунасыпов Н.А.* Задача распределения ограниченных ресурсов в системе распознавания // Моделирование, оптимизация и декомпозиция сложных динамических процессов. – М.: ВЦ РАН, 1996. –С.105–122.
3. *Мунасыпов Н.А.* Последовательная процедура построения признакового пространства // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. – 2005. – № 1 (39). С. 160–166.

05.13.15

¹И.П. Осинин канд. техн. наук, ²В.Ю. Симаков, ²С.А. Макаров, ²А.С. Абрамова¹ООО «Научно-производственное объединение программные комплексы реального времени»,²Саровский физико-технический институт,
кафедра вычислительной и информационной техники,
Саров, iposinin@mail.ru

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МОДУЛЯРНО-ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ СОПРОЦЕССОР, ИНТЕГРИРОВАННЫЙ В СОФТ-ПРОЦЕССОР

Цель исследования состоит в повышении скорости выполнения арифметических операций путём интеграции разработанного сопроцессора в софт-процессор. Результатом является многократно возросшая скорость выполнения векторных арифметических операций над вещественными числами. Например, скорость вычисления арктангенса возросла в 13.6 по сравнению со стандартным расширением NIOS для обработки чисел с плавающей точкой при десятикратно возросших аппаратных затратах для реализации вычислительного устройства.

Ключевые слова: *остаток, логарифм, система счисления, NIOS.*

Сущность современных компьютеров подчиняет их правилам, которые определяет применяемая система счисления. Используя перспективные системы счисления и их комбинации в вычислительных устройствах, становится возможным реализовать уникальный набор характеристик по сравнению с традиционной позиционной системой счисления (ПСС).

Одной из таких систем является модулярно-логарифмическая система счисления (МЛСС) [1], которая объединяет:

- целочисленную систему остаточных остатков (СОК), описанную в трудах Н.И. Червякова, И.Я. Акушского, В.С. Князькова, Г. Гарнера, А. Омонди;
- вещественную логарифмическую систему счисления (ЛСС), основополагающий вклад в которую внесли учёные Дж. Коулман, М. Арнолд, Е. Честер, Д. Льюис.

Резкий рост быстродействия устройства, объединяющего преимущества СОК и ЛСС в единой вычислительной концепции, актуален для решения задач, критичных к скорости решения. К таким задачам относится цифровая обработка сигналов, кодирование видеопотока, обучение нейронных сетей и многие другие [2].

Подобные задачи зачастую решаются с применением специализированных сложнофункциональных (СФ) блоков, реализуемых на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Для взаимодействия с СФ-блоками зачастую применяются софт-процессоры, ядра которых синтезируются на ПЛИС. Однако в наиболее популярных 32-битных софт-процессорах с архитектурой RISC, таких как Altera NIOS или Xilinx MicroBlaze отсутствует аппаратная поддержка вычислений с двойной точностью и набор векторных инструкций. Это приводит к многократному уменьшению скорости вычислений при выполнении перечисленных операций в программном коде.

Решить подобные ограничения призван модулярно-логарифмический сопроцессор (МЛС), описанный в данной статье.

1. Модулярно-логарифмический формат и предшествующая работа

Наравне с ускорением одних типов операций, другие, обычно более простые действия, становятся вычислительно сложными. Среди них:

- обнаружение знака и масштабирование чисел с помощью СОК;
- сложение и вычитание с применением ЛСС.

Из-за перечисленных недостатков, до недавнего времени была реализована лишь ограниченная точность вычислений, аналогичная одинарной точности вычислений [1]. В связи с этим, предшествующая работа была направлена на минимизацию их влияния в части быстродействия сопроцессора. Для этого были разработаны специализированные алгоритмы преобразования чисел из традиционного представления чисел с плавающей точкой в модулярно-логарифмический формат и обратно [3]. Упрощенный механизм преобразования представлен на рис.1.

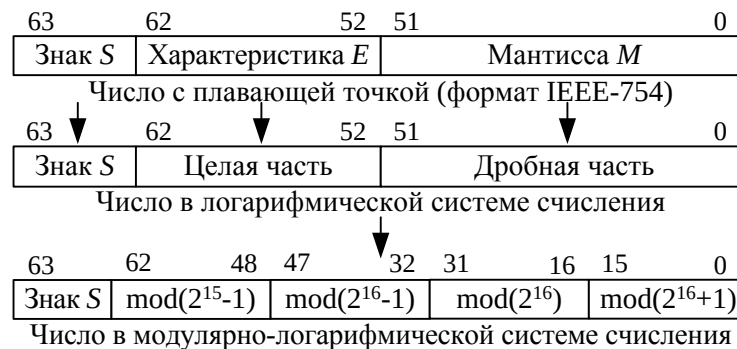


Рис.1. Преобразование числа двойной точности в МЛСС

Предложенная аппаратура для этих преобразований конвейеризирована для повышения скорости преобразования чисел. Кроме того, упомянутые преобразования используются в операциях сложения и вычитания чисел. Это позволяет задействовать те же исполнительные узлы сопроцессора, что и для преобразования кодов, снижая простои оборудования сопроцессора [2, 3].

Интеграция разработанных узлов сопроцессора в единый СФ-блок, функционирующий на базе предложенных способов вычислений, рассмотрена в следующем разделе.

2. Интеграция сопроцессора в микропроцессорную систему

Применение устройства в качестве сопроцессора позволяет:

- максимально упростить внутреннее устройство управления;
- передавать для вычислений лишь части задач, которые наиболее эффективно могут быть решены с применением модулярно-логарифмического подхода.

Для обработки мультипликативных операций в вычислительном ядре предусмотрен сумматор и умножитель. Их разрядность соответствует разрядности основания, по которому ведется обработка. Архитектура сопроцессора подробно рассмотрена в [1, 2].

Софт-процессор NIOS обладает возможностью расширения командами пользователя. Для этого предусмотрена интеграция собственной аппаратуры в стандартное арифметико-логическое устройство.

Интерфейс подключения СФ-блока МЛС к софт-процессору (рис.2) имеет трехканальную шину данных (два 64·*n*-битных канала исходных векторов *X*, *Y* и один 64·*n*-битный канал вектора результата *Z*, где *n* – количество упакованных в вектор чисел) и шину управления, в состав которой входят следующие сигналы: четырехбитный код команды *U* сопроцессора; вход импульсов синхронизации и вход сброса устройства; вход начала выполнения команды и выходной сигнал готовности результата.

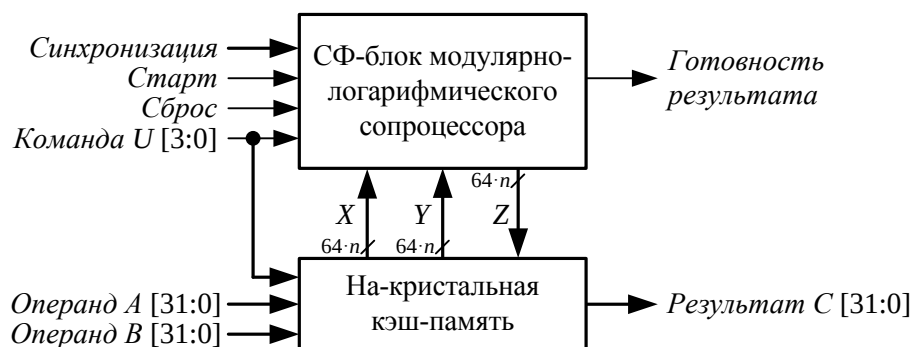


Рис.2. Структурная схема интерфейса МЛС

В следующем разделе приведены результаты синтеза сопроцессора на ПЛИС и его тестирования в связке с софт-процессором NIOS.

3. Аппаратные затраты и быстродействие сопроцессора

Сопроцессор в виде СФ-блока подключен к софт-процессору Altera NIOS/f, где f обозначает модификацию процессорного ядра «fast».

Аппаратные затраты микропроцессорной системы на ПЛИС, выраженные в количестве адаптивных логических элементов (ALM), блоках на-кристальной памяти (BRAM) и блоках цифровой обработки сигналов (DSP), необходимых для её реализации, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Аппаратные затраты микропроцессорной системы

Ядер, шт.	ALM, шт.	BRAM, кбайт	DSP, шт.
Софт-процессор NIOS, модификация ядра f			
1	985	7,2	3
Расширение NIOS для обработки чисел с плавающей точкой			
1	1019	2	7
Модулярно-логарифмический сопроцессор			
1	10097	40	47
8	10253	40	54
16	10357	40	62

Из таблицы 1 видно, с ростом числа ядер МЛС, аппаратные затраты увеличиваются незначительно, так как наиболее ресурсоемкий блок преобразования кодов остается в единственном экземпляре.

Количество тактов, необходимое предложенному сопроцессору для выполнения арифметических операций над парой векторов, каждый из которых состоит из 16 чисел двойной точности, приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Быстродействие микропроцессорной системы

Наименование векторной операции	NIOS, тактов	МЛС, тактов		
		1 ядро	8 ядер	16 ядер
Преобразование ПСС-МЛСС и обратно	–	48	14	19
Сложение/вычитание/редукция	80	96	28	22
Умножение	64	16	2	1
Деление	256	16	2	1
Возведение в степень	–	16	2	1
Извлечение корня	128	16	2	1

Наибольшее ускорение (от 64 до 256 раз) в предложенном сопроцессоре достигается при использовании 16 ядер на мультипликативных операциях, таких как, умножение, деление и возведение в степень. Одним из практических применений, где активно используются перечисленные действия, является разложение в ряд Тейлора.

Использование 16-ядерного МЛС для вычисления суммы первых 16 членов ряда арктангенса потребует одной векторной операции возведения в степень, одного умножения вектора на вектор констант и одного редукционного сложения. Таким образом, вычисление займет 24 такта без учета преобразования чисел в МЛСС и обратно. Учитывая операции преобразования, вычисление составит 62 такта синхронизации микропроцессорной системы. Для сравнения, софт-процессору NIOS потребуется 844 тактов для аналогичного вычисления функции арктангенса.

Выводы

Представленная в статье реализация в виде СФ-блока софт-процессора NIOS подтверждает реализуемость архитектурных особенностей МЛС. В перспективе сопроцессор может быть создан не только в качестве дополнения системы-на-кристалле, но и как самостоятельное вычислительное устройство.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта №17-71-10043.

Список литературы

1. Osinin I.P. A Modular-Logarithmic Coprocessor Concept // Proceedings International Conference on High Performance Computing & Simulation 2017 (HPCS-2017), pp 588-595, doi: 10.1109/HPCS.2017.93
2. Osinin I.P. Residue Logarithmic Coprocessor for Mass Arithmetic Computations // Russian Supercomputing Days 2018: Proceedings of the international conference, pp 620-630
3. Осинин И.П. Способ и устройство прямого параллельно-конвейерного преобразования чисел с плавающей точкой в модулярно-логарифмических формат //Евразийский союз ученых 2018, №3 (48), с. 45-56

05.13.15

¹И.П. Осинин канд. техн. наук, ²В.Ю. Симаков, ²С.А. Макаров, ²А.С. Абрамова¹ООО «Научно-производственное объединение программные комплексы реального времени»,²Саровский физико-технический институт,
кафедра вычислительной и информационной техники,
Саров, iposinin@mail.ru

ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ МОДУЛЯРНО-ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ СОПРОЦЕССОР, ИНТЕГРИРОВАННЫЙ В СОФТ-ПРОЦЕССОР

Работа направлена на решение актуальной проблемы высоконадежных вычислений. Предметом исследования является микропроцессорная система на базе ПЛИС, включающая софт-процессор NIOS и сложнофункциональный блок сопроцессора, функционирующего в перспективной модулярно-логарифмической системе счисления, объединяющей преимущества системы остаточных классов и логарифмической системы счисления.

Ключевые слова: *остаток, логарифм, система счисления, NIOS.*

Актуальными целями процесса развития компьютеров были и остаются повышение их быстродействия и надежности. Основными путями к достижению этой цели является совершенствование технологии их производства и внедрение новых, более эффективных способов организации вычислений. Анализ подходов [1], применяемых при разработке высокопроизводительных и надежных вычислительных структур показывает, что все они имеют общую особенность – применение параллельной обработки.

Известно, что непозиционные коды в системе остаточных классов (СОК) обладают широкими корректирующими возможностями для обнаружения и коррекции ошибок, возникающих в устройствах на их базе.

Кроме того, СОК и логарифмическая система счисления (ЛСС) предлагают очевидные преимущества по сравнению с позиционной системой счисления (ПСС):

- быстрое сложение и умножение операндов с помощью СОК за счет отсутствия переносов между малоразрядными модулями чисел;
- быстрое умножение, деление, возведение в степень и извлечение корня с помощью ЛСС за счет представления чисел в виде их логарифмов.

Устройству, объединяющему преимущества СОК и ЛСС в единой модулярно-логарифмической системе счисления (МЛСС) и обладающему средствами повышения отказоустойчивости, посвящена данная статья.

1. Отказоустойчивость на уровне системы счисления

МЛСС обладает средствами повышения надежности вычислений на уровне системы счисления. При этом используется единый помехоустойчивый код для обнаружения ошибок, возникающих при обработке информации в арифметическом устройстве и передаче её по каналам связи.

В этом случае полный диапазон представления чисел P делится на рабочий диапазон P_m из m модулей и контрольный P_k из k модулей (рис. 1). Данные названия условны, так как модули совершенно равноправны. При выполнении любой арифметической операции над двумя числами из рабочего диапазона результат также принадлежит этого диапазону P_m , в противном случае произошла ошибка [1].

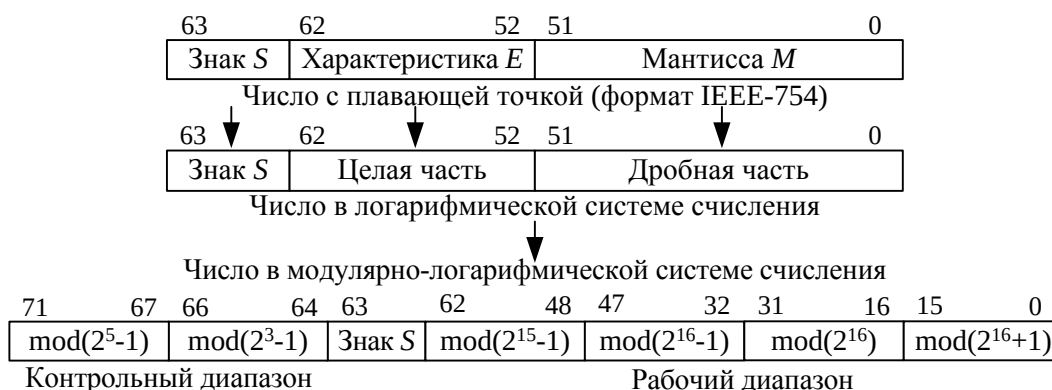


Рис.1. Преобразование числа двойной точности в МЛСС

Отечественные ученые Акушский И.Я., Калмыков И.А., Червяков Н.И. внесли значительный вклад в развитие данного направления [2].

2. Интеграция сопроцессора в микропроцессорную систему

В данном разделе рассмотрено устройство, функционирующее на базе МЛСС. Оно интегрирует разработанные способы вычислений, позволяя максимально раскрыть преимущества этой системы счисления на уровне аппаратуры.

Софт-процессор NIOS обладает возможностью расширения командами пользователя. Для этого предусмотрена интеграция собственной аппаратуры в стандартное арифметико-логическое устройство (рис.2).

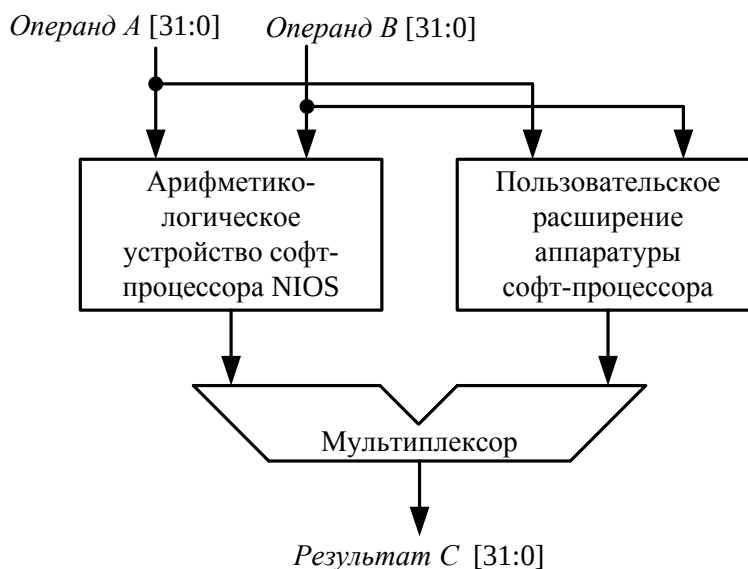


Рис.2. Структурная схема расширения АЛУ софт-процессора NIOS

Стоит отметить, что ядро NIOS поддерживает лишь фиксированную разрядность данных, ограниченную 32 битами, что недостаточно для оперирования упакованными векторными данными, длина которых в сопроцессоре может варьироваться от 64 до 1024 бит.

В связи с этим, в состав сложнофункционального (СФ) блока МЛС включена собственная трёхпортовая на-кристальная кэш-память. Учитывая это, по шине данных, связывающей софт-процессор и МЛС, передаются адреса операндов в кэш-памяти. Исключение составляют операции загрузки и выгрузки информации, которые организованы последовательными транзакциями по 32 бита.

С программной точки зрения достаточно определить в файле «system.h» шаблоны для каждой новой команды сопроцессора, после чего их можно использовать в высокоуровневом коде на языке «С», наравне с обычными инструкциями. Такой подход значительно упрощает интеграцию МЛС в микропроцессорную систему, обеспечивая высокоуровневый доступ посредством интегрированной среды разработки приложений «Eclipse».

На рис.3 изображена структурная схема сопроцессора в общем виде. Каждое вычислительное ядро сопроцессора подключено к общему преобразователю кодов и ведет параллельную обработку по определенному набору модулей СОК. Количество вычислительных ядер сопроцессора равно n штук, где n – количество упакованных в вектор чисел. Подробное описание архитектуры приведено в [3].

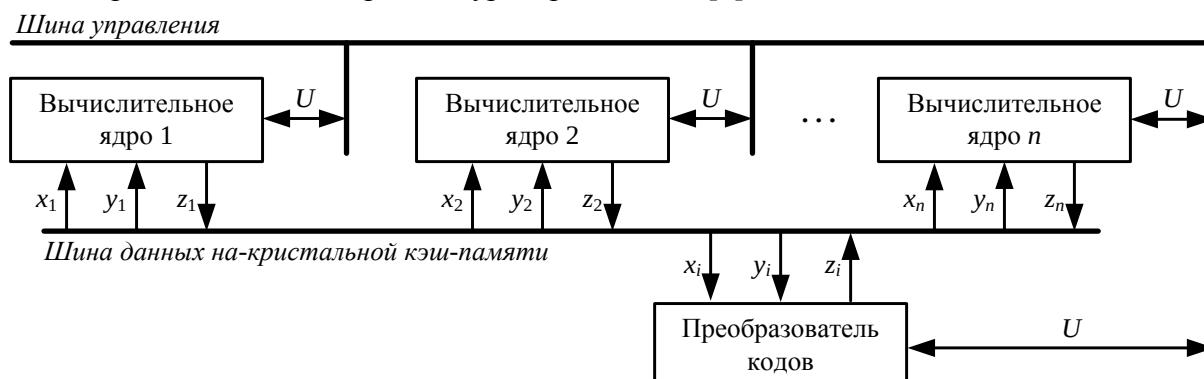


Рис.3. Структурная схема МЛС в общем виде

Вычислительные ядра используют его в конвейерном режиме, благодаря чему операции сложения, вычитания, преобразования вещественных чисел в МЛСС и обратно требуют n тактов, где n – количество упакованных в вектор чисел. Остальные арифметические операции выполняются за один такт синхронизации.

3. Аппаратные затраты отказоустойчивого сопроцессора

Описанные в предыдущем разделе структурные схемы реализованы с помощью САПР Altera Quartus II Web Edition и ПЛИС Altera Cyclone V.

Обнаружение канала или каналов, вышедших из строя, по которым передана ошибочная информация, является одним из основных этапов коррекции сигнала. Преимуществом СОК в составе системы счисления сопроцессора является возможность применения избыточности корректирующих кодов для обнаружения и коррекции ошибок.

Отказоустойчивость МЛС заключается, как в обнаружении ошибки (любом искажении цифры, соответствующей остатку СОК), так и её коррекции, то есть преобразовании искаженного результата в верное исходное число. Для этого необходимо определить принадлежность анализируемого числа либо рабочему диапазону, либо запрещенному диапазону.

В таблице приведены результаты аппаратные затраты МЛС по результатам синтеза для разного числа парируемых отказов оборудования в сравнении с аналогичным показателем, полученным для позиционного процессора, где отказоустойчивость достигается путём мажоритарной схемы «2 из 3», которая требует троирования аппаратуры. Формулы для вычисления приведены в [3].

Таблица – Избыточность оборудования МЛС в сравнении с ПСС

Количество парируемых отказов, шт.	Избыточность оборудования, %	
	1 ядро МЛС	1 ядро NIOS
1	25	66
2	38	75
3	49	80
4	56	84

Анализ приведенных в таблице 1 результатов свидетельствует о преимуществе в надежности МЛС перед традиционным подходом, состоящем в троировании аппаратуры.

Выводы

Таким образом, оценка надежности МЛС с контрольным диапазоном модулей свидетельствует о преимуществе в плане экономии аппаратных затрат по сравнению с аналогичной традиционной позиционной системой.

Кроме того, в представленном сопроцессоре заложен потенциал параллельного счёта на уровне архитектуры, что делает актуальным его применение для расчета задач, критичных к скорости вычислений.

Высокая производительность достигается за счет:

- распараллеливания арифметических операций на уровне вычислительных ядер и модулей СОК;
- параллельно-конвейерной обработки чисел в преобразователе кодов;
- замены операций умножение и деление вещественных чисел быстрыми целочисленными операциями сложение и вычитание, благодаря свойствам логарифмов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта №17-71-10043.

Список литературы

1. Osinin I.P. Residue Logarithmic Coprocessor for Mass Arithmetic Computations // Russian Supercomputing Days 2018: Proceedings of the international conference, pp 620-630
2. Калмыков И.А. Теоритические основы вычислений в полиномиальной системе классов вычетов, ориентированных на построение отказоустойчивых систем. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2006. 347 с.
3. Osinin I.P. A Modular-Logarithmic Coprocessor Concept // Proceedings International Conference on High Performance Computing & Simulation 2017 (HPCS-2017), pp 588-595, doi: 10.1109/HPCS.2017.93

05.13.00

**А.М. Пищухин д-р техн. наук, Г.Ф. Ахмедьянова канд. педагог. наук,
З.С. Стародубцева**

Оренбургский государственный университет,
аэрокосмический институт,
кафедра управления и информатики в технических системах,
Оренбург, fit@mail.osu.ru, ahmedyanova@bk.ru

РЕГУЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ПОМЕЩЕНИИ НА ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КРАТНОСТЬЮ ВОЗДУХООБМЕНА

Работа посвящена постановке и решению задачи оптимального управления уровнем концентрации радона в помещении на основе изменения кратности воздухообмена. Объект управления описывается дифференциальным уравнением радоновой активности. Рассматривается два случая: постоянный приток радона в помещение и приток, изменяющийся по гармоническому закону. Решение сведено к системе двух нелинейных дифференциальных уравнений. Результаты получены численным методом. Показано, что в первом случае по окончании переходного процесса концентрация радона выходит на установившийся уровень, во втором - управляющее воздействие становится гармоническим.

Ключевые слова: *активность радона, кратность воздухообмена (КВО), скорость поступления радона, метод Эйлера-Лагранжа, функционал Летова.*

Введение

Очевидно, радон в настоящее время является одним из самых опасных естественных источников радиации. Многие исследователи доказывают, что около половины общей дозы облучения, получаемой человеком за его жизнь, обусловлено именно излучением, исходящим от радона.

Теория

Воздействие радона возможно как в наземной постройке, так и в многоэтажном доме. Радиоактивность может быть даже в грунте насыпных газонов вокруг территории дома, может быть в тротуарной плитке, брусчатке и т.д., что так же подтверждено экспериментально (Калайдо, 2017) [1]. Непосредственную связь радоноопасности территории с геологическим строением земли исследовал Микляев П.С. 2015 год. [2]

Основную часть дозы облучения люди получают в закрытом помещении, особенно зимой, поскольку летом условия проветривания лучше [3]. Например, в работе (Васильев, 2014) [4] рассматривалось влияние концентрации радона в наземных постройках г. Екатеринбурга с учетом их архитектурно-строительных особенностей. Был разработан способ измерения скорости поступления радона, основанный на анализе динамики концентрации радона при переходе помещения из активного в стационарный режим эксплуатации. В результате эксперимента выяснено, что высокие концентрации радона в помещениях современных зданий вызваны низкой кратностью воздухообмена, обусловленной применением энергосберегающих технологий и отсутствием организованного притока наружного воздуха при эксплуатации помещений [4].

Предлагался (Чичиров, 2004) способ экономической оценки влияния управления на снижение радиационного фона в помещениях. Величина уменьшения затрат на мероприятия по снижению радоновыделения в помещениях, достигнутая при реализации разработанной схемы мониторинга в Пензенской области, составляет в денежном эквиваленте около 450 000 руб/(чел*3в) [5].

Одним из важных факторов, влияющих на объемную активность радона, является кратность воздухообмена. В панельных домах, если строительные конструкции имеют много щелей, радон просто выветривается. В последнее же время дома строят в основном из монолита и с применением новых, современных требований по энергосбережению. В таких домах кратность воздухообмена понижена. Добавочное влияние на это оказывают и обязательные пластиковые окна, и утепленные лоджии, и повышенные требования по внешней отделке.

Исходя из существующего положения, необходимо сформулировать задачу оптимальной кратности воздухообмена (КВО) при выполнении требования допустимости концентрации радона.

Радон поступает в жилые помещения из грунта, просачиваясь через щели фундамента. Он так же входит в состав наружного воздуха, природного газа, используемого для бытовых целей, может присутствовать в водопроводной воде. Относительный вклад каждого из названных источников формирования активности радона в жилище может быть представлен следующим образом:

- грунт под зданием и стройматериалы 78%;
- наружный воздух 13%;
- вода, используемая в доме 5%;
- природный газ 4%.

Концентрация радона в стационарном режиме эксплуатации помещения стремиться к постоянному уровню. При этом выход её на равновесие определяется двумя параметрами – скоростью поступления радона A и кратностью воздухообмена λ (КВО).

Временная зависимость концентрации радона $A(t)$ в помещении может быть представлена в виде дифференциального уравнения первого порядка [4]:

$$\frac{dA}{dt} = S(t) - \lambda A \quad (1)$$

где функция $S(t)$ – суммарное удельное поступление радона в единичный объем помещения (скорость поступления), Бк/(м³ · ч); λ – функция, описывающая зависимость значения КВО от времени, ч⁻¹.

Модель

Снизить концентрацию радона до очень низких значений можно включить мощные вентиляторы. Однако затраты энергии при этом будут несоизмеримы с полученным эффектом. Очевидно, необходимо сформулировать задачу оптимального управления КВО, так, чтобы при минимальных затратах энергии достигалось максимальное снижение концентрации радона [6]. Тогда уравнение (1) становится уравнением объекта управления.

Воспользуемся методом профессора А.М. Летова АКОР, который часто применяется в задачах подобного рода [7,8]. Согласно этому методу функционал равен:

$$\int_0^{t_k} (A^2 + q\lambda^2) dt \rightarrow \min \quad (2)$$

Этот функционал минимизирует вред от повышения концентрации радона при минимальных затратах энергии на вентиляцию.

Исследуем задачу методом Эйлера-Лагранжа, для чего составим лагранжиан:

$$L = A^2 + q\lambda^2 + \psi(S - \lambda A - \frac{dA}{dt}). \quad (3)$$

Теперь можно составить уравнения Эйлера относительно искомых переменных.

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial A} - \frac{d}{dt}(\frac{\partial L}{\partial \dot{A}}) &= 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Выполняя дифференцирование лагранжиана получаем следующую систему:

$$\begin{cases} 2A - \psi\lambda + \frac{d\psi}{dt} = 0 \\ 2q\lambda - \psi A = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Из второго уравнения системы имеем:

$$\psi = \frac{2q}{A} * \lambda \quad (6)$$

Дифференцируем это уравнение по времени:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{-2q \frac{dA}{dt}}{A^2} * \lambda + \frac{2q}{A} * \frac{d\lambda}{dt} \quad (7)$$

Полученный результат и равенство (6) подставляем в первое уравнение системы (5):

$$2A - \frac{2q}{A} \lambda^2 - \frac{2q \frac{dA}{dt}}{A^2} \lambda + \frac{2q}{A} * \frac{d\lambda}{dt} = 0. \quad (8)$$

Приводим уравнение к общему знаменателю, затем числитель приравняем к нулю, заменив предварительно производную по времени от концентрации радона на правую часть уравнения (1):

$$2A^3 - 2qA\lambda^2 - 2q(S - \lambda A)\lambda + 2qA \frac{d\lambda}{dt} = 0 \quad (9)$$

Проводя преобразование, получаем:

$$A^3 - qS\lambda + qA \frac{d\lambda}{dt} = 0 \quad (10)$$

Добавляя к этому уравнению уравнение состояния (1), получаем систему двух нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка для определения искомых переменных A и λ :

$$\begin{cases} \frac{d\lambda}{dt} = \frac{S\lambda}{A} - \frac{A^2}{q} \\ \frac{dA}{dt} = S - \lambda A \end{cases} \quad (11)$$

Конечно, можно сразу записать их решение в виде:

$$\begin{cases} A = e^{\int_0^t \lambda dt} (A_0 + S \int_0^t e^{\int_0^t \lambda dt} dt) \\ \lambda = e^{\int_0^t \frac{S}{A} dt} (\lambda_0 - S \int_0^t \frac{A^2}{q} * e^{\int_0^t \frac{S}{A} dt} dt) \end{cases} \quad (12)$$

Однако неизвестные теперь оказались под интегралами. Очевидно, без численного решения не обойтись, поэтому вернемся к решению системы уравнений (11) методом Рунге-Кутты.

Метод позволяет решать системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка следующего вида:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= f(t, X, Y, \dots), \\ \dot{Y} &= g(t, X, Y, \dots), \\ &\text{и т.д.} \end{aligned} \quad (13)$$

В нашем случае это выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{A} &= f(t, X, Y), \\ \dot{\lambda} &= g(t, X, Y), \end{aligned} \quad (14)$$

Данные и методы

Программа для решения реализована в Delphi 7. Для получения результата работы программы были использованы начальные значения переменных $A(0) = 0.9$; $\lambda(0) = 0.01$, $S = 0.5$, $q = 0.9$

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты представлены на рисунках 1 и 2.

Из графика следует, что в начальный момент концентрация радона возрастает за счет притока S и пониженной вентиляции при включении. Затем по мере возрастания КВО рост концентрации радона останавливается, а затем плавно падает до установившегося значения $A = 0.689$. КВО так же выходит на установившееся значение $\lambda = 0.726$. Если же в изменениях концентрации радона имеются гармонические составляющие, система управления начинает следовать им – рисунки 3,4.

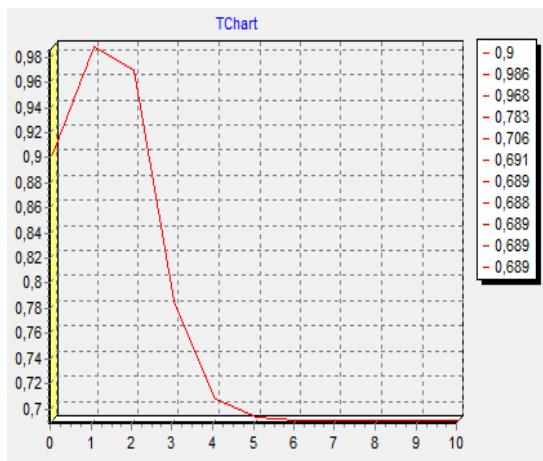


Рис. 1 – График изменения концентрации радона

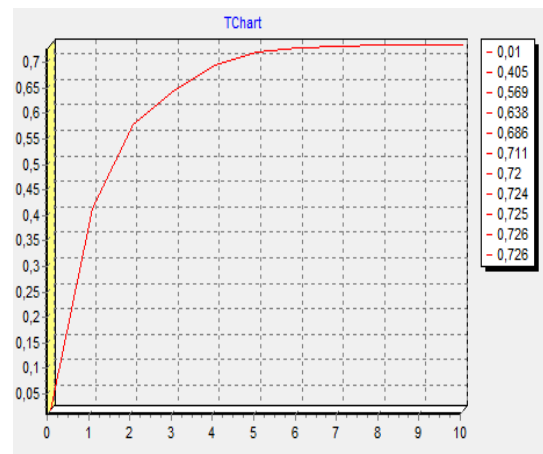


Рис. 2 – График изменения КВО

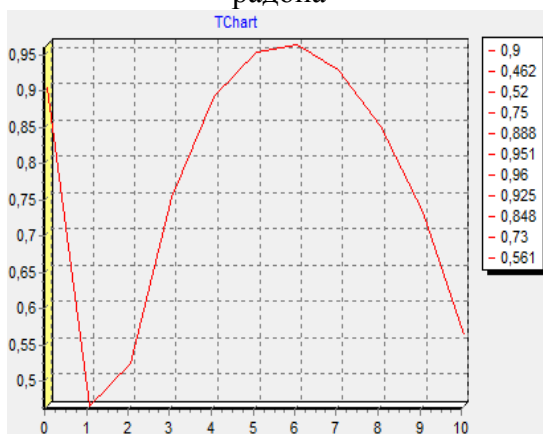


Рис. 3 – График изменения концентрации радона при гармонической зависимости его притока

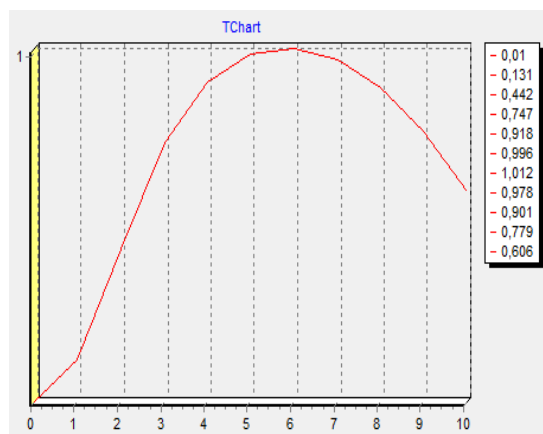


Рис. 4 – График изменения КВО при гармонической зависимости поступления радона

Заключение

Таким образом, регулирование концентрации радона в помещении на основе оптимального управления кратностью воздухообмена является действенным средством снижения риска здоровью человека. Оптимальное управление позволяет при минимальных затратах энергии на вентиляцию помещения снизить концентрацию радона до допустимых пределов. Дальнейшие исследования могут быть связаны с выявлением влияния внешнего притока радона, а так же учетом естественной вентиляции.

Список литературы

1. *Калайдо, А.В.* Модельное исследование процесса переноса радона в системе сред «Грунт-атмосфера-здание» / дисс. на соиск уч. ст. к.т.н., ФГБУ, Научно-исслед. институт строит. физики. – Москва, 2017. – 131 с.
2. *Микляев, П.С.* Научные основы оценки потенциальной радоноопасности платформенных территорий: Дис. ... канд. техн. наук : Москва, 2015.-307 с.
3. *Бураева, Е.А. и др.* Результаты мониторинга радона в воздухе жилых зданий некоторых территорий юга России / Бураева Е.А., Попов Ю.В., Дергачева Е.В., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Кубрина В.К., Проценко В.В. // Успехи современного естествознания, 2016.-№ 12.-356-360 с.
4. *Васильев, А.В.* Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий / дисс. на соиск уч. ст. к.т.н., Институт промышленной экологии. – Екатеринбург, 2014. – 116 с.
5. *Чичиров, К.О.* Методы и средства обеспечения радоновой безопасности населения в градостроительном комплексе: Дис. ... канд. техн. наук: Пенза, 2004.- 144 с.
6. *Пищухин, А.М.* Оптимальные методы построения и управления мультиструктурными системами автоматизации технологических процессов и производств на основе вероятностных критериев качества.//Дис.... д-ра техн. наук. Оренбург, 2001, 355 с.
7. *Ахмедьянова, Г.Ф.* Метасистемная задача управления готовностью технических средств к функционированию/ Г.Ф. Ахмедьянова, Т.А. Пищукина, А.М. Пищухин // Научно-технический вестник Поволжья, 2018. - № 5. - С. 161-164.
8. *Pishchukhin, A.M.* Algorithms for synthesizing management solutions based on OLAP-technologies / A. M. Pishchukhin, G. F. Akhmedyanova // Journal of Physics: Conference Series, 2018. - Vol. 1015. - 6 p.

05.13.00

**Н.А. Соловьев д-р техн. наук, А.М. Семенов канд. техн. наук,
В.В. Паничев канд. техн. наук, А.М. Горюнова**

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
Оренбург, povtas@mail.osu.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Обоснована актуальность разработки интеллектуальной СППР в предметной области, характеризующейся нечеткой информацией. Представлена архитектура СППР, реализованная методами искусственного интеллекта, обеспечивающая поддержку процессов планирования капитальных ремонтов зданий и сооружений.

Ключевые слова: информационные процессы в сфере ЖКХ, ремонт зданий и сооружений, технологии искусственного интеллекта.

Обзор современных исследований [1] выявил отсутствие работ, посвященных автоматизации информационных процессов принятия управленческих решений в сфере ЖКХ (планирования ремонта зданий и сооружений и др.), реализующих модели с учетом ограничений, накладываемых на параметры системы и неопределенности предметной области. Законодательные изменения в финансировании, нечеткие правовые формулировки, а также отсутствие единой методики оценки состояния зданий и сооружений, оперативного формирования комплекса работ по обеспечению их живучести свидетельствуют о необходимости разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) на основе применения методов Data Mining [2].

Научная новизна работы заключается в реализации гибридной мультиагентной архитектуры ИСППР. Информационная база исследований: данные Администрации городского округа, управления жилищно-коммунального хозяйства г. Оренбург и ЖЭУ 4/1. На основе анализа информационных потоков ЖЭУ 4/1 разработана функциональная модель автоматизации информационных процессов планирования и принятия решений по ремонту зданий и сооружений. Разработанная архитектура ИСППР представляет совокупность методических и программных средств для решения следующих задач: реализация двух режимов работы: эксперта и пользователя; просмотр списка многоквартирных домов (МКД) и определение их состояния; формирование сметы; формирование базы знаний; хранение справочной информации о сотрудниках, МКД, материалах для ремонта; ведение документов, описывающих основной технологический процесс (акт осмотра, рекомендации, отчеты); формирование списка критериев и альтернатив на основе реализованных математических методов; принятие решений на основе программно реализованных модулей экспертной системы (ЭС), метода анализа иерархий (МАИ), гибридизации МАИ+ТДШ (теория Демпстера-Шефера), нечеткой логики для решения задачи кластеризации зданий и сооружений; принятие решений по выбору организации строительно-ремонтного аутсорсинга; разработка базы данных и базы знаний.

Для реализации базы данных выбрана СУБД MS SQLServer, а в качестве среды разработки приложения – VisualC#. Предложенная ИСППР [3,4] имеет открытую архитектуру, что позволяет расширять перечень задач по автоматизации процессов принятия управленческих решений в сфере организации ремонта зданий и сооружений, в том числе и с применением мягких вычислений (нечеткие множества, нейронные сети и генетические алгоритмы).

Задача нечеткой кластеризации сформулирована следующим образом (модуль нечеткой логики ИСППР FUZZY_LOGIC [4]): для заданной матрицы данных, количества нечетких кластеров и некоторого параметра определить матрицу значений функций принадлежности объектов нечетким кластерам, которые доставляют минимум целевой функции с учетом ограничений. Исходные данные представлены матрицей размером 15×2 и соответствует 15 объектам (здания), для каждого из которых выполнены измерения по двум признакам – год ввода в эксплуатацию и фактических износ. Минимизация производилась на основе алгоритма нечетких (c -средних) [2]. Для оценки качества нечеткого разбиения в алгоритме используется критерий разброса:

$$\sum_{i=1, c} \sum_{k=1, M} (\mu_{ki})^m \|V_i - X_k\|^2,$$

где $V_i = \frac{\sum_{k=1, M} (\mu_{ki})^m X_k}{\sum_{k=1, M} (\mu_{ki})^m}$ – центры нечетких кластеров; $m \in (1, \infty)$ – экспоненциальный вес,

μ_{ki} – степень принадлежности объекта к кластеру принимает значения из интервала $[0, 1]$, X – матрица наблюдений.

Количество нечетких кластеров выбрано из условий возможного состояния объектов (табл. 1)

Таблица 1 – Кластеры при анализе зданий и сооружений

№ кластера	Состояние	Процент износа
1	Аварийное	80 % $\geq$ износ
2	Ограничено-работоспособное	40 % $\leq$ Износ $\leq$ 79 %
3	Работоспособное	11 % $\leq$ Износ $\leq$ 39 %
4	Исправное здание	Износ $\leq$ 10 %

Результаты нечеткого разбиения объектов (табл. 2) при следующих параметрах алгоритма: $c = 4$; $m = 2$; $\varepsilon = 0,00001$, анализ которых позволяет заключить, что здания под номерами 5, 6 и 10 в большей степени уверенности находятся в аварийном состоянии. Тестирование модуля выполнено на примере кластеризации данных, представляющих собой "бабочку", в системе MathLab.

Таблица 2 - Нечеткие разбиения

k	1	2	3	4	5	6	7	8
μ_{k1}	0,035	0,128	0,03	0,011	0,745	0,972	0,01	0,029
μ_{k2}	0,133	0,754	0,85	0,052	0,179	0,018	0,074	0,441
μ_{k3}	0,299	0,084	0,099	0,912	0,045	0,006	0,898	0,481
μ_{k4}	0,533	0,034	0,021	0,025	0,031	0,004	0,018	0,049
k	9	10	11	12	13	14	15	
μ_{k1}	0,009	0,857	0,006	0,006	0,049	0,031	0,024	
μ_{k2}	0,049	0,077	0,98	0,014	0,87	0,667	0,852	
μ_{k3}	0,909	0,036	0,01	0,016	0,053	0,252	0,093	
μ_{k4}	0,033	0,03	0,004	0,964	0,028	0,05	0,031	

Автоматизирован процесс выбора подрядной организации строительно-ремонтного аутсорсинга в условиях неопределенности, когда цели и ограничения заданы нечеткими множествами. Пусть известны: $P = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ – множество вариантов, подлежащих многокритериальному анализу; $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ – множество количественных и качественных критериев, которыми оцениваются варианты.

Задача многокритериального анализа состоит в упорядочивании элементов множества P по критериям из множества G . Критерии оценки подрядной организации строительно-ремонтного аутсорсинга: 1) число реализованных проектов; 2) наличие измерительной аппаратуры требуемого назначения; 3) наличие специалистов требуемого профиля; 4) стоимость работ; 5) срок выполнения ремонтно-строительных мероприятий. Множество вариантов, подлежащих многокритериальному анализу, представлены пятью строительными компаниями (СК), P_1-P_5 соответственно: ООО Ваш дом, ЗАО Востокстройсервис, Капремстрой, АльфаСтрой Стандарт, строительная компания Оренбуржье, оцениваемых по пяти критериям (G_1-G_5). Алгоритм метода принятия решения основан на нечетких условиях по схеме Беллмана – Заде. Результаты тестового варианта решений по выбору строительной компании свидетельствуют о преимуществе варианта P_3 (СК Капремстрой).

В эксперименте использовались нейронные сети (НС), во входном слое которых число нейронов соответствовало числу критериев оценки альтернатив, несколько скрытых слоев с числом нейронов 2...30 в скрытых слоях и выходной слой с 1 нейроном. Соответствующие архитектуры НС для различных алгоритмов тренировки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры НС для выбора решений

Алгоритм тренировки ИНС	Число слоев, ед.	Число нейронов в скрытом слое, ед.	% правильно принятых решений
Алгоритм обратного распространения	2	18,22	97,83
	3	8;30;18	96,28
Метод градиентного спуска с адаптивным обучением	2	14,10	95,81
	3	10,24,28	96,28
Метод шкалированных связанных градиентов	2	26,28	97,1
	3	10,14,20	95,66

Таким образом, для алгоритма обучения методом обратного распространения процент правильно принятых решений составил 97,83%, что позволяет выбранную архитектуру НС реализовать программно в новом модуле. Опытное применение ИСППР в ЖЭУ 4/1 показало, что автоматизация информационных процессов принятия решений позволила сократить время проведения подготовительных работ и повысить качество принимаемых решений, влияющих на эффективность проведения предстоящего комплекса ремонтных и восстановительных работ, как в условиях полной определенности, так и при неполных экспертных оценках.

Список литературы

1. Горюнова, А.М. Обзор и анализ проблем предоставления жилищно-коммунальных услуг на примере планирования капитального ремонта / А.М. Горюнова, А.М. Семенов // Теоретические и практические проблемы развития современной науки. 2016. №4. С.73-77. ISBN 978-5-4688-1156-4
2. Соловьев, Н.А. Основы теории принятия решений для программистов. уч. пособие: / Н.А. Соловьев, Е.Н. Чернопрудова, Д.А. Лесовой - Оренбург: ОГУ, 2012. – 187 с.
3. Семенов А.М. Информационное и программное обеспечение принятия решений по организации капитального ремонта объектов жилищного фонда при неполных экспертных оценках / А.М. Семенов, А.М. Горюнова // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии. 2017. № 4. С. 117-125.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Интеллектуальный программный комплекс для решения задач методом прямого и непрямого поиска агентов» / Семенов, А.М., Жабин Т.С., Голубева Ю.А. – № 2017619806, зарег. 07.09.2017.

05.13.06

А.Э. Сопин, Я.И. Шамлицкий, С.Н. Мироненко, Н.В. Ковбаса, Е.Л. Вайтекунене

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева,
Красноярск, alex.sopin0803@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФИКА ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В статье рассмотрен метод решения задачи оптимизации графика планово-предупредительного ремонта с помощью генетического алгоритма. Описаны преимущества генетического алгоритма перед классическими методами оптимизации.

Ключевые слова: генетический алгоритм, планово-предупредительный ремонт, техническое обслуживание.

Эффективность работы промышленных предприятий зависит от обеспечения бесперебойного функционирования промышленного оборудования [1, 2].

Работоспособность технического оснащения поддерживается за счет качественного, своевременного и безопасного планово-предупредительного ремонта (ППР) с рациональным использованием ресурсов. Планирование расписания ППР является одной из наиболее важных проблем для службы ремонта и отдела планирования производства из-за ее экономической важности. Сложности при построении возникают из-за многообразия видов техники, где для каждой единицы оборудования существует норматив регламентного обслуживания.

Согласно [3], при решении задачи календарного планирования большое количество параметров и ограничений на ресурсы увеличивают время выполнения вычислений, тем самым затрудняют применение комбинаторных методов, а для метода случайного поиска нужен большой объем статистических данных.

В последнее время генетические алгоритмы (ГА) широко применяются как полезный инструмент для получения высококачественных решений или даже оптимальных решений для широкого круга задач комбинаторной оптимизации, включая задачу календарного планирования [4].

ГА является эвристическим алгоритмом поиска, основанным на биологической эволюции. Он оперирует с совокупностью особей, представляющих собой строки, каждая из которых кодирует одно из решений задачи. Приспособленность особи оценивается с помощью специальной функции пригодности. Наиболее приспособленные получают шанс скрещиваться и давать потомство. Наихудшие особи удаляются и не дают потомства. Таким образом, приспособленность нового поколения в среднем выше предыдущего.

К достоинствам генетического алгоритма относится его гибкость применения для различного класса задач большой размерности, позволяющей за приемлемое время получить оптимальное решение.

На основе проведенного анализа был разработан алгоритм для решения задачи оптимизации графика ППР. Блок-схема генетического алгоритма представлена на рисунке (Рис. 1).



Рис. 1 – Блок-схема генетического алгоритма

1. Для решения задачи особь популяции кодируется в битовую строку. Случайным образом создается популяция из хромосом размерностью N : $x_1, x_2, \dots, x_N$.

2. Вычисляется пригодность (выживаемость) каждой хромосомы: $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_N)$. Благодаря функции пригодности осуществляется выбор хромосом, которые подлежат скрещиванию.

3. Случайным образом выбирается пара хромосом для скрещивания. Отбор осуществляется таким образом, что хромосомы, имеющие более высокую приспособленность, с большей вероятностью будут выбраны в качестве родителей. После выполнения скрещивания добавляются новые хромосомы к новой популяции.

4. Мутация специально применяется для увеличения разнообразия популяции. Данный оператор предполагает первоначальное разделение хромосомы на гены (биты) и замену n -случайных битов на противоположные. Благодаря этим преобразованиям части родительской хромосомы создаются хромосомы потомка.

5. Если выполняется критерий останова: количество итераций (поколений) достигает заданного количества, то цикл завершается. В противном случае, исходная популяция заменяется новой, и повторяется выполнение шагов 2-4.

Ниже представлен график сходимости целевой функции (Рис. 2). За 30 поколений было достигнуто оптимальное решение. Лучшее значение: 2172.42, среднее: 3003.65.

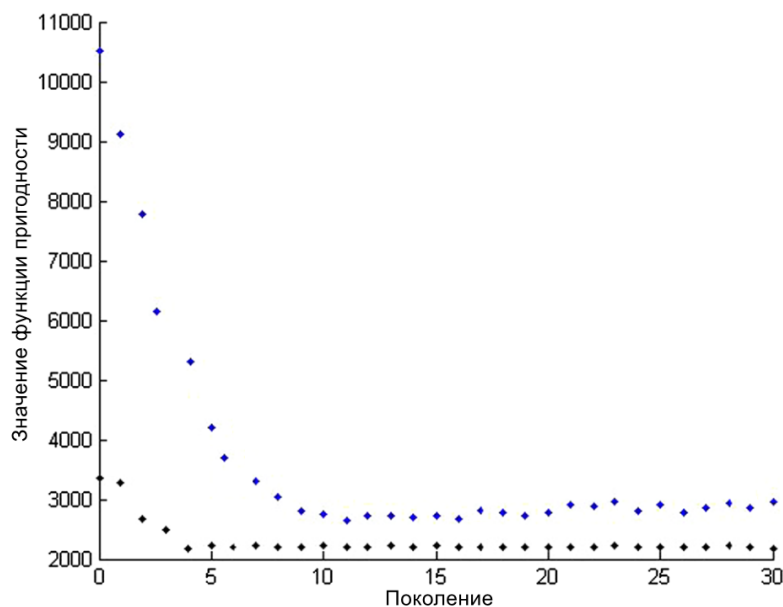


Рис. 2 – График сходимости целевой функции

Анализ результатов работы генетического алгоритма показал, что он позволяет получить оптимальные или субоптимальные решения. Таким образом, данный алгоритм можно использовать в системах автоматизации ППР оборудования промышленных предприятий с целью повышения качества их работы.

Список литературы

1. *Сибикин Ю.Д.* Техническое обслуживание и ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий. Книга 1. М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 208 с.
2. *Кизим А.В.* Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах». – 2009. – №. 6. – С. 118-121.
3. *Мышенков К.С., Романов А.Ю.* Метод решения задачи календарного планирования ремонтов технологического оборудования предприятия с использованием генетического алгоритма // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. – № 9. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/212208.html> (дата обращения 14.03.2019).
4. *Wu A.S. et al.* An incremental genetic algorithm approach to multiprocessor scheduling // IEEE Transactions on parallel and distributed systems. – 2004. – Т. 15. – №. 9. – С. 824-834.

05.13.06

И.В. Сосновский, О.А. Билоус

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, boa@msa.pstu.ac.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ ШАХТНОЙ ВАКУУМНОЙ ГАЗОВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрена схема автоматизации для модернизации электропечи сопротивления шахтной вакуумной газовой печи (СШВГП). Перечислены функции системы автоматического управления технологическим процессом (АСУ ТП). Разработана трехуровневая система контроля и регулирования с применением современных технических средств (контроллера Modicon TSX Premium). Осуществлен выбор оборудования всех уровней автоматизации, позволяющий произвести интеграцию в существующую систему телеметрии.

Ключевые слова: автоматизация, электропечь сопротивления шахтной вакуумной газовой печи, программируемый логический контроллер.

Описание объекта автоматизации

Электропечь сопротивления шахтной вакуумной газовой печи СШВГП 25.30/21-И1 предназначена для проведения насыщения пиролизическим углеродом пористых углеродных каркасов различной структуры изотермическим методом в разреженной среде природного газа (метана) при температуре 1000°C [1]. Основные составные части электропечи (рис. 1): камера нагревательная; система вакуумная, для поддержания вакуума в нагревательной камере; система водоохлаждения, обеспечивает охлаждение вакуумного насоса; система газоподвода, для подачи природного газа в нагревательную камеру; система электропитания.

На сегодняшний день установка работает в ручном режиме, обслуживаемая операторами в две смены. Регулирование расхода газа и давления в камере производятся с помощью вентилей дежурными операторами по расчетам оператора смены, данные снимаются по счетчику газа и датчику давления. Контроль температур производят с помощью термопар. Дальнейшее регулирование температуры производится операторами с помощью переносного термоскопа «Проминь-1».

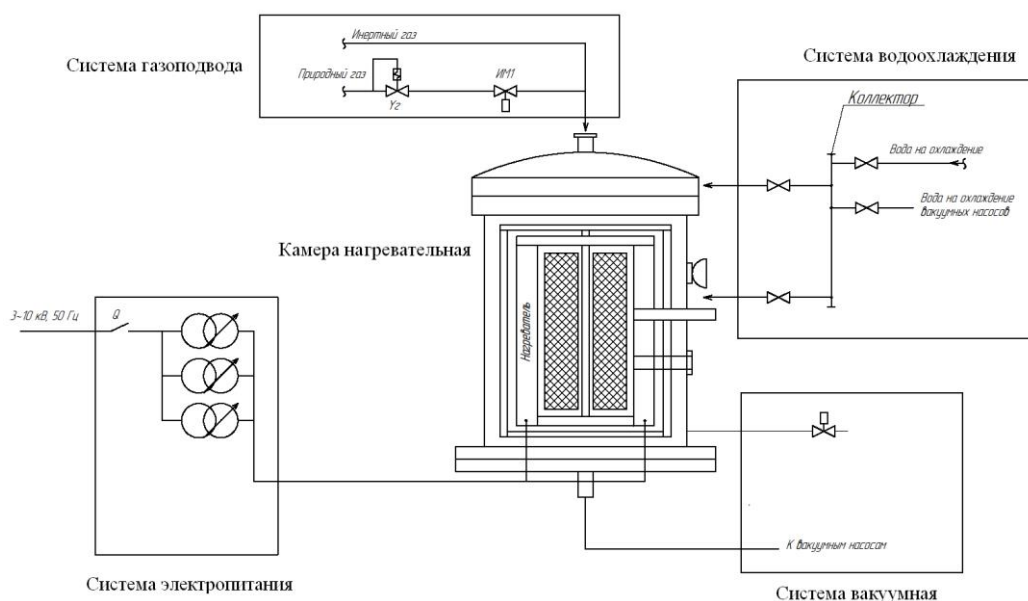


Рис. 1 – Состав электропечи сопротивления шахтной вакуумной газовой печи (СШВГП)

Требования к системе автоматизации [2, 3]

Разрабатываемая система АСУ ТП СШВПП-1 должна обеспечивать:

- запуск и останов печи с помощью шкафа управления высоковольтными трансформаторами;
- запуск и останов вакуумных насосов с помощью шкафа плавного пуска двигателей, автоматический выбор вакуумных насосных агрегатов по заданному алгоритму;
- измерение давления, температуры, подачи газа, величины тока и напряжения до высоковольтного трансформатора и после;
- автоматический или ручной подъем и поддержание температуры;
- контроль давления охлаждающей воды в коллекторе, остаточного давления (вакуума) в камере печи;
- контроль состояния сети электроснабжения;
- автоматическое поддержание установленного расхода газа;
- представление в удобном для обслуживающего персонала и центрального диспетчера виде информации о работе оборудования;
- архивирование и создание протоколов по проведенным режимам, возможность вывода графиков измеряемых величин установки.

В случаях аварийных ситуаций система должна выполнять следующие блокировки: при отключении электроэнергии – автоматическое отключение подачи газа; при прекращении подачи газа – автоматическое перекрытие магистрали подачи газа; при прекращении подачи воды – автоматическое перекрытие магистрали подачи газа и отключение электропитания; при превышении температуры на выходе из какой-либо полости охлаждения печи – выдача сообщения на монитор оператора; при превышении абсолютного давления в нагревательной камере, когда система автоматического поддержания остаточного давления не справляется – автоматическое перекрытие магистрали подачи природного газа и отключение электропитания [4].

Выбор средств автоматизации.

Функциональная структура комплекса технических средств состоит из следующих составных частей (рис. 2): шкафа автоматики (ША); шкафа управления вакуумным насосом (ШУВН); шкафа управления затворами коллектора (ШУЗ); устройства сбора и передачи данных (УСПД); датчиков и исполнительных механизмов.

Шкаф автоматики (ША) предназначен для автоматизированного управления оборудованием электропечи. ША включает в себя: промышленный контроллер; графическую панель оператора; автоматические выключатели питания переключателей ступеней напряжения; коммутационную и светосигнальную аппаратуру; звуковую сигнализацию.

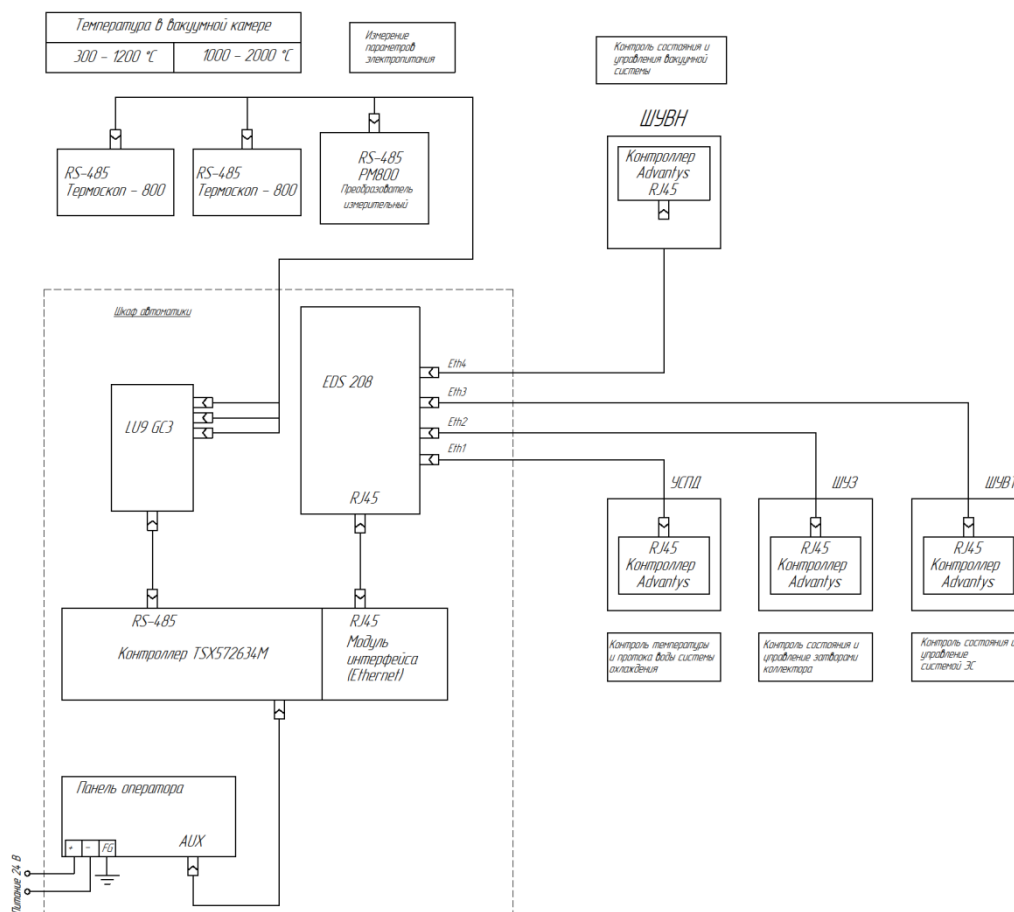


Рис. 2 – Структура комплекса технических средств системы автоматизации

Программируемый логический контроллер Modicon TSX Premium (производство Schneider Electric) выполняет функции поддержания требуемых технологических параметров с обеспечением необходимых защит и блокировок. Контроллер построен по модульному принципу и содержит модуль процессора, источник питания, модуль связи, модули дискретного и аналогового ввода/вывода [5].

Панель оператора Magelis (производство Schneider Electric) предназначена для местного управления работой оборудования со шкафа автоматики и включает в себя: графический экран для отображения текстовой информации, мнемосхем, таблиц, графиков; динамические функциональные клавиши для перехода между различными диалоговыми страницами; статические функциональные клавиши.

ША обеспечивает подключение: до 16 датчиков с унифицированными выходными сигналами 4-20 мА (давление, температура, уровень); до 32 входных дискретных сигналов состояний датчиков и исполнительных механизмов (открыт/закрыт клапан или задвижка); до 32 выходных дискретных сигналов для управления исполнительными механизмами (ИМ) установки (включение/отключение насосов, управление регулирующими ИМ, включение/отключение звуковой и световой сигнализации).

Шкаф управления вакуумным насосом (ШУВН) содержит автоматические выключатели контакторы и реле для управления вакуумным насосом, затвором и электромагнитными вентилями, а также контроллер сети Ethernet, модуль ввода аналоговых и ввода/вывода дискретных сигналов Advantys.

Шкаф управления затворами коллектора (ШУЗ) содержит автоматические выключатели контакторы и реле для управления затворами вакуумного коллектора. Для контроля состояния и управления контроллер сети Ethernet и модуль ввода аналоговых и ввода/вывода дискретных сигналов Advantys.

Устройство сбора и передачи данных (УСПД) представляет собой контроллер сети Ethernet и модули ввода аналоговых и дискретных сигналов Advantys для контроля состояния системы охлаждения печи. Электропитание поступает от шкафа автоматики.

Шкаф управления высоковольтными трансформаторами (ШУВТ) содержит автоматические выключатели, реле, переключатели ступеней напряжения, модуль ввода/вывода дискретных сигналов Advantys для управления работой трансформаторов. В шкафу предусмотрен модуль сети Ethernet для передачи данных в шкаф автоматики.

Датчики и исполнительные механизмы. В качестве средств низовой автоматики используются датчики аналоговых сигналов фирмы «Метран», исполнительные механизмы – электромагнитные пускатели и реле фирмы «Schneider Electric».

Заключение

Разработанная система автоматизации предполагает ряд возможностей для контроля и управления технологическим процессом: сбор и первичная обработка информации; отображение информации о ходе технологического процесса; отображение положения исполнительных механизмов на мониторе персонального компьютера; возможность управления технологическим процессом в ручном и автоматическом режиме.

Внедрение современных средств автоматизации и управления на печи СШВГ позволяет добиться ряда преимуществ: снизить производственные издержки (затраты электроэнергии, затраты на ремонт, трудовые затраты), повысить надежность управления технологическим процессом, исключить влияние человеческого фактора на сложные технологические процессы.

Список литературы

1. Гусовский В.Л., Ладыгичев М.Г., Усачев А.Б., под ред. Усачева А.Б. Справочник. - М.: Теплотехник, 2007. - 656 с.
2. Емильянов А.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – Москва 1983 г.
3. Ключев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – Москва 1980 г.
4. Шиляев Д.В., Билоус О.А. Проектирование автоматизированной системы управления вентиляцией и кондиционированием на базе программируемого логического контроллера и релейной логики // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – № 4. – с. 240-243.
5. Каталог продукции. Универсальные программируемые контроллеры. [Электронный ресурс]. <https://www.schneider-electric.ru/ru/download/>

05.13.01

Ш.А. Хамадеев канд. техн. наук, Т.Н. Каримов, А.М. Подлесных

Казанский федеральный университет,
Набережночелнинский институт,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, shamil.hamadeev@mail.ru

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В статье описана методика формирования данных для вывода их на мобильном терминале геоинформационной системы. Методика основана на функциональном подходе и описывает декомпозицию операций, позволяющих вывести на экран мобильного терминала необходимую для пользователя информацию. На основе предложенной методики осуществляется формирование необходимого и достаточного объема пространственных данных; данных по состоянию транспортного средства и наложение этих данных на экране мобильного терминала.

Ключевые слова: база данных, геоинформационная система, автоматизация логистики, мобильный терминал, аффинные преобразования.

В рамках работы по созданию информационного обеспечения автоматизированной логистической транспортной системы [1, 2] возникает задача создания абонентского телематического терминала (далее АТТ), мобильного приложения для водителя.

Главной частью АТТ является умение отображать графическую информацию на своем экране. В виде графической информации выступают следующие данные:

- пространственные данные автомобильной карты;
- текущие мониторинговые данные состояния транспортного средства (ТС);
- текущие отклонение показателей от РПП.

На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма процесса отображения состояния ТС на экране АТТ.



Рис.1. Модель процесса «Отобразить состояние ТС»

Для возможности отрисовать текущее состояние ТС необходимы следующие источники данных (внешние сущности):

1. Пространственная база данных (ПБД) автомобильной карты.
2. База данных (БД) состояния АТС.

Результатом процесса «Отобразить состояние ТС» является электронная карта с нанесенным на ней текущим состоянием ТС, которая выводится на экран АТТ.

На рисунке 2 представлена декомпозиция процесса «Отобразить состояние ТС». Из ПБД извлекаются данные автомобильной карты необходимой области и формируется графическая подложка электронной автомобильной карты. Графическая подложка создается для

оптимизации производительности — однажды нарисованная подложка автомобильной карты может многократно выводиться без изменений.

Параллельно определяется текущее состояние ТС, которое в дальнейшем будет выводиться поверх графической подложки. Состояние ТС также определяет текущее местоположение, которое используется в других подпроцессах.

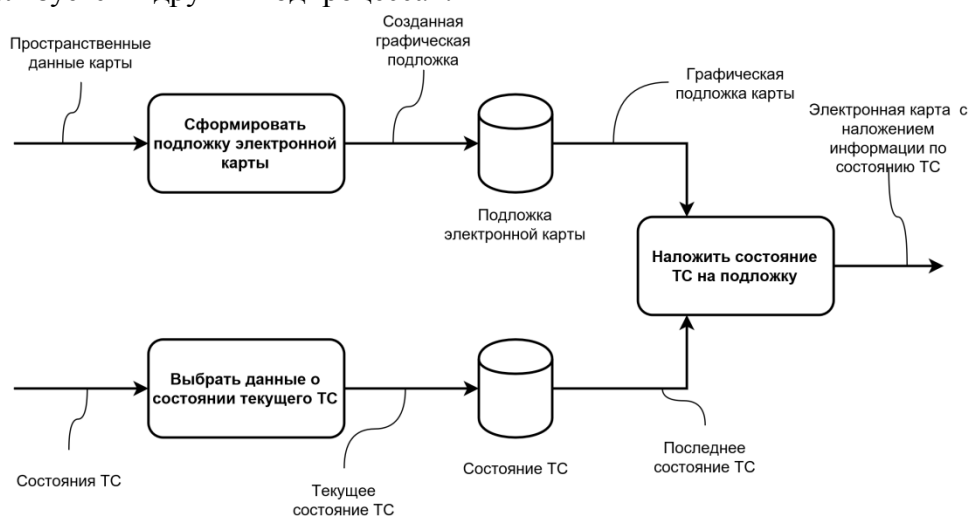


Рис. 2. Декомпозиция процесса «Отобразить состояние ТС»

После чего на экране АТТ отображается графическая подложка автомобильной дороги, а поверх нее с помощью аффинных преобразований [3] выводится последнее известное состояние ТС.

На рисунке 3 представлена декомпозиция подпроцесса «Сформировать подложку электронной карты».



Рис. 3. Декомпозиция под-процесса «Сформировать подложку электронной карты»

На первом шаге извлекаются пространственные данные, заключенные в прямоугольную область, на основании параметров кэшируемой области, полученных из настроек приложения АТТ. Извлекаемая прямоугольная область в несколько раз больше, чем требуется непосредственно отрисовать. Это делается для возможности кэширования данных, и уменьшения общего количества запросов к ПБД автомобильной карты.

Затем извлеченные пространственные данные сохраняются в ПЗУ устройства АТТ в виде бинарного файла с целью оптимизации. Кэширование позволяет сократить количество запросов данных электронной карты при нахождении ТС в одной и той же области. Перезапись кэшируемых данных производится только в случае, если ТС выходит из рамок кэшируемой области. Кэширование также оптимизирует перезапуск приложения — при перезагрузке нет необходимости заново получать данные от ПБД автомобильной карты, нужно всего лишь извлечь данные из кэша.

Следующая операция осуществляет чтение бинарного файла с пространственными данными. Эта операция выполняется только при запуске приложения АТТ, так как при запущенном приложении при получении новых данных от ПБД автомобильной карты эта операция не имеет смысла.

После этого осуществляется рекурсивное разделение входных пространственных данных на области принадлежности, тем самым формируется пространственное бинарное дерево, позволяющее получать быстрый доступ к пространственным данным, заключенные в выбранную произвольную прямоугольную область.

Операция «Создать графическую подложку автомобильной карты» с помощью быстрого получения пространственных данных от пространственного бинарного дерева автомобильной карты создает графическую подложку. Декомпозиция этой операции представлена на рисунке 4.

На первом шаге определяется прямоугольная область расположения подложки в пространстве на основании текущего местоположения ТС и параметра размера подложки. После чего из пространственного бинарного дерева извлекается область для отрисовки подложки. Затем вычисляются коэффициенты аффинного преобразования для возможности переводить географические координаты в локальную декартову систему координат.

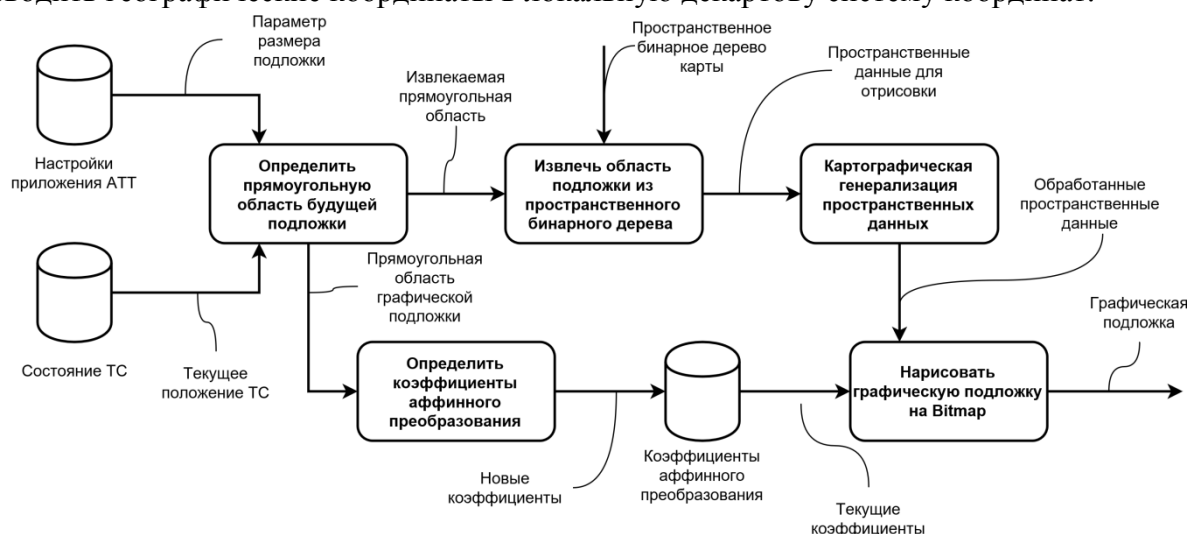


Рис. 4. Декомпозиция операции «Создать графическую подложку автомобильной карты»

Операция «Картографическая генерализация пространственных данных» выполняет отбор и обобщение пространственных данных соответственно масштабу карты. А операция «Нарисовать графическую подложку на Bitmap» используя генерализированные пространственные данные и аффинные коэффициенты осуществляет конечную отрисовку пространственных данных автомобильной карты на графическом файле формата Bitmap.

После чего в соответствии со схемой на рисунке 2 производится наложение состояния ТС на электронную карту и на экране АТТ выводится графическая подложка на которое отображается:

- мониторинговая информация об ТС;
- отклонение текущих показателей перевозки от плановых.

Список литературы

1. Дмитриев С.В., Каримов Т.Н., Хайруллин А.Х. Построение унифицированного программного и информационного обеспечения автоматизированной логистической транспортной системы и средств их настройки // Научно-технический вестник Поволжья, 2013. №1. С. 163–165.
2. Валиев Р.А. Математические методы и алгоритмы системного анализа и формирования производственно-технологических и эксплуатационных процессов топливно-транспортных логистических компаний / Валиев Р.А., Дмитриев С.В., Каримов Т.Н., Хайруллин А.Х. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015. – 176 с.
3. Дубинин М. Аффинные преобразования - математика [Электронный ресурс] // GIS-LAB: Геоинформационные системы и дистанционные зондирование: [сайт] URL: <http://gis-lab.info/qa/affine-math.html> (дата обращения: 29.3.2019).

05.13.06

А.А. Широков канд. техн. наук, Н.Ю. Пономарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, shirokov@pstu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ В БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В статье рассматриваются пути повышения эффективности и надежности использования специализированной насосно-канализационной станции в бумагоделательном производстве. Рассмотрены основные проблемы, возникающие в процессе эксплуатации оборудования. Предложены способы их реализации.

Ключевые слова: *электродвигатель, насос, частотное регулирование, устройство плавного пуска электродвигателя.*

Технологический процесс производства целлюлозно-бумажной продукции сопряжен с использованием большого количества воды и, соответственно, с большими объемами водоотведения. Проблему водоотведения решают посредством использования специализированной канализационной насосной станции (КНС). Её основная функция заключается в накоплении в резервуарах на территории предприятия и дальнейшей транспортировке сточных вод в городские очистные сооружения. Помимо своей основной функции канализационная насосная станция должна обеспечивать защиту окружающей среды, а сам технологический процесс должен соответствовать требованиям качества производства. [1]

Канализационно-насосная станция картонно-бумажного цеха предприятия «Прикамский картон» состоит из следующих технических элементов:

- резервуар для хранения сточных вод;
- фекальный насос СМ150-125-400/4;
- асинхронный двигатель АИР225М4;
- позиционер с пневматическим актуатором;
- поворотный клапан (клапан, который сбрасывает остаточные воды из трубы при закрытии основного).

Объем резервуара для хранения сточных вод составляет около 4,6 кубических метра, а перекачиваемый объем сточных вод составляет примерно 130 кубических метров в час. [2]. Исходя из объема резервуара и объемов перекачиваемых сточных вод, пуск асинхронного двигателя насоса производится примерно 20 раз в течение 1 часа, то есть через каждые 1,5 минуты и длительностью работы в течение 1 минуты. Это подтверждается и проведенным хронометражем.

В процессе эксплуатации канализационно-насосной станции выявлены проблемы,

1. Большие пусковые токи электродвигателей насосов.
2. Частые пуски двигателей и фактически повторно-кратковременный режим работы.
3. Интенсивное ускорение компонентов механических передач.
4. Гидроудары.
5. Отсутствие резервной линии откачки сточных вод посредством насосного оборудования.

Рассмотрим пути решения данных проблем.

В момент пуска электродвигателя насоса из сети потребляется пусковой ток, который может быть в 5-7 раз больше номинального [3]

Точное значение пускового тока для каждого конкретного двигателя можно определить, зная значение кратности пускового тока - $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$.

Кратность пускового тока - одна из технических характеристик двигателя, которую можно найти в паспорте электродвигателя. В таблице приведены технические характеристики асинхронного двигателя, применяемого в насосе канализационной станции.

Таблица - Технические характеристики асинхронного двигателя

Марка	Мощность, кВт	Об/мин.	Номинальный ток, А	КПД, %	cos φ	I _{пуск} /I _{ном}
АИР 225М4	55	1450	110	93	0,87	7,2

Для того чтобы вычислить пусковой ток, воспользуемся следующей формулой:

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном}} * (I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}) \\ I_{\text{пуск}} = 110 * 7,2 = 792 \text{ А.}$$

Таким образом, пусковой ток превышает номинальный более чем в 7 раз. Это приводит к перегреву обмоток двигателя, а также к повышенному энергопотреблению.

Частые пуски двигателей фактически приводят к повторно-кратковременному режиму работы оборудования.

В совокупности с большим пусковым током частый пуск асинхронного двигателя вызывает термические перегрузки обмотки, в результате чего ускоряется процесс старения изоляции обмоток и её повреждения.

Существенной проблемой является интенсивное ускорение компонентов механических передач.

Высокий начальный пусковой момент может привести к значительному толчку и, следовательно, к существенной нагрузке на механизмы электропривода, такие как ремни, муфта или крепления узла подшипника. Это вызывает сокращение их срока службы или полный выход из строя. При останове, как и при пуске, возникают сильные механические вибрации, вызванные переходными процессами.

В условиях повторно-кратковременного режима работы электродвигателя в системе КНС происходят механические вибрации и гидроудары, которые приводят к следующим последствиям:

- изменение свойств материала, из которого выполнены трубы;
- нарушение герметичности трубопровода;
- деформация отдельных участков трубопровода – вплоть до их разрыва;
- разрыв трубопровода, что может нанести вред оборудованию.

Существующая канализационная насосная станция в своем составе имеет лишь один насос. При выходе из строя двигателя или проведении профилактических работ отсутствие резервной линии откачки сточных вод приводит к тому, что сточные воды из резервуара сливаются через ручную задвижку в канализационные лотки. При таком режиме работы повышается процент выбрасываемых отходов, что наносит вред не только технологическому персоналу, но и окружающей среде.

Пути решения вышеописанных проблем включают в себя следующие варианты.

Наиболее простым вариантом является увеличение объема резервуара хранения сточных вод. В этом случае режим работы электродвигателя насоса из повторно-кратковременного переводится в длительный, что позволит увеличить время постоянной работы двигателя. Большие объемы резервуара к тому же снизят риск перелива сточных вод в случае сбоев в работе насоса или системы управления.

Сложностью реализации данного варианта является отсутствие свободного места в помещении насосной станции, что не позволяет установить резервуар большего размера.

Регулирующий клапан в существующей системе является основным управляющим элементом. В зависимости от уровня воды в резервуаре изменяется степень открытия регулирующего клапана. Управляющими данными для клапана являются показания уровнемера. Клапан настроен на средний уровень сточных вод в резервуаре. Насос при таком режиме работы работает постоянно, перекачивая регулируемый клапаном объем сточных вод.

Основным недостатком такого варианта работы является неоправданно большое

энергопотребление, поскольку электродвигатель постоянно работает в номинальном режиме.

Эффективным вариантом снижения пусковых токов электродвигателя является использование устройства плавного пуска двигателя. Используя данное устройство можно добиться следующих результатов.

Пусковые токи могут быть снижены до номинального показателя, что увеличит время безаварийной работы двигателя. К тому же улучшится защита двигателя от сетевых перегрузов, обрывов фаз, скачков сетевого напряжения. Повысится уровень надежности узлов двигателя и элементов, составляющих цепь механической передачи. Заметно снизится мощность гидроударов в системе.

В то же время не решаются проблемы регулирования скорости электродвигателя в зависимости от требований технологического процесса. При увеличении времени запуска может перегреться двигатель, а само устройство плавного пуска может выйти из строя. Плавный пуск двигателя насоса при небольших объемах резервуара существенно повышает риск перелива сточных вод и требует перенастройки системы управления средств автоматики.

Наиболее эффективным методом решения проблем является реализация частотного регулирования электропривода. Безусловно, частотное регулирование имеет целый ряд преимуществ перед всеми другими вариантами решения проблем.

Во-первых, регулирование пусковых токов снижает нагрузку на электродвигатель и соответственно увеличивает рабочий ресурс оборудования.

Во-вторых, плавное регулирование скорости вращения двигателя позволяет оптимизировать процесс перекачки сточных вод, что дает возможность поддерживать определенный уровень в резервуаре в условиях изменения технологического процесса.

В-третьих, снижаются затраты на ремонтные работы и экономится электроэнергия.

Недостатками применения данного метода является относительно высокая стоимость оборудования, а также усложнение процесса управления электродвигателем. Это в свою очередь предопределяет необходимость внедрения автоматической или автоматизированной системы управления технологическим процессом.

На основе анализа вариантов решения проблемы можно сделать выводы, что наиболее рациональными путями являются внедрение оборудования управления электродвигателем посредством устройства плавного пуска или частотного регулирования.

Следует отметить, что помимо внедрения систем управления электроприводом целесообразно выполнить работы по созданию резервной линии откачки сточных вод посредством насосного оборудования.

Список литературы

1. *Корытин А.М.* Автоматизация типовых технологических процессов и промышленных установок: Учебное пособие / А. М. Корытин, Н. К. Петров, С. Н. Радимов; М-во высш. и сред. спец. образ. УССР. Одес. политехн. ин-т. – Одесса, 1976. – 187 с.
2. *Пономарев Н.Ю., Широков А.А.* Модернизация автоматизированной системы управления канализационной насосной станцией // Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: Сб. материалов VI Всероссийской отраслевой научно-практической конференции (23-24 марта 2018 г.) / Уральский государственный лесотехнический университет; – Екатеринбург, 2018. – С. 184-186.
3. *Астапенко, Э.С.* Электрооборудование и электропривод машин: учебное пособие / Э.С. Астапенко, Т.С. Шелехова. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – 124 с.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, Р.Х. Зиятдинов, Р.Х. Шагимуллин, А.Г. Замалиев,
М.А. Мухамедзянов

ЦЕВОЧНАЯ ПЕРЕДАЧА С МАГНИТНОЙ СВЯЗЬЮ

Ключевые слова: цевки; магнитная связь; степень подвижности; магнитное поле; энергоэффективность.

Рассмотрены цевочная передача с магнитной связью и возможности её использования в различных отраслях промышленности, а также в приборах бытовой техники. Дана оценка эффективности работы передачи.

Г.М. Гузаиров

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГРУППЫ ЛОРЕНЦА И РАЗЛОЖЕНИЯ
ФУНКЦИЙ НА C ПО ФУНКЦИЯМ БЕССЕЛЯ

Ключевые слова: представления групп, интегральные преобразования, гипергеометрические ряды, функции Бесселя, преобразования Ганкеля.

Представления группы Лоренца можно реализовать интегральными операторами с помощью разложения функций на C в комплексный интеграл Фурье. Ядра этих интегральных операторов выражаются через гипергеометрические функции Бесселя. Здесь получена новая пара взаимно обратных интегральных преобразований функций на C с этими ядрами.

Г.С. Жукова

СТРУКТУРА АСИМПТОТИКИ РЕШЕНИЙ ОДНОГО КЛАССА
СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: сингулярно возмущенные системы линейных дифференциальных уравнений, структура асимптотики решений по малому параметру, асимптотическая последовательность разложения.

Рассматривается система линейных дифференциальных уравнений с малым параметром при старшей производной. Изучается структура асимптотики решений по параметру. Установлено влияние спектральных свойств операторных коэффициентов на порядки сингулярности решений.

Б.В. Заятуев, Ю.Ю. Нефедов

K-КОНТАКТНАЯ МЕТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НА
КАСАТЕЛЬНОМ СФЕРИЧЕСКОМ РАССЛОЕНИИ

Ключевые слова: почти контактные структуры, K -контактная структура, почти эрмитовы многообразия.

В статье показано, что на касательном сферическом расслоении над двумерным римановым многообразием постоянной гауссовой кривизны, снабженной канонической келеровой структурой, индуцируется K -контактная структура.

А.К. Мордовской, Т.А. Макунина
ОПРЕДЕЛЯЕМОСТЬ АБЕЛЕВЫХ ГРУПП СВОИМИ
ПОДГРУППАМИ

Ключевые слова: почти изоморфизм, s -изоморфизм, t -изоморфизм, корректность абелевой группы, определяемость группы своими подгруппами (собственными подгруппами).

Описана связь корректности и определяемости своими (собственными) подгруппами для некоторых классов абелевых групп, получены критерии корректности для периодически полной p -группы.

Ю.Г. Полкунов, М.Ю. Лобода
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ
ОБЪЕМНЫХ ТРЕЩИН

Ключевые слова: метод разрывных смещений, трещина, напряжения.

Статья посвящена развитию метода разрывных смещений в объемной постановке для трещин ортогональной плоскости OYZ. В работе приведены результаты и анализ расчетов тестовых задач.

V.S. Minkin, R.H. Ziyatdinov, R.Kh. Shagimullin,
A.G. Zamaliev, M.A. Mukhamedzyanov
NETWORK TRANSFER WITH MAGNETIC
RELATIONSHIP

Keywords: bobbins; magnetic coupling; degree of mobility; a magnetic field; energy efficiency.

Magnetic coupling pinion and the possibilities of its use in various industries, as well as in household appliances are considered. Evaluation of the effectiveness of the transfer.

G.M. Guzairov

THE REPRESENTATIONS OF THE LORENTZ GROUP
AND DECOMPOSITION OF FUNCTIONS ON C BY
BESSELS FUNCTIONS

Keywords: representations of group, integral transformations, hypergeometric functions, Bessel functions, Hankel transformations.

Representations of the Lorentz group can be realized by integral operators using the decomposition of functions in C into a complex Fourier integral. The kernels of these integral operators are expressed in terms of the Bessel hypergeometric functions. A new pair of mutually inverse integral transformations of functions on C with these kernels is obtained here.

G.S. Zhukova

STRUCTURE OF ASYMPTOTIC OF SOLUTIONS OF ONE
CLASS OF SINGULARLY PERTURBATION SYSTEMS

Keywords: singularly perturbed systems of linear differential equations, structure of the asymptotic of solutions with respect to a small parameter, asymptotic sequence of expansion.

A system of linear differential equations with a small parameter at the highest derivative is considered. The structure of the asymptotic of solutions with respect to a parameter is studied. The influence of the spectral properties of operator coefficients on the orders of singularity of solutions is clarified.

B.V. Zayatyuev, Y.Y. Nefedov

K-CONTACT STUKTURE ON TANGENT SFERICAL
BUNDLE

Keywords: almost contact structures, K -contact structures, almost Hermitian manifolds.

This article presents the construction of K -structure on the tangent spherical bundle. It is proved that the tangent spherical bundle of manifold of constant Gaussian curvature has a K -structure.

А.К. Мордовской, Т.А. Макунина
DETERMINABILITY OF ABELIAN GROUPS BY THEIR
SUBGROUPS

Keywords: almost isomorphism, s -isomorphism, t -isomorphism, correctness of abelian groups, determinability of abelian groups by their subgroups (their proper subgroups).

In this paper, connections between the correctness of Abelian groups and their determinability by their subgroups (their proper subgroups) are established. Certain criterion of correctness of periodic full p -groups.

Yu.G. Polkunov, M.Yu. Loboda
MATHEMATICAL MODELING OF THE DEVELOPMENT
OF VOLUME CRACKS

Keywords: discontinuous displacement method, crack, tension. The article is devoted to the development of the method of discontinuous displacements in the volume setting for cracks of the orthogonal OYZ plane. The paper presents the results and analysis of the calculation of test problems.

А.С. Рябенко

ПОСТРОЕНИЕ ОДНОГО РЕГУЛЯРИЗАТОРА

Ключевые слова: регуляризатор, задачи с параметрами, эволюционные уравнения, поведение по времени.

Строится регуляризатор, позволяющий уточнять зависимость решений задач для обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами и параметрами, рассмотренных в одномерном полупространстве, от параметров.

К.Э. Сибгатуллин, Э.С. Сибгатуллин

СТРУКТУРНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ БРУСЬЕВ С ИЗОТРОПНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ ИХ СЛОЖНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ.

Ключевые слова: композитные брусья, изотропные компоненты, сложное сопротивление, прочность, параметрические уравнения предельной поверхности.

В работе получены параметрические уравнения предельной поверхности (поверхности прочности) в шестимерном пространстве внутренних силовых факторов (ВСФ). Прочности компонент композиционного материала (КМ) описываются феноменологически; прочностные характеристики композитных брусьев определяются с использованием структурного метода. Используются жесткопластическая модель деформируемого твердого тела, соотношения теории пластического течения, традиционные гипотезы статического и кинематического характеров для брусьев. Предполагается, что перемещения, повороты и деформации малы, а нагрузки – кратковременные статические. Приведены результаты решения ряда задач построения предельных кривых в плоскостях различных ВСФ для поперечного сечения предварительно напряженной железобетонной балки.

Д.А. Пономарев, А.Б. Шейн, С.Н. Шуров

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ 2-АМИНО-1,3-ТИАЗОЛА И 2-АМИНО-1,3,4-ТИАДИАЗОЛА В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ КИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ

Ключевые слова: 2-амино-1,3-тиазол, 2-амино-1,3,4-тиадиазол, коррозия, квантово-химические расчеты, электронная плотность, протонирование.

Показано, что 2-амино-1,3-тиазол значительно эффективнее замедляет коррозию стали в хлороводородной кислоте, чем 2-амино-1,3,4-тиадиазол. Для объяснения этого различия использованы квантово-химические методы расчета структуры исследуемых соединений, также определено изменение рН при реакции исследуемых соединений с эквивалентным количеством хлороводородной кислоты. Установлено, что в тиазольном кольце атом азота несет достаточно большой по модулю отрицательный заряд, в отличие от обоих атомов азота в тиадиазольном кольце, что повышает вероятность протонирования тиазольного кольца. В растворе хлороводородной кислоты поверхность металла адсорбирует хлорид-ионы и заряжается отрицательно, поэтому более протонированный ион с большим положительным зарядом лучше адсорбируется на поверхности металла и показывает больший защитный эффект.

Н.А. Рогожников, Е.Н. Калмыкова

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОСОРБЕНТОВ

Ключевые слова: биосорбенты, гиалуроновая кислота, ионы тяжелых металлов, пьезокварцевые сенсоры.

Проведена оценка сорбционной активности полисахарида гиалуроновой кислоты (гиалуронана) в отношении двухвалентных ионов тяжелых металлов (Pb^{2+} , Cd^{2+}) методом пьезокварцевого микровзвешивания. Показано, что эффективность сорбции ионов свинца гиалуронаном в три раза выше, чем для ионов кадмия.

A.S. Ryabenko

CONSTRUCTION OF ONE REGULARIZER

Keywords: regularizer, problems with parameters, evolution equations, behavior by time.

A regularizer is constructed, which makes possible to specify the dependence of the solutions of problems for ordinary differential equations with variable coefficients and parameters considered in a one-dimensional half-space, on parameters.

K.E. Sibgatullin, E.S. Sibgatullin

STRUCTURAL-PHENOMENOLOGICAL METHOD FOR PREDICTING THE STRENGTH OF COMPOSITE BARS WITH ISOTROPIC COMPONENTS IN THE GENERAL CASE OF THEIR DIFFICULT RESISTANCE.

Keywords: composite bars, isotropic components, complex resistance, strength, parametric equations of the limit surface. In the work, parametric equations of the limiting surface (strength surface) in the six-dimensional space of internal force factors (WSF) are obtained. The strength component of a composite material (KM) are described phenomenologically; strength characteristics of composite bars are determined using the structural method. The rigid plastic model of a deformable solid body, the relations of the theory of plastic flow, traditional hypotheses of static and kinematic characters for bars are used. It is assumed that the displacements, turns and deformations are small, and the loads are short-term static. The results of solving a number of problems of constructing limit curves in the planes of different WSFs for a cross section of a pre-stressed reinforced concrete beam are given.

D.A. Ponomarev, A.B. Shein, S.N. Shurov

COMPARISON OF 2-AMINO-1,3-THIAZOLE AND 2-AMINO-1,3,4-THIADIAZOLE AS ACID CORROSION INHIBITORS FOR STEEL

Keywords: 2-amino-1,3-thiazole, 2-amino-1,3,4-thiadiazole, corrosion, quantum calculations, electronic density, protonation.

2-amino-1,3-thiazole protects against corrosion of steel in hydrochloric acid much more efficiently than 2-amino-1,3,4-thiadiazole. To explain this difference, we used quantum calculations of structure of the compounds, we also defined change of pH after reaction of these compounds with equivalent quantity of hydrochloric acid. We found that in the 1,3-thiazole ring, the nitrogen atom has quite negative charge, in contrast to 1,3,4-thiadiazole ring and it increases the possibility of protonation of the thiazole ring. In the hydrochloric acid solution, the metal surface adsorbs chloride ions and gets a negative charge. A more protonated ion with higher positive charge is better adsorbed on the metal surface and has a better protective effect.

N.A. Rogozhnikov, E.N. Kalmykova

THE APPLICATION OF PIEZOELECTRIC SENSORS TO CHARACTERIZE THE EFFICIENCY OF BIOSORBENTS

Keywords: biosorbents, hyaluronic acid, heavy metal ions, piezoelectric sensors.

The results of the investigation of the possibility of using the piezoquartz microbalance method for determining the sorption characteristics of natural carbohydrate biosorbent hyaluronic acid (hyaluronan) are presented. The efficiency of sorption of heavy metal ions (Pb^{2+} , Cd^{2+}) from aqueous solutions is shown using piezoelectric biosensors.

А.П. Буйносов, А.Р. Динисламов
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ГЛУБИНЫ
ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: локомотив, механическая часть, деталь, закалка, глубина, метод, неразрушающий контроль, совершенствование.

Исследуются вопросы выбора наилучшего материала для призмы пьезоэлектрического преобразователя для разработанного ультразвукового метода контроля глубины поверхностной закалки деталей механической части локомотивов.

С.А. Вологжанина, А.Ф. Иголкин, А.А. Перегудов
ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 30ХМА

Ключевые слова: сварные соединения, сталь 30ХМА, работоспособность.

В работе приведены данные испытаний на ударный изгиб образцов сварных соединений из стали 30ХМА в интервале температур от +20 до +250 °С. Показано, что применение сварных соединений из этой стали при динамическом нагружении следует ограничивать при температурах, близких к 100 °С.

А.В. Завьялов, О.Е. Замураев, Ю.А. Орлов
МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Ключевые слова: станки с ЧПУ, растачивание отверстий, многопроходная обработка, оптимальные режимы резания.

В работе представлены теоретические и практические результаты по управлению режимами резания при растачивании отверстий на станках с ЧПУ. Особое внимание уделено многопроходной обработке. Для которой описывается методика нахождения оптимального плана обработки по критерию максимальной производительности.

О.Е. Замураев, А.В. Завьялов, Ю.А. Орлов
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАКАЛЕННЫХ
СТАЛЕЙ

Ключевые слова: станки с ЧПУ, высокоскоростная обработка, фрезерование, закаленные стали, режимы резания, оптимизация.

В работе представлены результаты решения задачи повышения производительности высокоскоростного фрезерования закаленной стали, путем оптимизации глубины резания, подачи и скорости резания.

А.К. Иванов, И.А. Савватеева
РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В
РАЙОНАХ СЕВЕРА

Ключевые слова: электроснабжение, энергетика, эксплуатационные затраты, закономерность.

По географическому положению климату и освоенности территория Севера подразделяется на районы. Специфические условия рассматриваемой территории обуславливают особенности зоны оказывающие существенное влияние на формирование развитие и функционирование энергоснабжающих систем.

В.Ф. Лапшин, А.П. Буйносов, И.В. Умылин
ЭЛЕМЕНТЫ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ
СТОЛКНОВЕНИЯХ

Ключевые слова: электроподвижной состав, столкновения, защита, пассивность, безопасность, элемент.

В статье приводится анализ требований к элементам пассивной безопасности железнодорожного электроподвижного состава, приводятся вид, конструкции и возможные варианты их размещения. Приводится полученная диаграмма поглощения энергии при соударении головного вагона электропоезда с препятствием.

A.P. Buinosov, A.R. Dinislamov
IMPROVEMENT OF THE METHOD OF DEPTH
HARDENING DETAILS
OF MECHANICAL PARTS OF LOCOMOTIVES

Keywords: locomotive, mechanical part, part, hardening, depth, method, non-destructive testing, improvement.

The questions of choosing the best material for the piezoelectric transducer prism for the developed ultrasonic method of monitoring the depth of surface hardening of the parts of the mechanical part of locomotives are investigated.

S.A. Vologjanina, A.F. Igolkin, A.A. Peregudov
PERFORMANCE EVALUATION OF WELDED JOINTS OF
STEEL 30CrMo

Keywords: welded joints, steel 30CrMo, working capacity.

The paper presents the data of tests on the impact bending of samples of welded joints of steel 30CrMo in the temperature range from +20 to +250 °C. It is shown that the use of welded joints of this steel under dynamic loading should be limited at temperatures close to 100 °C.

A.V. Zavialov, O.E. Zamuraev, U.A. Orlov
METHODS OF IMPROVING THE PERFORMANCE OF
THE BORES ON THE CNC MACHINES

Keywords: CNC machines, boring holes, multi-pass processing, optimal cutting conditions.

The paper presents theoretical and practical results on modeling and control of cutting conditions when boring holes on CNC machines. Special attention is paid to the processing of several technological transitions. For which the method of finding the optimal processing plan by the criterion of maximum performance is described.

O.E. Zamuraev, A.V. Zavialov, U.A. Orlov
OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS
OF HIGH SPEED MILLING OF HARDENED STEELS

Keywords: CNC machines, high speed machining, milling, hardened steel, cutting modes, optimization

This paper presents the results solving the problem of improving the performance of high-speed milling of hardened steel, by optimizing the depth of cut, feed and cutting speed.

A.K. Ivanov, I.A. Savvateeva
THE DEVELOPMENT OF ELECTRICITY SYSTEMS IN
THE NORTH

Keywords: power supply, energy, operating costs, regularity. According to the geographical location of the climate and development of the territory of the North is divided into areas. The specific conditions of the territory under consideration determine the features of the zone that have a significant impact on the formation of the development and functioning of power supply systems.

V.F. Lapshin, A.P. Buinosov, I.V. Umylin
THE PASSIVE SAFETY ELEMENTS FOR PROTECTION
OF ELECTRIC ROLLING STOCK IN COLLISIONS

Keywords: electric rolling stock, collisions, protection, passivity, safety, element.

The article provides an analysis of the requirements for the elements of passive safety of railway electric rolling stock, the type, design and possible options for their placement. The obtained diagram of energy absorption at collision of the head car of the electric train with an obstacle is given.

В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова
ВЫГЛАЖИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕРСТИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Ключевые слова: отделочно-упрочняющая обработка, обработка с ультразвуком.

Рассмотрен метод выглаживания поверхности отверстий с использованием ультразвуковых крутильных колебаний. Приведены математические модели для определения траектории движения инструмента – индентора – по обработанной поверхности в продольном сечении, позволяющие определить регулярность получаемого микрорельефа и степень упрочнения.

Д.П. Салова, Н.В. Носов, А.Ф. Денисенко, В.Н. Гаврилов,
П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, Е.П. Шалунов, С.С. Сайкин,
А.М. Новиков, А.В. Семенов
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЗЕРЕН СИНТЕТИЧЕСКИХ
АЛМАЗОВ И ЭЛБОРА, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ
ШЛИФОВАЛЬНОГО ШЛАМА

Ключевые слова: алмаз, элбор, механизмы изнашивания, дефекты, выделение алмазов и элбора, прочность.

В статье определены плотности распределения, число и размеры зерен, выделенных из шлама и их прочностные свойства. Приведены результаты исследований при алмазном и элборовом шлифовании и хонинговании труднообрабатываемых сталей и других материалов.

Д.П. Салова, С.С. Сайкин, В.В. Плотников, Т.Г. Виноградова,
П.М. Салов, В.С. Григорьев, С.С. Сорокин, А.М. Новиков,
В.Н. Гаврилов, А.В. Семёнов
ИЗНАШИВАНИЕ И ПРИРАБАТЫВАЕМОСТЬ ОТРЕЗНЫХ
АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ

Ключевые слова: схемы разрезки, условия самозатачивания, режимы, механизмы самоорганизации, наладка.

В заготовительном производстве расширяются процессы абразивной резки, разделки, отрезки, зачистки узкими кругами. Основными требованиями к ним является обеспечение работы кругов в режиме полного самозатачивания, что трудно реализуемо из-за недостаточной изученности процессов. В работе представлены исследования в данной области и практические рекомендации.

А.В. Семенов, А.М. Новиков, В.Н. Гаврилов, В.А. Иванов,
Е.И. Артамонов, Д.П. Салова, Т.Г. Виноградова, П.М. Салов
ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ КРОМОК СПИРАЛЬНЫХ
СВЕРЛ

Ключевые слова: способы заточки, спиральное сверло, устройство для заточки, стойкость инструмента, качество заточки.

В статье выполнен анализ способов заточки спиральных сверл. Рассмотрены пути совершенствования качества заточки. Предложена конструкция устройства для заточки спиральных сверл, которая обеспечивает высокое качество обработки. Приведены результаты исследования качества поверхности и стойкости инструмента, заточенного различными способами.

Г.М. Мучкаева, Д.Н. Цивдинов, Х.В. Хантыев, А.Ю. Качаев,
Б.А. Лиджиева

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ
НАПРЯЖЕНИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУР В МАТЕРИАЛАХ ДЕТАЛЕЙ СОЕДИНЕНИЯ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО НАТЯГ

Ключевые слова: посадка с натягом, механическое напряжение, методы измерений, разность температур, жёсткая связь, модуль упругости.

На примере посадки с натягом рассмотрены понятие растягивающей силы и принцип определения механического напряжения, изменяющегося под влиянием температуры. Представлены методика измерения механических напряжений и принцип условного избавления жёстких связей детали для нахождения относительной продольной деформации. Приведена зависимость разности температур от механического напряжения.

V.F. Pegashkin, G.A. Osipenkova
SURFACE DRILLING USING ULTRASONIC TORSIONAL
VIBRATIONS

Keywords: finishing and hardening treatment, treatment with ultrasound.

The method of surface smoothing of apertures using ultrasonic torsional oscillations is considered. The mathematical models for determination of a tool motion trajectory on the treated surface in longitudinal section are given, allowing to determine regularity of the received microrelief and a degree of hardening.

D.P. Salova, N.V. Nosov, A.F. Denisenko, V.N. Gavrilov,
P.M. Salov, T.G. Vinogradova, E.P. Shalunov, S.S. Saykin,
A.M. Novikov, A.V. Semyonov
DETERMINATION OF DURABILITY OF GRAINS OF THE
SYNTHETIC DIAMONDS AND ELBOR EMITTED FROM
GRINDING SLIME

Keywords: diamond, elbor, wear mechanisms, defects, release of diamonds and elbor, durability.

In article distribution densities, number and the sizes of the grains emitted from slime and their strength properties are defined. Results of researches at diamond and elborovy grinding and honing of the hardly processed staly and other materials are given.

D.P. Salova, S.S. Saykin, V.V. Plotnikov, T.G. Vinogradova,
P.M. Salov, V.S. Grigoriev, S.S. Sorokin, A.M. Novikov,
V.N. Gavrilov, A.V. Semyonov

WEAR AND PRIRABATYVAYEMOST OF DETACHABLE

Keywords: schemes of cutting, self-sharpening condition, modes, self-organization mechanisms, adjustment.

In procuring production processes of abrasive cutting, cutting, pieces, cleaning by narrow circles extend. The main requirements to them is ensuring work of circles in the mode of full self-sharpening that is difficult realizable because of insufficient study of processes. In work researches in the field and practical recommendations are presented.

A.V. Semyonov, A.M. Novikov, V.N. Gavrilov, V.A. Ivanov,
E.I. Artamonov, D.P. Salova, T.G. Vinogradova, P.M. Salov
FORMATION OF THE CUTTING EDGES OF SPIRAL
DRILLS

Keywords: ways of sharpening, a spiral drill, the device for sharpening, firmness of the tool, quality of sharpening.

In article is made sharpening of spiral drills. Considered ways of improvement quality of sharpening. The device design for sharpening of spiral drills which provides higher quality of processing is offered. Results of a research of quality of a surface and firmness of the tool ground in various ways are given.

G.M. Muchkaeva, D.N. Zivdinov, X.V. Hantiev, A.Yu.
Kachaev, B.A. Lidzhieva

METHODS DEFINITIONS MECHANICAL STRESS
CAUSED BY THE INFLUENCE OF TEMPERATURE
CHANGE IN THE MATERIAL DETAILS OF THE JOINTS
FOR TIGHTNESS

Keywords: landing with tension, stress, methods of measurement, the temperature difference, the rigid link modulus of elasticity.

The concept of tensile force and the principle of determining the mechanical stress changing under the influence of temperature are considered on the example of a tight fit. The method of measurement of mechanical stresses and the principle of conditional disposal of rigid part bonds for finding the relative longitudinal deformation are presented. The dependence of the temperature difference on the mechanical stress is given.

В.В. Паничев, Н.А. Соловьев, А.М. Семенов
АЛГОРИТМ НАКОПЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ
СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ФОНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ключевые слова: некоррелированная копия, каскад накопления, оптимальный фильтр, сигнал искусственного шума.

В работе рассматривается алгоритм накопления импульсов в шумах, основанный на увеличении числа значений входного сигнала значениями искусственного шума, предложена модель схемы приемника с каскадной схемой накопления сигнала, представлены результаты оценки способа накопления сигналов, полученные с помощью имитации.

П.В. Писарев, К.А. Максимова
ВЗАИМОВЛИЯНИЕ РЕЗОНАТОРОВ ПРИ НОРМАЛЬНОМ
ПАДЕНИИ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

Ключевые слова: звукопоглощающие конструкции, резонатор Гельмгольца, взаимодействие, нормальное падение звуковой волны, коэффициент потери акустического давления, численное моделирование.

В рамках настоящей работы представлены результаты численного моделирования нормального распространения звуковой гармонической волны в интерферометре с сотовыми резонаторами Гельмгольца. Выявлено взаимодействие близко расположенных сотовых резонаторов при нормальном падении звуковой волны. Установлено, что акустическая эффективность пары резонаторов при совместной работе ниже, чем у одиночного резонатора.

Ф.Ф. Рамазанов, И.Ф. Рамазанов
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ И ГАЗА ЛАЗЕРНЫМ
ДОПЛЕРОВСКИМ АНЕМОМЕТРОМ

Ключевые слова: лазерный доплеровский анемометр, измерительный объем, светорассеивающие частицы, доплеровский сдвиг частоты.

В статье рассматривается применение лазерного доплеровского анемометра для бесконтактного измерения параметров потоков жидкости и газа с высокой степенью турбулентности. В ходе метрологических испытаний автоматизированной системы измерения доплеровского сдвига частоты установлено, что метод лазерного доплеровской анемометрии позволяет определить скорость потока с достаточно высокой точностью.

М.К. Седанкин, И.В. Нелин, С.А. Хворостов, М.С. Хворостов,
В.А. Скуратов, С.Д. Мерцалов
ЭЛЕКТРОННЫЕ МИНИРОБОТЫ И ЭНДОГЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

Ключевые слова: мини-роботы, медицинская робототехника, эндогенный электрофорез, импульсная электротерапия.

Рассмотрено применение в медицине мини-робота, создающего процессы электрофореза внутри организма человека. Мини-робот специальными импульсами стимулирует слизистые оболочки желудочно-кишечного тракта, перемещаясь в организме за счёт естественной перистальтики кишечника. Для оценки противоопухолевых свойств импульсной электротерапии проведены исследования туморцидной эффективности мини-робота в культурах опухолевых клеток. Исследования показали, что мини-робот значительно повышает резистентность организма к опухолям, обладает противоопухолевым эффектом, а также резко усиливает эффект химиотерапевтических препаратов.

М.К. Седанкин, И.В. Нелин, С.А. Хворостов, М.С. Хворостов,
В.А. Скуратов, С.Д. Мерцалов, М.С. Виноградов
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ПАЦИЕНТОВ С
ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ МИНИРОБОТОВ

Ключевые слова: мини-роботы, медицинская робототехника, эндогенный электрофорез, импульсная электротерапия. Рассмотрено применение в медицине электронного

V.V. Panichev, N.A. Solovyov, A.M. Semyonov
ALGORITHM OF ACCUMULATION OF OPTICAL PULSE
SIGNALS IN THE CONDITIONS OF BACKGROUND
RADIATIONS

Keywords: uncorrelated copy, accumulation cascade, optimum filter, signal of artificial noise.

In work the algorithm of accumulation of impulses in noise based on increase in number of values of an entrance signal by values of artificial noise is considered, the model of the scheme of the receiver with the cascade scheme of accumulation of a signal is offered, the results of assessment of a way of accumulation of signals received by means of imitation are presented.

P.V. Pisarev, K.A. Maksimova
INTERACTION OF RESONATORS DURING NORMAL
DROP OF SOUND WAVE

Keywords: sound-absorbing structures, Helmholtz resonator, normal sound wave fall, acoustic pressure loss coefficient, numerical simulation.

This paper presents the results of numerical simulation of the normal propagation of a sound harmonic wave in an interferometer with Helmholtz cell resonators. Identified the mutual influence of closely located cell resonators at normal incidence of the sound wave. It is found that the acoustic efficiency of a pair of resonators when working together is lower than that of a single resonator.

F.F. Ramazanov, I.F. Ramazanov
EVALUATION OF THE ACCURACY OF
MEASUREMENTS OF PARAMETERS OF GAS AND
LIQUID FLOWS LASER DOPPLER ANEMOMETER

Keywords: laser Doppler anemometer, measuring volume, light scattering particles, Doppler frequency shift.

The article discusses the use of laser Doppler anemometer for non-contact measurement of liquid and gas flow parameters with a high degree of turbulence. During the metrological tests of the automated system for measuring the Doppler frequency shift, it was found that the method of laser Doppler anemometry makes it possible to determine the flow rate with a sufficiently high accuracy.

M.K. Sedankin, I.V. Nelin, S.A. Khvorostov, M.S. Khvorostov,
V.A. Skuratov, S.D. Mertsalov
ELECTRONIC MINIATURE ROBOTS AND
ENDOGENOUS ELECTROPHORESIS

Keywords: miniature robots, medical robotics, endogenous electrophoresis, pulsed electrotherapy

The use of a miniature robot in medicine that creates electrophoresis processes inside the human body is considered. Miniature robot special impulses stimulates the mucous membranes of the gastrointestinal tract, moving in the body due to the natural intestinal motility. To assess the antitumor properties of pulsed electrotherapy, studies of the tumoricidal efficacy of a mini-robot in tumor cell cultures have been conducted. Studies have shown that mini-robots increase the body's resistance to tumors, have an antitumor effect, and also enhance the effect of chemotherapeutic drugs.

M.K. Sedankin, I.V. Nelin, S.A. Khvorostov, M.S. Khvorostov,
V.A. Skuratov, S.D. Mertsalov, M.S. Vinogradov
IMPROVING THE QUALITY OF LIFE OF PATIENTS BY
ELECTRONIC MINIATURE ROBOTS

Keywords: miniature robots, medical robotics, endogenous electrophoresis, pulsed electrotherapy

The use in medicine of an electronic miniature robot that

минирующая, стимулирующего желудочно-кишечный тракт организма человека, перемещающегося за счёт активации естественной перистальтики кишечника. Выполнены исследования влияния минирующей на состояние углеводного и липидного обмена пациентов, имеющих сахарный диабет. Установлено, что использование данных мини-роботов в комплексной терапии сахарного диабета сопровождается улучшением компенсации, что подтверждается пролонгированным снижением уровня гликированного гемоглобина, повышением уровня иммунореактивного инсулина и холестерина ЛПВП, снижением уровня общего холестерина, триглицеридов и холестерина ЛПНП. ф

А.Г. Шляхова, А.Т. Шляхов, Л.А. Гайнулова
КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Ключевые слова: калориметрия, анизотропный термоэлемент, диэлектрические потери, резонанс.

Показано, что калориметрический способ измерения диэлектрических потерь способен регистрировать минимальное значение $\operatorname{tg} \delta$ на уровне 10^{-4} . В качестве теплового сенсора применена батарея из анизотропных термоэлементов (АТЭ) из висмута. Калориметрическим методом получена резонансная зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от частоты внешнего электрического поля.

М.А. Аль-Аскари, В. В. Афонин
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ
ИСКАЖЕНИЙ НА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ И СО
СТРОБ ЭФФЕКТАМИ

Ключевые слова: алгоритм, цифровая обработка изображений, оценка качества, детектирование границ методами Канни и Превитта.

Приводится алгоритм неререференсной оценки качества растровых изображений с возможными искажениями типа строб-эффектов. Эксперименты показали достаточно высокую скорость обработки изображений предлагаемым алгоритмом. Алгоритм реализован на методах выделения границ Канни и Превитта. Проведен анализ работы совместно с существующими алгоритмами NIQE и BRISQUE. Для двух групп изображений предлагаемый алгоритм превосходит NIQE и BRISQUE.

Д.А. Безуглов, С.Е. Мищенко, В.В. Шацкий, В.И. Юхнов
МЕТОД АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО СИНТЕЗА ЛИНЕЙНОЙ
АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФУНКЦИОНАЛА

Ключевые слова: синтез линейной антенной решетки, итерационный процесс, сглаживающий функционал.

Предложен метод амплитудно-фазового синтеза линейной антенной решетки по заданной амплитудной диаграмме направленности, основанный на минимизации сглаживающего функционала. Проведен сопоставительный анализ предложенного метода и методов аппроксимационного синтеза. Показано, что сглаживающий функционал позволяет уменьшить неравномерность характеристики направленности в области главного луча и снизить уровень боковых лепестков.

Д.А. Булашов, И.Н. Сидоров
АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОТСТРОЙКИ
КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ВАЛОПРОВОДА
ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Ключевые слова: валопровод газоперекачивающего агрегата, критические частоты, динамические характеристики сегментных подшипников скольжения, параметры муфт трансмиссии, нейросетевые технологии, поверхности регрессии, генетический алгоритм.

В статье представлено решение задачи поиска конструктивных решений для отстройки критических частот валопровода газоперекачивающего агрегата за счет изменения параметров муфт трансмиссии, динамических характеристик опорных сегментных подшипников скольжения компрессора, небольшого увеличения/уменьшения массы колес компрессора

stimulates the gastrointestinal tract of the human body moving through the natural intestinal motility is considered. Studies of the effect of miniature robots on the state of carbohydrate and lipid metabolism of patients with diabetes mellitus were performed. It has been established that the use of these mini-robots in the complex treatment of diabetes mellitus is accompanied by an improvement in compensation, as evidenced by a decrease in glycated hemoglobin level, an increase in the level of immunoreactive insulin and HDL cholesterol, a decrease in total cholesterol, triglycerides and LDL cholesterol.

A.G. Shlyakhova, A.T. Shlyakhov, L.A. Gainulova
CALORIMETRIC METHOD FOR THE DIELECTRIC LOSS

Keywords: calorimetry, thermal, flow sensor, the dielectric loss, resonance.

It is shown that the calorimetric method of measuring dielectric losses is able to register the minimum value of $\operatorname{tg} \delta$ at the level of 10^{-4} . As a thermal sensor, a battery of anisotropic thermal elements (ATE) from bismuth is used. The resonance dependence of $\operatorname{tg} \delta$ on the frequency of the external electric field was obtained by the calorimetric method field.

М.А. Al-Askari, V.V. Afonin
DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR ASSESSMENT OF
THE LEVEL OF DISTORTION ON RASTER IMAGES AND
STROBE EFFECTS

Keywords: algorithm, digital image processing, quality assessment, detection of borders by Canny and Prewitt methods.

An algorithm for non-reference evaluation of the quality of bitmap images with possible strobe-type distortions is given. Experiments have shown a sufficiently high speed of image processing by the proposed algorithm. The algorithm is implemented using Canny and Prewitt boundary selection methods. The analysis of work together with existing NIQE and BRISQUE algorithms is carried out. For two groups of images, the proposed algorithm is superior to NIQE and BRISQUE.

D.A. Bezuglov, S.E. Mishchenko, V.V. Shatsky, V.I. Yuhnov
METHOD OF AMPLITUDE-PHASE SYNTHESIS OF
LINEAR ANTENNA ARRAY USING THE SMOOTHING
FUNCTIONAL

Keywords: synthesis of linear antenna array, iterative process, smoothing functional

The proposed method of amplitude-phase synthesis of linear antenna array according to the given amplitude radiation pattern, based on the minimization of the smoothing functional. A comparative analysis of the proposed method and methods of approximation synthesis is carried out. It is shown that the smoothing functional can reduce the unevenness of the directional characteristics in the main beam and reduce the level of the side lobes.

D.A. Bulashov, I.N. Sidorov
ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS FOR THE
DETUNING OF THE CRITICAL FREQUENCIES OF THE
SHAFT OF GAS-PUMPING UNIT

Keywords: gas compressor unit shaft, the critical frequency, the dynamic characteristics of the segmental sliding bearings, the parameters of couplings of the transmission, neural network technology, surface regression, genetic algorithm.

The article presents the solution to the problem of finding constructive solutions for the detuning of the critical frequencies of a shaft of the gas compressor unit by changing the settings of the clutches of the transmission, the dynamic characteristics of the reference segmental sliding bearings of the compressor, small increase/decrease the mass of the wheels of the compressor by replacing the material. The solution of the

путем замены материала. Решение исходной задачи сводится к решению задачи минимизации целевой функции - амплитуды виброперемещений упругой линии валопровода в диапазоне частот, превышающим рабочий, в пространстве варьируемых параметров.

А.Р. Ванев

ОСОБЕННОСТИ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ МНОЖЕСТВЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПО ТРЕБОВАНИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: информационная безопасность, классификация информационных систем, множественная классификация, организационные меры защиты информации.

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению особенностей и порядка проведения работ при осуществлении классификации информационных и автоматизированных систем по требованиям безопасности информации с учетом необходимости одновременного применения различных методик классификации, в соответствии с составом обрабатываемой информации.

Л.А. Галиуллин, Е.В. Зубков, А.Н. Илюхин, А.Х. Тазмеев,
И.А. Галиуллин

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ

Ключевые слова: сайт, веб, программирование, интернет, сеть. Спроектирована автоматизированная информационная система на базе веб-технологий. Сайт спроектирован так, что находясь на любой странице, пользователь может выбрать необходимый ему раздел. Возможность попасть в любое место сайта, несмотря на свое местонахождение в нем, упрощает навигацию, делая ее удобной и понятной.

Р.Н. Голых, В.Н. Хмельев, А.В. Шалунев, Р.А. Лопатин,
В.Д. Минаков

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЁТА СКОРОСТИ ГЕТЕРОГЕННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В КАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ, СОЗДАВАЕМОМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Ключевые слова: программный модуль, численный расчёт, производительность, кавитация, химическая реакция, ультразвук.

В работе представлено описание и обоснование структуры программного модуля для расчёта скорости гетерогенной химической реакции «жидкость-твёрдое тело» на единицу площади поверхности раздела. Созданный программный модуль впервые позволил рассчитать оптимальные режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие максимальную скорость гидролиза на единице поверхности раздела «порошковая целлюлоза-смесь воды с катализатором».

Л.Н. Горбушин, Н.Е. Конева ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Ключевые слова: Центр обработки данных, вычисления, высокопроизводительные системы.

В статье проведены тенденции развития воспроизводительных вычисленных систем в центрах обработки данных и особенности их реализации.

Т.А. Деменкова, Ф.А. Игнатьев АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ключевые слова: предварительная обработка цифровых изображений, алгоритмы фильтрации, матрица свертки.

Представлены результаты исследований основных методов обработки и фильтрации цифровых изображений. Проанализированы проблемы использования готовых решений и предложена методика, позволяющая расширять, оптимизировать и распараллеливать процесс обработки.

initial problem is reduced to solving the problem of minimizing the objective function - the amplitude of vibration displacements of the elastic line of the shaft line in the frequency range exceeding the operating one in the space of varied parameters.

A.R. Vanev

SPECIAL FEATURES AND PROCEDURE FOR CONDUCTING MULTIPLE CLASSIFICATION OF INFORMATION AND AUTOMATED SYSTEMS FOR INFORMATION SECURITY REQUIREMENTS

Keywords: information security, classification of information systems, multiple classification, organizational security measures.

In this paper, we present the results of studies to determine the features and order of work in the classification of information and automated systems for information security requirements, taking into account the need for simultaneous use of various classification techniques, in accordance with the composition of the processed information.

L.A. Galiullin, E.V. Zubkov, A.N. Iljuhin, A.H. Tazmееv,
I.A. Galiullin

METHOD OF DESIGNING AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM ON THE BASIS OF WEB TECHNOLOGIES

Keywords: website, web, programming, internet, network. An automated information system based on web technologies was designed. The site is designed so that being on any page, the user can select the section he needs. The ability to get to any place of the site, despite its location in it, simplifies navigation, making it convenient and understandable.

R.N. Golykh, V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.A. Lopatin,
V.D. Minakov

PROGRAM FOR CALCULATION FOR HETEROGENEOUS CHEMICAL REACTION RATE IN CAVITATION FIELD BEING CREATED BY ULTRASONIC OSCILLATIONS

Keywords: program, numerical calculation, performance, cavitation, chemical reaction, ultrasonic.

The work presented description and justification of structure of program unit for calculating the rate of heterogeneous chemical reaction "liquid-solid" per unit of interface. The program unit which has been created made it possible to calculate the optimal modes of ultrasound exposure, ensuring the maximum hydrolysis rate on unit of interface "powder cellulose – water-catalyst mixture".

L.N. Gorbushin, N.E. Koneva HIGH PERFORMANCE SYSTEMS IN DATA CENTERS

Keywords: data center, compute, high performance systems. The article concerns development trends of high performance systems in data centers and features of their implementation.

T.A. Demenkova, Ph.A. Ignatyev ANALYSIS OF METHODS OF DIGITAL IMAGE PROCESSING

Keywords: digital image preprocessing, filtering algorithms, convolution matrix.

The results of studies of the main methods of processing and filtering of digital images are presented. The problems of using ready-made solutions are analyzed and a technique is proposed that allows to expand, optimize and parallelize the image processing procedure. The algorithm and software are

Разработаны алгоритм и программное обеспечение для практической оценки методов предварительной обработки цифровых изображений на основе усредняющих фильтров.

В.В. Кукарцев

КАНОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: Основные производственные фонды, система, свойства, модель, входы и выходы.

Построена каноническая модель процесса воспроизводства ОПФ предприятия. Рассмотрены материальные входы подсистем ОПФ машиностроительного предприятия. Рассмотрена структура ОПФ машиностроения.

А.Ю. Логинов, А.Е. Розенбаум ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ О СОСТАВАХ ИЗДЕЛИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ PDM И ERP МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: состав изделия, интеграция данных, PDM, ERP, вариантный состав.

В работе описаны сложные случаи, не позволяющие осуществить напрямую интеграцию данных о конструкторском, технологическом и производственных составах изделий информационных системах машиностроительного предприятия. Предложены рекомендации по раскрытию вариантного состава изделия, а также способ интеграции материалов, покупных и стандартных элементов, использующихся в PDM- и в ERP-системах при помощи отношения «многие ко многим», реализованного через добавление номенклатурных номеров к материалам, покупным и стандартным элементам, хранящимся в ERP-системе. Сделаны выводы о том, что предложенный способ позволяет решить ряд проблем, возникающих при интеграции данных о составах изделий внутри информационных систем предприятия.

Н.П. Мошуров, И.А. Щудро, Ю.Д. Фот ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ЛОКАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Ключевые слова: персональные данные, защита, технологии, сеть.

В статье представлен анализ технологий защиты персональных данных в локальных и глобальных сетях, который позволит выявить основные проблемы и обозначить тренды их решения в будущем. В качестве локальной сети рассмотрена корпоративная информационная система, ее структура, требования к технологиям защиты персональных данных, а также выделены их обязательные составляющие (аппаратная составляющая, программная и административно-нормативная). Изучение особенностей указанных элементов позволило сделать вывод, что они также должны применяться и при защите персональных данных в глобальных сетях. Отличительные черты обеспечения информационной безопасности на глобальном уровне проанализированы на примере облачных технологий CSA, ENISA, NIST с помощью сравнения их технологических возможностей.

Н.А. Мунасыпов ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА В СИСТЕМЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Ключевые слова: оптимальный признак, информативность признака, признаковое пространство, система распознавания, ресурсные ограничения.

В работе рассмотрена задача построения оптимального признакового пространства в системе распознавания; при этом предполагается, что имеются ресурсные ограничения, предназначенные для определения значений признаков. Предложен алгоритм выделения наиболее существенных признаков, учитывающий соотношение между информативностью признака, определяемой на основе близости

developed for practical evaluation of digital image preprocessing methods based on averaging filters.

V.V. Kukarcev

CANONICAL MODEL OF FIXED PRODUCTION ASSETS REPRODUCTION

Keywords: basic production assets, system, properties, model, inputs and outputs.

In this article, the canonical model of the process of reproduction of the OPF of the enterprise is built. The material inputs of the OPF subsystems of a machine-building enterprise are considered. The structure of the OPF of engineering are considered.

A.Y. Loginov, A.E. Rozenbaum MACHINE-BUILDING ENTERPRISE PDM-ERP PRODUCT STRUCTURE DATA INTEGRATION

Keywords: product structure, data integration, PDM, ERP, product structure with variants.

Complex cases which arise during the data integrating procedures from the design, technological and production structures of products between information systems of a machine-building enterprise that do not allow for the integration of data between information systems are described. Authors make recommendations on the clarification of the variant product structure, as well as the method of integration of materials, purchased and standard elements used in PDM and ERP systems with "many-to-many" relationship, implemented through the adding of item codes to purchased materials and standard elements from the ERP-system. It's possible to make conclusions that the proposed method allows to solve a number of problems that arise during the integration of product structure data within the enterprise information systems.

N.P. Moshurov, I.A. Chudro, Yu.D. Fot PROTECTION OF PERSONAL DATA IN LOCAL AND GLOBAL NETWORKS

Keywords: personal data, protection, technologies, network.
The article presents an analysis of data protection technologies in local and global networks, which will identify key issues and to identify trends in their solutions in the future. As a local network is considered corporate information system, its structure, the requirements for data protection technology as well as highlighted their obligatory components (hardware, software, administrative and regulatory components). Study of features of these elements led to the conclusion that they must also be applied in the protection of personal data on global networks. The distinctive features of information security at the global level are analyzed on the example of cloud technologies CSA, ENISA, NIST by comparing their technological capabilities.

N.A. Munasypov CONSTRUCTION OF OPTIMAL SIGNATURE SPACE IN THE RECOGNITION SYSTEM WITH RESOURCE LIMITATIONS

Keywords: optimal attribute, informative character, attribute space, recognition system, resource constraints.

The paper considers the problem of constructing the optimal attribute space in the recognition system; it is assumed that there are resource constraints designed to determine the values of attributes. An algorithm is proposed for extracting the most essential features, taking into account the relationship between the information content of a feature, determined on the basis of proximity between objects, and the cost of resources required to determine the corresponding feature.

между объектами, и затратами ресурсов, необходимых для определения соответствующего признака.

И.П. Осинин, В.Ю. Симаков, С.А. Макаров, А.С. Абрамова
ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МОДУЛЯРНО-
ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ СОПРОЦЕССОР,
ИНТЕГРИРОВАННЫЙ В СОФТ-ПРОЦЕССОР

Ключевые слова: остаток, логарифм, система счисления, NIOS. Цель исследования состоит в повышении скорости выполнения арифметических операций путём интеграции разработанного сопроцессора в софт-процессор. Результатом является многократно возросшая скорость выполнения векторных арифметических операций над вещественными числами. Например, скорость вычисления арктангенса возросла в 13.6 по сравнению со стандартным расширением NIOS для обработки чисел с плавающей точкой при десятикратно возросших аппаратных затратах для реализации вычислительного устройства.

И.П. Осинин, В.Ю. Симаков, С.А. Макаров, А.С. Абрамова
ОТКАЗООУСТОЙЧИВЫЙ МОДУЛЯРНО-
ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ СОПРОЦЕССОР,
ИНТЕГРИРОВАННЫЙ В СОФТ-ПРОЦЕССОР

Ключевые слова: остаток, логарифм, система счисления, NIOS. Работа направлена на решение актуальной проблемы высоконадежных вычислений. Предметом исследования является микропроцессорная система на базе ПЛИС, включающая софт-процессор NIOS и сложнофункциональный блок сопроцессора, функционирующего в перспективной модулярно-логарифмической системе счисления, объединяющей преимущества системы остаточных классов и логарифмической системы счисления.

А.М. Пищухин, Г.Ф. Ахмедьянова, З.С. Стародубцева,
РЕГУЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА
В ПОМЕЩЕНИИ НА ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНОГО
УПРАВЛЕНИЯ КРАТНОСТЬЮ ВОЗДУХООБМЕНА

Ключевые слова: активность радона, кратность воздухообмена (КВО), скорость поступления радона, метод Эйлера-Лагранжа, функционал Летова.

Работа посвящена постановке и решению задачи оптимального управления уровнем концентрации радона в помещении на основе изменения кратности воздухообмена. Объект управления описывается дифференциальным уравнением радоновой активности. Рассматривается два случая: постоянный приток радона в помещение и приток, изменяющийся по гармоническому закону. Решение сведено к системе двух нелинейных дифференциальных уравнений. Результаты получены численным методом. Показано, что в первом случае по окончании переходного процесса концентрация радона выходит на установившийся уровень, во втором - управляющее воздействие становится гармоническим.

Н.А. Соловьев, А.М. Семенов, В.В. Паничев, А.М. Горюнова
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В
СФЕРЕ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА ЗДАНИЙ И
СООРУЖЕНИЙ

Ключевые слова: информационные процессы в сфере ЖКХ, ремонт зданий и сооружений, технологии искусственного интеллекта.

Обоснована актуальность разработки интеллектуальной СППР в предметной области, характеризующейся нечеткой информацией. Представлена архитектура СППР, реализованная методами искусственного интеллекта, обеспечивающая поддержку процессов планирования капитальных ремонтов зданий и сооружений.

I.P. Osinin, V.Yu. Simakov, C.A. Makarov, A.S. Abramova
HIGH-SPEED RESIDUE-LOGARITHMIC COPROCESSOR
INTEGRATED IN SOFT-PROCESSOR

Keywords: IP-block, residue, logarithm, number system, NIOS. The purpose of the study is to increase the speed of performing arithmetic operations by integrating the developed coprocessor into a soft processor. The result is a multiply increased rate of performing vector arithmetic operations on real numbers. For example, the speed of calculating the arctangent increased in the 13.6 compared to the standard NIOS extension for handling floating-point numbers at a ten-fold increase in hardware costs for implementing a computing device.

I.P. Osinin, V.Yu. Simakov, C.A. Makarov, A.S. Abramova
FAILOVER RESIDUE-LOGARITHMIC COPROCESSOR
INTEGRATED IN SOFT-PROCESSOR

Keywords: IP-block, residue, logarithm, number system, NIOS. The work is aimed at solving the actual problem of highly reliable calculations. The subject of the research is a FPGA-based microprocessor system, which includes the NIOS soft processor and a complex-functional coprocessor unit operating in the advanced modular-logarithmic number system, combining the advantages of the residual class system and the logarithmic number system.

A. M. Peshchukhin, G. F. Akhmedyanova, Z.S. Starodubzeva
REGULATION OF RADON CONCENTRATION
IN THE PREMISES ON THE BASIS OF OPTIMAL
AIR EXCHANGE MANAGEMENT

Keywords: radon activity, air exchange rate, radon inflow rate, Euler-Lagrange method, Letov functional.

The work is devoted to the formulation and solution of the problem of optimal control of the level of radon concentration in the room on the basis of changes in the air exchange rate. The control object is described by the differential equation of radon activity. Two cases are considered: a constant inflow of radon into the room and an inflow changing according to the harmonic law. The solution is reduced to a system of two nonlinear differential equations. The results are obtained by a numerical method. It is shown that in the first case, at the end of the transition process, the radon concentration reaches a steady-state level; in the second case, the control action becomes harmonic.

N.A. Solovyov, A.M. Semyonov, V.V. Panichev,
A.M. Goryunova
AUTOMATION OF DECISION-MAKING PROCESS IN TO
THE SPHERE OF THE ORGANIZATION OF REPAIR OF
BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Keywords: the organizations of repair of buildings and constructions, information processes in ZhKH-service, the intellectual system of support of decision-making, technology of artificial intelligence.

The relevance of development of intellectual SPPR in the subject domain which is characterized by indistinct information is proved. The architecture of SPPR realized by methods of artificial intelligence, providing support of processes of planning of capital repairs of buildings and constructions is presented.

А.Э. Сопин, Я.И. Шамлицкий, С.Н. Мироненко, Н.В. Ковбаса,
Е.Л. Вайтекунене

**ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФИКА ПЛАНОВО-
ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С
ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

Ключевые слова: генетический алгоритм, планово-
предупредительный ремонт, техническое обслуживание.

В статье рассмотрен метод решения задачи оптимизации графика планово-предупредительного ремонта с помощью генетического алгоритма. Описаны преимущества генетического алгоритма перед классическими методами оптимизации.

И.В. Сосновский, О.А. Билоус
**МОДЕРНИЗАЦИЯ ШАХТНОЙ ВАКУУМНОЙ ГАЗОВОЙ
ПЕЧИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Ключевые слова: автоматизация, электронагреватель сопротивления шахтной вакуумной газовой печи, программируемый логический контроллер.

Рассмотрена схема автоматизации для модернизации электронагревателя сопротивления шахтной вакуумной газовой печи (СШВГП). Перечислены функции системы автоматического управления технологическим процессом (АСУ ТП). Разработана трехуровневая система контроля и регулирования с применением современных технических средств (контроллера Modicon TSX Premium). Осуществлен выбор оборудования всех уровней автоматизации, позволяющий произвести интеграцию в существующую систему телеметрии.

Ш.А. Хамадеев, Т.Н. Каримов, А.М. Подлесных
**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ
МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ**

Ключевые слова: база данных, геоинформационная система, автоматизация логистики, мобильный терминал, аффинные преобразования.

В статье описана методика формирования данных для вывода их на мобильном терминале геоинформационной системы. Методика основана на функциональном подходе и описывает декомпозицию операций, позволяющих вывести на экран мобильного терминала необходимую для пользователя информацию. На основе предложенной методики осуществляется формирование необходимого и достаточного объема пространственных данных; данных по состоянию транспортного средства и наложение этих данных на экран мобильного терминала.

А.А. Широков, Н.Ю. Пономарев
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ В
БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Ключевые слова: электродвигатель, насос, частотное регулирование, устройство плавного пуска электродвигателя. *В статье рассматриваются пути повышения эффективности и надежности использования специализированной насосно-канализационной станции в бумагоделательном производстве. Рассмотрены основные проблемы, возникающие в процессе эксплуатации оборудования. Предложены способы их реализации.*

A.E. Sopin, Ya.I. Shamlicky, S.N. Mironenko, N.V. Kovbasa,
E.L. Vaitekunene

**GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION OF THE
PREVENTIVE MAINTENANCE SCHEDULE OF ENERGY
EQUIPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

Keywords: genetic algorithm, preventive repair, maintenance. The article describes a method for solving the problem of optimizing the schedule of preventive maintenance using a genetic algorithm. The advantages of the genetic algorithm over the classical optimization methods are described.

I.V. Sosnovskij, O.A. Bilous
**MODERNIZATION OF SHAFT VACUUM-GAS
FURNACES FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITE
MATERIALS**

Keywords: automation, electric resistance of mine vacuum gas furnace, programmable logic controller.

The scheme of automation for the modernization of the electric resistance vacuum shaft furnace gas is considered. The functions of the automatic process control system (APCS) are listed. A three-level system of control and regulation with the use of modern technical means (Modicon TSX Premium controller) was developed. The choice of the equipment of all levels of automation allowing to make integration into the existing telemetry system is carried out.

Sh.A. Khamadeev, T.N. Karimov, A.M. Podlesnyh
**DATA FORMATION TECHNIQUE FOR
GEOINFORMATIONAL SYSTEM MOBILE TERMINAL**

Keywords: database, geoinformation system, logistics automation, mobile terminal, affine transformations.

The article describes the method of forming data for displaying them on a mobile terminal of a geographic information system. The technique is based on the functional approach and describes the decomposition of operations that allow displaying useful information to the mobile terminal. The technique describes the formation of a sufficient amount of spatial data; data on the state of the vehicle and the imposition of these data on the screen of the mobile terminal.

A.A. Shirokov, N.Yu. Ponomarev
**IMPROVEMENT OF WATER RESPONSE SYSTEM IN
PAPER MANUFACTURING**

Keywords: electric motor, pump, frequency control, soft starter motor.

The article discusses ways to improve the efficiency and reliability of the use of specialized pumping and sewage stations in papermaking. The main problems arising during equipment operation are considered. Ways of their implementation are proposed.

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" и ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№4 2019

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 22.03.2019 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

10,9 усл.печ.л. 12,5 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1930.

Учредитель: ООО «Научно-технический вестник Поволжья»

420021, Республика Татарстан, Казань,

ул. З.Султана, д.17а, оф. 19

Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя

Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»