

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№12 2020

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2020**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №12 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 270 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

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» № E12025.

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.; 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

© Рашин Сайнс, 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, Е.С. Воробьев, А.К. Мезиков, Р.Х. Шагимуллин</i> МЕТОДОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОРЫВНЫХ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКИХ И БИТУМНЫХ НЕФТЕЙ	11
05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>К.З. Билятдинов</i> МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОЛЬШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	17
<i>К.З. Билятдинов</i> МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	21
<i>А.А. Василец</i> СИММЕТРИЧНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ ТАНДЕМНОЙ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ	25
<i>И.Б. Гинзбург, А.А. Ермаков, С.Н. Падалко</i> БЫСТРЫЙ СТАРТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТИ ИНТЕРНЕТ	29
<i>И.Б. Гинзбург, А.А. Ермаков, А.Ю. Степаненко</i> ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ С ПОМОЩЬЮ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ	32
<i>О.К. Головнин, П.А. Пушкин</i> ОПЕРАТИВНО-СОВЕТУЮЩАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	35
<i>Н.С. Кашульская, В.И. Мельников</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ В РАЙОНАХ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ	39
<i>С.И. Ксенофонтов, А.Н. Лепав, О.В. Васильева, А.В. Беляков, Л.А. Кипрова, А.В. Гаврилов</i> ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОНОВ ЛИТИЯ В ПЛАМЕНИ	42
<i>О.Н. Кузина</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА (IQ ПРОЕКТА)	46
<i>Р.В. Лебедев, А.В. Мурыгин</i> ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ СХОДСТВА	51
<i>И.А. Макаров</i> ТРЕБОВАНИЯ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕРА ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	56
<i>Ю.Н. Матвеев, Л.В. Лобачева</i> СИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СВАЛОК ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ	60
<i>В.П. Назаров, Н.О. Сапоженков, М.В. Немков</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО БАЛАНСА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ	63
<i>В.В. Попцов</i> ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЕЙ FORD FOCUS III	67
<i>С.М. Чеботарев, А.В. Власенко</i> ЗАВИСИМОСТЬ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОРГАНА ОБРАБОТКИ ДОКУМЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ ГУВД ОТ ОРГШТАТНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ ЛИЧНОГО СОСТАВА	71
<i>Е.А. Чжан</i> МОДИФИКАЦИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛУЧАЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ПЕРЕМЕННЫХ	74

05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

Н.Д. Абросимова, И.М. Кипелкин, С.В. Оболенский ВЛИЯНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР «КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ»	78
В.Г. Азаров, М.Ф. Кириллина, И.Р. Федоров, М.К. Охлопкова, А.В. Спиридонова УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ	82
Н.П. Александров, Ю.А. Андросов, Дь.А. Соколов, М.К. Охлопкова, А.В. Спиридонова, О.К. Тарабукина ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕЛЛЕТОВ	85
Г.А. Алексеев, В.Н. Кудашов, Е.Г. Селина ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНОГО МОНОКРИСТАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА	88
Э.Л. Греков, Е.С. Шелихов, А.М. Черноусова АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕТРАПОДА	92
М.П. Данилаев, С.А. Карандашов ПОЛИСИЛОКСАНОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПРОТИВО-ОБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	97
Р.С. Дремин, В.С. Тынченко, Ю.С. Бец, Д.В. Рогова, Я.А. Тынченко МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ	101
М.З. Искандаров, Р.М. Хисамутдинов ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРОЧНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЕЙ	105
А.А. Капитонов, К.В. Клочкова, Л.А. Симонова ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НАДСТРОЙКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	110
Л.И. Медведева, А.А. Лескин, К.Г. Рыльский, А.А. Замков АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЖИЖЕНИЯ ГАЗА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТОПЛИВА	114
Н.А. Новгородов, М.С. Гринкруг, Ю.И. Ткачева ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ НА КОММУТАЦИЮ ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 6(10)/0.4 кВ	118
Л.В. Павлова, Н.К. Андреева, А.Д. Припадчев ВЫБОР ПОКРЫТИЯ КОНЦЕВЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ, С ПАРАМЕТРАМИ СКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВТ20	122
Т.А. Парникова, В.С. Трофимова, Дь.А. Соколов, М.К. Охлопкова ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ И ЕЕ СТАНДАРТЫ КАЧЕСТВА	125
М.В. Слепцова, В.С. Трофимова ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЛИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	129
Н.А. Соловьев, С.А. Климачев ИНСТРУМЕНТАРИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ УСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА	133
В.В. Черкашин, Т.А. Петрова, И.И. Саввинов ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ТРАДИЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ОБУЧЕНИЕМ	137
Т.А. Чуваткина, О.Ю. Коваленко, Ю.А. Дашкина, В.С. Русяйкин, А.В. Казаков АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП	140

05.13.11 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

И.К. Алайцев, Т.В. Данилова, А.О. Мантуров, Г.О. Мареев СИМУЛЯЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭПИДУРАЛЬНОГО ПРОКОЛА	144
--	-----

<i>А.В. Бадеев, А.К. Мордовской, Д.Д. Рыбдылова</i> О ТОЖДЕСТВАХ НЕКОТОРЫХ МНОГООБРАЗИЙ РАЗРЕШИМЫХ КОММУТАТИВНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ АЛГЕБР	149
<i>Т.Н. Титова</i> ОБ ОДНОМ СЛУЧАЕ РЕШЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ РИККАТИ	152

05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

<i>А.И. Акимов, И.А. Акимов, А.Н. Меркулов</i> ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТЕНКИ С НЕИДЕАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ КОНТАКТОМ	156
<i>В.С. Белоус, Н.Н. Белоус</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАГРУЗЧИКА ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	159
<i>В.А. Смирнов, Е.В. Королев, Т.А. Мацевич</i> ПАКЕТНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ: ДИЗАЙН, РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЯЗЫКОВ	162

05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

<i>П.П. Аврашков, И.А. Коськин, И.С. Константинов</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ КОНВЕРТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СТЕРЕОФОРМАТ С ПОМОЩЬЮ КАРТ ГЛУБИНЫ	165
<i>М.А. Бобров, А. Асгари</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	169
<i>М.А. Бобров, А.Е. Шашунькин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНО - РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПИТАНИИ ОТ РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА	173
<i>А.В. Бондаренко, А.В. Казаков, Н.М. Труфанова</i> ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В КАНАЛАХ КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ПРИ НАЛОЖЕНИИ МНОГОСЛОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА СЕКТОРНУЮ ЖИЛУ	177
<i>А.В. Волков, А.В. Пантелеев, К.В. Страфеева</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ СИГНАЛА	181
<i>А.В. Волков, Д.А. Салкин, О.О. Темаева</i> АНАЛИЗ ОШИБОК МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	184
<i>А.А. Дубанов, Б.В. Зяятуев, А.В. Бадеев, А.Э. Севээн</i> ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СБЛИЖЕНИЯ	187
<i>А.А. Дубанов, Б.В. Зяятуев, А.В. Бадеев, А.Э. Севээн</i> ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ НА ПЛОСКОСТИ МЕТОДОМ ПОГОНИ	190
<i>В.Д. Ермолаева, Е.Е. Орехова</i> ОБЗОР ИНТЕГРАЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ КОДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В РЕАКТОРАХ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ. СРАВНЕНИЕ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ	193
<i>С.В. Ершов, Е.В. Субботин</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗОНЫ ДОЗИРОВАНИЯ ОДНОШНЕКОВЫХ ЭКСТРУДЕРОВ	196
<i>И.Ю. Забавичев, Д.А. Кудряшова, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская, А.А. Потехин, А.С. Пузанов, Е.А. Тарасова</i> РЕИНЖИНИРИНГ ПРОФИЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ДИОДНЫХ И ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ ИХ РЕАКЦИИ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	200

И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская, А.А. Потехин, А.С. Пузанов, Е.А. Тарасова ВЛИЯНИЕ RLC-ПАРАМЕТРОВ МЕЖТРАНЗИСТОРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПЕРЕХОДНОЙ ИОНИЗАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС В ЯЧЕЙКАХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СТАТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА	203
И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская, А.С. Пузанов МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВСПЛЕСКА СКОРОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	206
И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская, А.С. Пузанов, Е.А. Тарасова ДИНАМИКА РАЗОГРЕВА И РЕЛАКСАЦИИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОЙ ПЛАЗМЫ В ТРЕКЕ ПЕРВИЧНОГО АТОМА ОТДАЧИ В GAAS ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕЙТРОНОВ СПЕКТРА ДЕЛЕНИЯ	209
Т.Г. Макарова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ В УЭЦН: ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ	212
О.И. Поддаева, А.Н. Федосова, П.С. Чурин ВЛИЯНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	215
Е.В. Решетникова, А.Д. Ульянов, Е.С. Вячкин, Ю.С. Гаврилова МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖАТИЯ И ИЗГИБА ТОЛСТОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОБЪЕКТНОЙ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	218
Ю.А. Степанов, Л.Н. Бурмин, П.А. Лазарев АЛГОРИТМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ВНУТРИ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ	222
Е.В. Субботин, А.В. Казаков, С.В. Ершов, Л.И. Зорихина МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КОНЦЕВОЙ КАБЕЛЬНОЙ МУФТЕ	228
Г.М. Умнягин, В.Е. Дегтярев, С.В. Оболенский РЕЗИСТИВНАЯ ПАМЯТЬ НА ОСНОВЕ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ	232
С.В. Хазанова, С.В. Оболенский, Е.А. Тарасова, О.Л. Голиков, А.С. Пузанов МЕТОДЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ AlGaAs/InGaAs	235
Т.А. Шоболова, А.С. Мокеев, С.В. Оболенский, С.Д. Рудаков, Е.Л. Шоболов ШИРОКИЙ КРЕМНИЕВЫЙ СУБМИКРОННЫЙ МЕТАЛЛ-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК ТРАНЗИСТОР С ЗАВИСИМЫМ КОНТАКТОМ К КАРМАНУ	239
М.А. Шурыгина, А.В. Хорьков, Ш.И. Галиев ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И РАСПОЛОЖЕНИЯ КАМЕР НАБЛЮДЕНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА – ЧАСТЬ II	242
А.Г. Щербинин, Е.А. Бородина, Е.В. Субботин, С.В. Ершов, В.А. Давыдова МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТЕРЬ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭКРАНАХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ	246

05.13.19 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

А.А. Шашков, А.В. Власенко, С.М. Чеботарев СПЕЦИФИКА ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ СКРЫТОГО УПРАВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ГОСУДАРСТВА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕЛЕГАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ	249
---	-----

АННОТАЦИИ	252
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>B.N. Ivanov, R.N. Kostromin, E.S. Vorobyev, A.K. Mezikov, R.Kh. Shagimullin</i> METHODOLOGY AND PROSPECTS OF BREAKTHROUGH RATIONAL TECHNOLOGIES FOR CONVERSION AND PRODUCTION OF HIGH-VISCOSITY AND BITUMINOUS OILS	11
---	----

05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>K.Z. Biliatdinov</i> MODEL OF SUPPORT OF STABILITY OF BIG TECHNICAL SYSTEMS	17
<i>K.Z. Biliatdinov</i> METHODS OF ASSESSMENT OF PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF TECHICAL SYSTEMS IN OPERATIONAL PROCESS	21
<i>A.A. Vasilets</i> SYMMETRIC OPTICAL VECTOR ANALYZER BASED ON TANDEM AMPLITUDE-PHASE MODULATION	25
<i>I.B. Ginzburg, A.A. Ermakov, S.N. Padalko</i> QUICK START FOR DISTANCE LEARNING USING THE INTERNET	29
<i>I.B. Ginzburg, A.A. Ermakov, A.Y. Stepanenko</i> DISTANCE LEARNING OVER THE INTERNET USING NON-SPECIALIZED WEB APPLICATIONS	32
<i>O.K. Golovnin, P.A. Pushkin</i> ONLINE ADVISING EXPERT SYSTEM FOR SPATIAL- TEMPORAL ROUTES PLANNING OF DYNAMIC OBJECTS RELOCATION	35
<i>N.S. Kashulskaya, V.I. Melnikov</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF WIND POWER PLANTS AND LOW-POWER NUCLEAR POWER PLANTS IN AREAS OF DECENTRALIZED POWER SUPPLY	39
<i>S.I. Ksenofontov, A.N. Lepaev, O.V. Vasilyeva, A.V. Belyakov, L.A. Kiprova, A.V. Gavrilov</i> EXCITATION OF LITHIUM IONS IN A FLAME	42
<i>O.N. Kuzina</i> METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF CONSTRUCTION DIGITAL TRANSFORMATION (PROJECT IQ)	46
<i>R.V. Lebedev, A.V. Murigin</i> WEIGHT COEFFICIENTS CALCULATION IN FOR SIMILARITY ASSESSMENT	51
<i>I.A. Makarov</i> REQUIREMENTS FOR THE CHARACTERISTICS OF THE CENTRAL LASER WAVE LENGTH MONITORING SYSTEM AT UPSTREAM CHANNEL OF PASSIVE OPTICAL NETWORKS	56
<i>U.N. Matveev, L.V. Lobacheva</i> SYSTEMOLOGICAL BASIS OF ORGANIZATION OF MONITORING OF THE municipal solid waste DUMP	60
<i>V.P. Nazarov, N.O. Sapozhenkov, M.V. Nemkov</i> ENSURING A POSITIVE BALANCE IN CAR POWER SUPPLY SYSTEMS	63
<i>V.V. Poptsov</i> RELIABILITY ASSESSMENT OF THE FORD FOCUS III ROBOTIC GEARBOX	67
<i>S.M. Chebotarev, A.V. Vlasenko</i> DEPENDENCE OF THE CAPACITY OF THE BODY OF PROCESSING OF DOCUMENTED INFORMATION OF THE POLICE DEPARTMENT FROM THE ORGANIZATIONAL STAFF OF PERSONNEL	71
<i>E.A. Chzhan</i> MODIFICATION OF A NONPARAMETRIC ALGORITHM FOR MODELING MULTIDIMENSIONAL PROCESSES IN THE CASE OF USING FUZZY VARIABLES	74

05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

<i>N.D. Abrosimova, I.M. Kipelkin, S.V. Obolensky</i> RESEARCH OF LOW-ENERGY LOW- INTENSITY X-RAY RADIATION INFLUENCE ON THE SILICON-ON-INSULATOR WAFER ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS	78
---	----

<i>V.G. Azarov, M.F. Kirillina, I.R. Fedorov, M.K. Okhlopkova, A.V. Spiridonova</i> GREENHOUSE MICROCLIMATE MANAGEMENT	82
<i>N.P. Alexandrov, Yu.A. Androsov, Dy.A. Sokolov, M.K. Okhlopkova, A.V. Spiridonova, O.K. Tarabukina</i> RESEARCH OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF PELLETS	85
<i>G.A. Alekseev, V.N. Kudashov, E.G. Selina</i> QUALITY ASSURANCE OF AUTOMATED MANUFACTURING OF SINGLE-CRYSTAL DIAMOND TOOLS	88
<i>E.L. Grekov, E.S. Shelikhov, A.M. Chernousova</i> OPERATION ALGORITHM OF THE TETRAPOD MOVEMENT SIMULATION MODELING PROGRAM	92
<i>M.P. Danilaev, S.A. Karandashov</i> POLYSILOXANE COMPOSITION FOR HEATING ELEMENTS OF AN INTEGRATED DEICING SYSTEM	97
<i>R.S. Dremin, V.S. Tynchenko, Yu.S. Bets, D.V. Rogova, Ya.A. Tynchenko</i> METHOD OF ORGANIZATION OF REMOTE MONITORING AND DIAGNOSTICS OF THE EQUIPMENT OF THE INDUCTION SOLDERING PLANT	101
<i>M.Z. Iskandarov, R.M. Khisamutdinov</i> OPTIMIZATION MODEL OF LOGISTIC PROCESSES OF AUTOMOBILE ASSEMBLY SYSTEM	105
<i>A.A. Kapitonov, K.V. Klochkova, L.A. Simonova</i> BUILDING AN INTELLIGENT ADD-ON FOR AN AUTOMATED INTERNAL COMBUSTION ENGINE DIAGNOSTICS SYSTEM	110
<i>L.I. Medvedeva, A.A. Leskin, K.G. Rylsky, A.A. Zamkov</i> AUTOMATION OF THE PROCESS OF LIQUEFIED GAS AS AN ALTERNATIVE TYPE OF FUEL	114
<i>N.A. Novgorodov, M.S. Grinkrug, J.I. Tkacheva</i> RESEARCH OF THE INFLUENCE OF LOAD CHARACTERISTICS ON THE SWITCHING OF 6(10)/0.4 kV STEP-DOWN TRANSFORMERS	118
<i>L.V. Pavlova, N.K. Andreeva, A.D. Pripadchev</i> CHOICE OF COATING FOR END CARBIDE CUTTERS WITH CUTTING EDGE ROUNDING PARAMETERS INTENDED FOR VT20 PROCESSING	122
<i>T.A. Parnikova, V.S. Trofimova, Dy.A. Sokolov, M.K. Okhlopkova</i> FUEL PELLET PRODUCTION TECHNOLOGY AND ITS QUALITY STANDARDS	125
<i>M.V. Sleptsova, V.S. Trofimova</i> INCREASING THE EFFICIENCY OF A SOLAR PLANT FOR ELECTRICITY AND HEAT SUPPLY	129
<i>N.A. Solovyov, S.A. Klimachev</i> THE ANALYSIS TOOL FOR THE PATTERNS OF SURFACE DEFECTS ELIMINATION OF THIN SHEET METAL ROLLING	133
<i>V.V. Cherkashin, T.A. Petrova, I.I. Savvinov</i> STUDY OF THE POSSIBILITY OF REPLACING TRADITIONAL LEARNING BY ELECTRONIC LEARNING	137
<i>T.A. Chuvatkina, O.Ju. Kovalenko, Ju.A. Dashkina, V.S. Rusyaikin, A.V. Kazakov</i> AUTOMATION OF BACTERICIDE LAMP PARAMETERS CONTROL	140

05.13.11 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

<i>I.K. Alaytsev, T.V. Danilova, A.O. Manturov, G.O. Mareev</i> EPIDURAL PUNCTURE SIMULATION	144
<i>A.V. Badeyev, A.K. Mordovskoi, D.D. Rybdilova</i> ON THE IDENTITIES OF SOME VARIETIES OF SOLUBLE COMMUTATIVE ALTERNATIVE ALGEBRAS	149
<i>T.N. Titova</i> ON ONE CASE OF SOLVING THE ALGEBRAIC MATRIX RICCATI EQUATION	152

05.13.11 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

<i>A.I. Akimov, I.A. Akimov, A.N. Merkulov</i> ONE OF THE APPROACHES TO SOLVING THE NONLINEAR PROBLEM OF THERMAL CONDUCTIVITY FOR A MULTILAYER CYLINDRICAL WALL WITH NON-IDEAL THERMAL CONTACT	156
---	-----

<i>V.S. Belous, N.N. Belous</i> IMPLEMENTATION OF THE OPERATING SYSTEM BOOTLOADER	159
<i>V.A. Smirnov, E.V. Korolev, T.A. Matseevich</i> BATCH IMAGE PROCESSING: DESIGN, EVOLUTION AND PROSPECTS OF DEDICATED COMMAND LANGUAGES	162

05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

<i>P.P. Avrashkov, I.A. Koskin, I.S. Konstantinov</i> ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF DIFFERENT MODELS OF IMAGE TO STEREO FORMAT CONVERSION USING DEPTH MAPS	165
<i>M.A. Bobrov, A. Asgari</i> SIMULATION OF WIND ENERGY PLANT ELECTRIC DRIVE	169
<i>M.A. Bobrov, A.E. Shashunkin</i> SIMULATION OF FREQUENCY - CONTROLLED ELECTRIC DRIVE SUPPLIED FROM BACKUP DC SOURCE	173
<i>A.V. Bondarenko, A.V. Kazakov, N.M. Trufanova</i> FEATURES OF DETERMINING THE RESIDENCE TIME OF MATERIALS IN THE CHANNELS OF THE CABLE HEAD WHEN APPLYING MULTILAYER INSULATION TO THE SECTOR CORE	177
<i>A.V. Volkov, A.V. Panteleev, K.V. Strafeeva</i> SIMULATION OF PARAMETRIC IDENTIFICATION OF A GAS DISCHARGE LAMP USING A MULTI-LAYER NEURAL NETWORK WITH DIRECT SIGNAL TRANSMISSION	181
<i>A.V. Volkov, D.A. Salkin, O.O. Temaeva</i> ANALYSIS OF SIMULATION ERRORS BASED ON THE MATHEMATICAL MODEL OF A HIGH PRESSURE SODIUM LAMP	184
<i>A.A. Dubanov, B.V. Zayatuev, A.V. Badeev, A.E. Seveen</i> KINEMATIC MODEL OF THE PARALLEL APPROACH METHOD	187
<i>A.A. Dubanov, B.V. Zayatuev, A.V. Badeev, A.E. Seveen</i> KINEMATIC MODEL OF THE PURSUIT PROBLEM ON A PLANE BY THE CHASE METHOD	190
<i>V.D. Ermolaeva, E.E. Orekhova</i> OVERVIEW OF NEXT GENERATION INTEGRAL ANALYTICAL CODES FOR THE MODELING OF ACCIDENTS AT THE FAST REACTORS WITH LIQUID-METAL COOLANT. COMPARISON WITH FOREIGN ANALOGUES	193
<i>S.V. Ershov, E.V. Subbotin</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF METERING ZONE MATHEMATICAL MODELS OF THE SINGLE SCREW EXTRUDERS	196
<i>I.Yu. Zabavichev, D.A. Kudryashova, K.A. Nasetkin, E.S. Obolenskaya, A.A. Potekhin, A.S. Puzanov, E.A. Tarasova</i> REENGINEERING OF THE DOPING PROFILE OF DIODE AND TRANSISTOR STRUCTURES FOR CALCULATED ESTIMATION OF THEIR RESPONSE TO IONIZING RADIATION	200
<i>I.Yu. Zabavichev, K.A. Nasetkin, E.S. Obolenskaya, A.A. Potekhin, A.S. Puzanov, E.A. Tarasova</i> THE INFLUENCE OF RLC-PARAMETERS OF INTERCONNECT TRANSISTORS ON THE TRANSITIONAL IONIZATION PROCESS IN FAST STATIC MEMORY CELLS UNDER EXPOSURE TO HEAVY CHARGED SPACE PARTICLES	203
<i>I.Yu. Zabavichev, K.A. Nasetkin, E.S. Obolenskaya, A.S. Puzanov</i> SIMULATION OF SPACE AND TIME OVERSHOOT VELOCITY EFFECTS IN SEMICONDUCTOR STRUCTURES AFTER RADIATION	206
<i>I.Yu. Zabavichev, K.A. Nasetkin, E.S. Obolenskaya, A.S. Puzanov, E.A. Tarasova</i> DYNAMICS OF HEATING AND RELAXATION OF ELECTRON-HOLE PLASMA ENERGY IN THE TRACK OF THE PRIMARY RECOIL ATOM IN GAAS UNDER THE INFLUENCE OF FISSION NEUTRONS SPECTRUM	209
<i>T.G. Makarova, I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov</i> SALT DEPOSITS IN THE ESP: CAUSES AND METHODS OF CONTROL	212
<i>O.I. Poddaeva, A.N. Fedosova, P.S. Churin</i> INFLUENCE OF NOISE BARRIERS ON THE AERODYNAMIC STABILITY OF LARGE-SPAN BRIDGE STRUCTURES	215

<i>E.V. Reshetnikova, A.D. Ul'yanov, E.S. Viachkin, J.S. Gavrilova</i> MODELING OF COMPRESSION AND BENDING OF THICK-WALLED SHELLS BASED ON A HYBRID FINITE ELEMENT USING A FUNCTIONAL OBJECT PROGRAMMING ENVIRONMENT	218
<i>Yu.A. Stepanov, L.N. Burmin, P.A. Lazarev</i> ALGORITHM FOR REALLOCATION OF RESOURCES WITHIN A CLOSED SYSTEM	222
<i>E.V. Subbotin, A.V. Kazakov, S.V. Ershov, L.I. Zorihina</i> MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN CABLE TERMINATION	228
<i>G.M. Umnyagin, V.E. Degtyarev, S.V. Obolensky</i> RESISTIVE MEMORY BASED ON NONSTOICHIOMETRIC METAL OXIDES	232
<i>S.V. Khazanova, S.V. Obolensky, E.A. Tarasova, O.V. Golikov, A.S. Puzanov</i> CALCULATED - EXPERIMENTAL METHODS FOR SIMULATION OF ELECTROPHYSICAL PARAMETERS IN PROSPECTIVE SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURES BASED ON COMPOUNDS OF AlGaAs / InGaAs	235
<i>T.A. Shobolova, A.S. Mokeev, S.V. Obolenskiy, S.D. Rudakov, Ye.L. Shobolov</i> WIDE SILICON SUB-MICRON MOS (METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR) TRANSISTOR WITH ADDICTED POCKET CONTACT	239
<i>M.A. Shurygina, A.V. Khorkov, Sh.I. Galiev</i> DETERMINATION OF NUMBER AND LOCATION OF FIRE DETECTION CAMERAS FOR THE PART OF TATARSTAN TERRITORY – PART II	242
<i>A.G. Shcherbinin, E.A. Borodina, E.V. Subbotin, S.V. Ershov, V.A. Davydova</i> MATHEMATICAL MODELING OF MAGNETODYNAMIC PROCESSES IN DETERMINING THE METAL SCREENS LOSSES OF POWER CABLES	246

05.13.19 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY

<i>A.A. Shashkov, A.V. Vlasenko, S.M. Chebotarev</i> THE SPECIFICS OF PROTECTING THE HIDDEN CONTROL SYSTEM CRITICAL OBJECTS OF THE STATE FROM THE IMPACT OF ILLEGAL SOFTWARE	249
--	-----

ABSTRACTS	252
------------------	-----

05.13.18

¹Б.Н. Иванов д-р техн. наук, ²Р.Н. Костромин канд. техн. наук,
¹Е.С. Воробьев канд. техн. наук, ³А.К. Мезиков,
⁴Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук

¹Казанский научно-исследовательский технологический университет,
²ООО «Миррико менеджмент»,
³Главный редактор «Энергетика Татарстана»,
⁴Главный редактор «Научно-технического вестника Поволжья»,
Казань, ivanovbn@rambler.ru, kostromin-rn@rambler.ru,
vorobiev@kstu.ru, shagimullin@ntvp.ru

МЕТОДОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОРЫВНЫХ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКИХ И БИТУМНЫХ НЕФТЕЙ

Задача разработки оптимальных технологий бессмысленна. Поскольку термин «оптимальный» означает наилучший результат при наилучших для данного способа, действия или события условиях. Естественно, проверить все возможные сочетания условий на практике невозможно. Речь может идти о рациональных технологиях.

Просто рациональные технологии, как правило, разрабатываются и применяются для конкретных способов. Прорывные рациональные технологии можно и нужно разрабатывать для целого рода схожих процессов. Они являются эффективными и универсальными.

Ключевые слова: методология, сопряженное качественно-количественное моделирование, внутрипластовое преобразование нефти.

Прорывным рациональным технологиям необходимы своя классификация и методология.

Классификация, как и всякая классификация, предопределена функциональным назначением и приближенной оценкой природы используемых процессов. С методологией дело обстоит значительно сложнее. Поэтому авторы настоящей статьи позволили себе сформулировать и использовать собственные определения [1-14].

Методология – с одной стороны, наука о подходах к достижению поставленной цели, а с другой – действия для достижения последней.

Подход – это научно и технически обоснованное применение определенных способов решения поставленной задачи.

Способ – определенная совокупность действий, в заданной очередности, направленная на осуществление искомого события.

Способ может быть всей технологией (если она проста и одностадийна) и ее составной частью.

Различные способы могут иметь прямую или опосредованную связь, в соответствии с *всеобщей аналогией* материальных образований. Причем ее важнейшим свойством является противоречивость.

По сути *решение* той или иной задачи – это устранение *мешающих* противоречий (то есть – противоречие противоречия).

При этом, по нашему мнению, необходимо четко различать *противоречивость как действие*, и как *оценку противоречивости* действия. Иначе искажается (иногда до полного отсутствия) физический смысл события.

Понимание этой разницы способствует обеспечению более рациональных переходов одних видов движения в другие (в т.ч. полевых); облегчает раскрытие принципиальных теоретических и практических аспектов многопрофильных и многофункциональных природных и техногенных процессов.

В частности, можно открыть новые формы проявления *закона сохранения*, который, в сущности, является *единственным* законом (закон должен проявляться всегда и везде в противном случае он не закон).

Из закона сохранения (и скачкообразности количественно-качественных переходов) вытекает, что определенный структурный элемент старого качества (его уровень организации и размера предопределен типом и условиями взаимодействий) переходит в новое качество. В частности, часть атомов исходного вещества может переходить в процессе химического превращения в новую молекулу.

Как нами уже много лет многократно отмечалось [3-14] «*философский камень*» (т.е. основа всего сущего в материальном мире) почти раскрыта благодаря корпускулярно-волновой теории М.В. Ломоносова. Для подчеркивания универсальности его открытия нами предложено [3, 9-11] использовать следующий термин: *вещественно-волновая природа*.

Роль и вклад волнового движения в *поле* проявляется нагляднее, чем в *веществе*, что является заметным преимуществом новых волновых технологий. Однако, при выборе того или иного типа воздействия необходимо учитывать природу и соотношения ингредиентов материальных образований (вещества или поля) и конкретных (внешних и, опосредованно внутренних) условий материальных взаимодействий (которые на вещество и поле могут сказываться по-разному).

Парадокс заключается в том, волна одновременно и носитель вещества, и совокупность частиц и систем (со своим уровнем организации; частоты; длины; амплитуды и скорости волны).

Вещественно-волновая природа гораздо многогранней ее распространенной трактовки. В частности, последняя не полностью объясняет одновременное проявление *неразрывности* и *сплошности* движения, принципа дифференциации и интеграции явлений, и некоторых других положений и факторов [3-11; 14].

Нам представляется целесообразным дополнительный учет внутреннего и внешнего ассоциирования<->диссоциирования материальных образований и их взаимодействий (причем, во всех агрегатных состояний).

Б.Н. Иванов и А.К. Мезиков [14] обосновали ассоциирование<->диссоциирование как коренную (присущую всем материальным образованиям) характеристику и назвали это явление *законом о формах существования и взаимных переходов материальных образований*.

Авторы работы [14] считают, в соответствии с вышеизложенным положением, что твердые аморфные вещества нужно относить к сверхмикрорекристаллическим веществам с деформированными сингониями. Данное обстоятельство необходимо учитывать при рассмотрении путей преобразования нерудных полезных ископаемых и преобразованиями коллекторов нефтяного пласта.

При этом, в определенной степени, можно руководствоваться подходами нанотехнологий. Однако, по нашему мнению, под наночастицами следует понимать не микрочастицы размером 1-10 нм и тем более 50 нм (что уже нанокластер), а микрочастицы (или их ингредиенты) на уровне 0,01-0,1 нм. В этом случае дискретность размеров ведет к дисперсности тепловых, электрических, магнитных, гравитационных, химических свойств (за исключением состояния полного подобия, в котором уже исчезает грань между физическим и химическим видами движения).

Исследования показали, что получаемые наночастицы одной природы могут иметь различные свойства. Получать их можно, сочетая в механохимической технологии физические и химические явления. Например, посредством ударной волны или различными приемами плазмосинтеза. При этом, поскольку большинство конденсированных и жидкофазных систем являются кристаллоподобными, и диспергирование, и укрупнение частиц начинается на дефектных поверхностях.

Замеченные различие свойств наночастиц одной природы, объясняется, по-видимому, в основном их *поверхностным фактором*: силой трения и удельной и общей поверхностями

контакта. Вследствие чего меняется степень ассоциирования *нестехиометрических* соединений.

Считаем логично предположить, что существенное различие свойств наночастиц (и нанокластеров) одной природы проявляется в определенных интервалах их размеров согласно гауссовому распределению.

При этом для каждой материальной системы (а «псевдоэлементарную» частицу тоже можно рассматривать как систему) характерен свой качественно-количественный скачок.

Например, для нанокластера воды наиболее устойчивый кластер состоит из 90 молекул; кластер щелочного металла – из нескольких тысяч атомов; из кластеров углерода наиболее прочными являются *C60* и *C28*.

Степень дискретности, форма структура наночастиц (и их кластеров) определяются их способностью к самоорганизации.

Вопрос «нанотехнологий» близок к вопросу каталитических технологий. И те, и другие по своему механизму и результатам объединяют огромное количество явлений.

Некоторые положения и приемы «нанотехнологий» целесообразно применять при разработке трудноизвлекаемых запасов нефти (в настоящее время в РФ для тяжелых нефтей достигает 60 %; в РТ > 80 %). В частности, при рациональном внутрипластовом преобразовании высоковязких и битумных нефтей.

По результатам предварительных оценок их запасы в Республике Татарстан составляют от 2 до 11 млрд. т.

При рациональном введении в эксплуатацию ~40 % усредненных запасов, предполагается общая прибыль за 40 лет составит ~170 млрд. \$. Промышленную реализацию одного (из трех) направления проекта, разрабатываемого авторами настоящей работы, можно начать через 4-5 лет.

Фундаментом рационального химико-физического внутрипластового преобразования нефти является единая вещественно-волновая ассоциативно-диссоциативная природа (ВВП) с учетом степени аналогии различных явлений.

При определенных условиях и поставленных задач возможен перевод всех перерабатываемых материальных образований в состояние полного подобия (когда стирается грань между химическим и физическим взаимодействиями).

Экологические аспекты разрабатываемого проекта сочетаются с экономическими, поскольку любая технология должна априори рационально относиться к сбережению природных и человеческих ресурсов. (при этом подземная переработка априори предполагает определенные преимущества).

Нефтяной пласт (включая состав и структуру нефте-водосодержащих систем коллекторов) рассматривается как единый континуум конденсатора, индуктора, резистора и резонатора, происходящих в нем явлений [9, 11].

В механизме и условиях преобразования пласта целесообразно сразу учитывать функциональное назначение продуктов переработки преобразуемой нефти. Прогнозирование результатов основывается на сопряженном качественно-количественном моделировании, точечной экспериментальной проверке, анализе литературных данных.

Наиболее рациональным и универсальным подходом представляется оценка и использование сочетания тепловых и электрических свойств. Поскольку эти важнейшие явления близкие генетические «родственники», основа которых *трение*.

По литературным данным электропроводность и теплопроводность с увеличением температуры растут. Причем зависимость электропроводности проявляется ярче. Нам представляется более близкой к действительности гауссова кривая.

Знак «заряда», полученного при трении тел принято определять работой выхода электронов: при относительно высоком значении работы, электроны присоединяются и тело заряжается *отрицательно*, при низком значении – «теряются» и тело получает *положительный* заряд.

Заряд в наиболее общем смысле [3, 6, 7, 9, 14] – это некомпенсированное количество движения (избыток или недостаток) на внутренних и внешних поверхностях микро- и «псевдоэлементарных» частиц, обусловленное дисбалансом количества последних.

Для приближенного определения «знака трения» еще с середины XIX века достаточно широко применяется полуэмпирическое правило Козна (положительно заряжается тот диэлектрик, диэлектрическая проницаемость поверхностных слоев которого больше) и правило Гезехуса (положительные заряды приборобетает тот из двух вращающихся тел, плотность и твердость которого больше) [11].

В частности, движущаяся в потоке нефти вода получает в результате трения с другими фазами, как правило, положительный заряд. Нефть, практически всегда, является носителем отрицательных зарядов (за исключением газонефтяного потока, в котором нефть может заряжаться положительно). В скважине вода, двигаясь относительно железа, нередко, в целом, заряжается отрицательно.

В соответствии с вышеизложенным, электрическое поле пласта очень чувствительно к изменению теплового движения. Заряды, содержащиеся в скелете пласта, при нагревании разрушаются. По-видимому, в основном, вследствие локальных изменений уровня структурности нефтесодержащей системы.

Электрическое поле непрерывно генерирует в пласте магнитное поле. Наиболее диамагнитные соединения – алканы и цикланы.

Электромагнитное поле интенсифицирует перенос тепла и вещества в насыщенных пористых средах. Распространение электромагнитных волн в диэлектриках приводит к преобразованию высокочастотного электромагнитного поля в тепловое.

Импульсный электрический разряд в скважинной зоне может сопровождаться взрывом малом объеме канала разряда. Мощность разрядов может достигать 10-100 МВт, величина тока – 10-25 кА. Диапазон рабочих напряжений в этих режимах – 10-70 кВ [15, 16].

Ввиду исключительной сложности исследуемых нами материальных систем и их взаимодействий, а в следствии этого, приближенности (а иногда и *принципиальной невозможности*) количественных оценок, применялось сопряженное качественно-количественное моделирование [6, 7, 9, 11-13].

При кинетических расчетах, ввиду принципиальной невозможности корректного использования для исследуемых систем уравнения Аррениуса (вследствии наличия в нем универсальной газовой постоянной), применялось авторское характеристическое уравнение

(ХВУ) Б.Н. Иванова и Р.Н. Костромина $y = ae^{e^{(bx+c)}}$, учитывающее распространение волны в пространстве (подробно см. [8-12]).

ХВУ, по сути, является переходным между качественным и количественным моделированием и способствует сохранению физического смысла приближенной количественной оценки процессов в пласте. В том числе, постадийного инициирования каталитических процессов в нефтяном пласте.

Разработку и реализацию Проекта рационального внутрипластового преобразования нефти предлагается осуществлять по трем направлениям (одновременно или поэтапно):

1. «Мягкое» (в присутствии паровой каталитической системы).

В качестве катализаторов целесообразно использовать некоторые оксиды и соли, находящиеся в нефти, воде и коллекторе; а также оксиды, образующиеся в процессе преобразования.

«Каталитической затравкой» могут служить известные катализаторы, применяемые в процессе переработки нефти.

Необходимый тепловой режим должен в значительной степени обеспечиваться горением неорганической части флюидов. Модель необходимого устройства уже апробирована (см. рис. 1).



Рис. 1 – Фотография фрагмента фронта пламени

2. *Комбинированное направление «мягкое» с применением активированной воды.*

Применение последней способствует активации водосодержащих систем при использовании электронно-лучевых технологий (ЭЛТ).

Основным устройством в ЭЛТ является ускоритель электронов, в котором схематично осуществляется следующее: из инжектора электроны поступают в ускорительные устройства; далее направляются в фокусирующий электромагнит; из последнего – в «развертывающие» устройства; затем в вакуумный насос и «вакуумное окно».

Преобразование электрической мощности в мощность электромагнитного пучка ~90 %. Пучок имеет заданное направление и локализуется в определенном объеме объекта.

ЭЛТ обеспечивают деструкцию нефти, битумов, сланцев, угля, торфа, биомассы и др. материалов.

При разрыве связей в молекулах материальных систем образуются сильнейшие окислители (сильнее атомарного кислорода и озона); и активные электроны более сильные восстановители, чем атомарный водород.

По данным МАГАТЭ в мире используется более 30 тысяч ускорителей различной мощности.

В Китае ежегодно вводится в строй >50 электронных ускорителей.

В РФ выпускаются как стационарные, так и мобильные ускорители. В основном средней и малой мощности: 20, 50 и 70 кВт.

Работы по тематике получения и использования «электронного пучка» удостоены 10 Нобелевских премий.

3. *Экстремальная переработка:* перевод обрабатываемых систем в состояние *полного подобия* в режиме *глобального* химического резонанса.

Реализация данного направления позволит обеспечивать полное преобразование нефте- и водосодержащих систем.

Однако, перед промышленной эксплуатацией необходима предварительная достаточно обоснованная оценка условий, предупреждающих возможность серьезных *тектонических* изменений пласта.

Резюме

1. Перспективы *прорывных рациональных* технологий базируется на использовании *универсальной* методологии, учитывающей, прямо или опосредованно, вклад основных и сопутствующих событий.

Перефразируя классиков, следует подчеркнуть: нет ничего *практичнее* правильной методологии; а кадры, овладевшие ею, *могут* решить все (обоснование невозможности того или иного результата – *тоже решение*).

2. Обоснованием и условием разработки прорывных рациональных технологий является их многопрофильность и многофункциональность. Это обстоятельство автоматически ведет к расширению области применения и получению новых фундаментальных знаний.

3. Обязательным условием является рациональное сочетание приемов известных технологий и вновь разрабатываемых.

4. Ввиду преобладания в РФ рыночной экономики, целесообразно разрабатывать и применять мобильные устройства и установки.

Список литературы

1. К вопросу о действии воды в процессе образования карбамидо-парафинового комплекса / Б.Н. Иванов / Журнал прикладной химии. – 1982. – Т. LV. – № 10. – С. 2337-2340.
2. О роли активаторов-растворителей в процессе образования карбамидо-парафинового комплекса / Б.Н. Иванов, Г.А. Кринари / Журнал прикладной химии. – 1983. – Т. LVI. – № 3. – С. 645-648.
3. Качественный подход к оценке реакционной способности материальных образований. / Сообщение 1. Исходные посылки // ВИНТИ, № 2338-B87.- 1987; Сообщение 2. Иллюстрационная модель // ВИНТИ, № 2337-B87.- 1987; Сообщение 3. Применение принципа масштабирования // ВИНТИ, № 2336-B87.- 1987.
4. К вопросу об энергоаналитической оценке процессов нефтепереработки. Интенсификация химических процессов переработки компонентов / Б.Н. Иванов // Межвуз. Сб.- Казань.- 1991,- с. 74-79.
5. Б.Н. Иванов, А.Р. Садыков, А.П. Суханов, П.П. Суханов Структурополагающие основы ассоциативных процессов нефтепереработки. Сообщение 1 // Нефтепереработка и нефтехимия. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2004.-№6.-С. 23-27; Сообщение 2 // 2004.-№9.-С. 17-19.
6. «Философский камень» жидкофазных процессов химической технологии. Часть I; Часть II / Б.Н. Иванов // Энергосбережение в Республике Татарстан. - Казань, 2005. -№ 21-22. - с. 20-24; 2006-2007. -№23-24 – с. 61-66.
7. Онтология теоретических основ химической технологии / Б.Н. Иванов // Казань: КГТУ, 2006. – 72 с.
8. Исследование ассоциативной природы сложных жидкофазных органических систем тепловизионными методами / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, А.К. Мезиков, С.Ю. Горбунов, А.В. Дацков // Вестник казанского технологического университета – Казань: Отечество, 2007. - №3-4 – с.135-142.
9. Волновая природа процессов генезиса, добычи и подготовки нефти. Части 1-3 / Б.Н. Иванов // Вестник казанского технологического университета – Казань: Отечество, 2008. - №3 – с.97-115; №4 – с.100-120; №5 – с.138-157.
10. Общий базис процессов и средств стимуляции добычи и подготовки нефти / Б.Н. Иванов, Н.А. Лебедев, Е.Л. Древницкая / Нефтепереработка и нефтехимия. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2008.-№11.-С. 8-13.
11. Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти / Б.Н. Иванов, А.И. Гурьянов, А.М. Гумеров / АН РТ, Казань: ФЭН, 2009. – 400 с.
12. Универсальное характеристическое уравнение нефтесодержащих систем. Некоторые аспекты практического приложения / Б.Н. Иванов, Е.Л. Древницкая, Р.Н. Костромин / Энергетика Татарстана. – Казань, 2012. – № 3. – С.64-69.
13. Conjugated Qualitative and Quantitative Approximation of Water, Salt, Sulfur, Asphaltene and mechanical Ingredients of Oil-Containing Systems interrelation / Roman N. Kostromin, Boris N. Ivanov, Marina S. Petrovnina, and Marsel I. Safiullin / Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - Volume 6, Issue 6, 2015.- 250, Pp 1612-1616.
14. Четвертая материальная форма проявления закона сохранения / Б.Н. Иванов, А.К. Мезиков // Энергетика Татарстана. – Казань, 2016. - № 2. – с. 62-67.
15. Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах / Гулый Г.А., Малюшевский П.П. // Наукова думка, Киев, 1977.
16. Электрические разряды в поле / Наугольных К.А., Рой Н.А.//Изд-во: М.: Наука, 1971, 155 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (05.13.01)**

05.13.01

К.З. Билятдинов канд. воен. наук

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
Санкт-Петербург, k01b@mail.ru

**МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
БОЛЬШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Предлагается модель обеспечения устойчивости больших технических систем в виде комплекса взаимосвязанных таблиц и критериев устойчивости систем, описывающих состояние систем в условиях деструктивных воздействий. В модели представлена динамика состояний устойчивого функционирования на основе изменений количественных значений устанавливаемых показателей качества.

Ключевые слова: модель, устойчивость, время, большая техническая система, качество, управление.

Повышение важности устойчивого функционирования больших технических систем (далее – БТС) для экономики и обороноспособности Российской Федерации обосновывает актуальность разработки новых универсальных подходов к моделированию состояний устойчивости, которые были бы применимы к различным БТС, вне зависимости от их назначения. В настоящее время разработка таких подходов наиболее востребована для принятия своевременных согласованных управленческих решений в неблагоприятных условиях эксплуатации БТС [1, с. 179].

Модель обеспечения устойчивости БТС (далее – Модель) предназначена для анализа и оценки возможности устойчивого функционирования БТС в условиях заданных деструктивных воздействий, при которых нарушается функционирование БТС и выходят из строя элементы в ее составе.

Основные ограничения применения Модели:

- состав исследуемой БТС можно корректно представить в виде трех групп элементов в зависимости от их состояния: находящиеся в эксплуатации, резерв и подлежащие восстановлению (ремонту);

- элементы, не подлежащие ремонту, исключаются из состава БТС.

Основные допущения:

- деструктивные воздействия могут влиять на все элементы БТС, а также персонал, запасы ресурсов и т.д.;

- в начальный момент времени (t_0) исследуемая БТС всегда устойчива.

Модель позволяет учитывать изменение исходных показателей функционирования БТС в зависимости от результатов воздействия неблагоприятных условий. Модель представляет собой совокупность взаимосвязанных таблиц, содержащих описание требований, критериев (таблица 1) и динамику изменений следующих основных показателей: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество подсистем (элементов), количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы по восстановлению своих элементов и результаты восстановления (примеры – таблицы 1 и 2). Установление простых и понятных критериев (таблица 1), при невыполнении хотя бы одного из которых БТС будет считаться неустойчивой, позволяет анализировать устойчивость БТС в зависимости от наступивших последствий эксплуатации в неблагоприятных условиях [2, с. 375]. В модели устойчивости

основная величина, характеризующая влияние качества систем на устойчивость БТС, – это количество времени (Δt_y), в течении которого БТС способна устойчиво функционировать в неблагоприятных условиях без поступления внешних ресурсов и при одинаковом количестве ресурсов, имевшихся в БТС в исходном состоянии, то есть до начала воздействия неблагоприятных условий.

Таблица 1.

Минимально необходимые требования
по обеспечению устойчивого функционирования БТС
за период времени (Δt_y) _____ (часы, минуты)
и основные критерии определения устойчивости БТС

№ п/п	Наименование показателя, (обозначение)	Единица измерения	Оценка устойчивости БТС в любой момент времени $t_i = t_0 + \Delta t_i$ на основании установленных критериев
1	Количество элементов, находящихся в эксплуатации (N_{min})	комплект	Если $N_i > N_{min}$, то система устойчива, если $N_i < N_{min}$, то система не устойчива, если $N_i = N_{min}$, то система на границе своей устойчивости.
2	Минимальное количество персонала необходимое для эксплуатации БТС ($L_{эк. min}$)	специалист	Если $L_{эк.i} > L_{эк. min}$, то БТС устойчива, если $L_{эк.i} < L_{эк. min}$, то БТС не устойчива, если $L_{эк.i} = L_{эк. min}$, то БТС на границе своей устойчивости.
3	Минимальные запасы ресурсов, необходимые для функционирования БТС ($X_{n min}$)	принятые ед. изм. ресурсов	Если $X_i > X_{n min}$, то БТС устойчива, если $X_i < X_{n min}$, то не устойчива, если $X_i = X_{n min}$, то БТС на границе своей устойчивости.
4	Минимально требуемый результат функционирования (Y_{min})	принятые ед. изм. результата	Если $Y_i \geq Y_{min}$, то система устойчива, если $Y_i < Y_{min}$, то система не устойчива.

При данном подходе (табл. 1) и принятых допущениях Модель может способствовать реализации системно-динамического подхода к моделированию технических рисков [3, с. 629].

Для заполнения таблицы 2 расчет значений показателей качества в момент времени t_i производится по формуле (1):

$$P_i = P_{i-1} - P_{ni} + P_{vi}, \quad (1)$$

где P_i – значение показателя в момент времени t_i ;

P_{i-1} – значение показателя перед наступлением момента времени t_i , то есть в момент времени t_{i-1} ;

P_{vi} – увеличение запасов ресурсов и (или) количества восстановленных элементов БТС (увеличение значения показателя к моменту времени t_i);

P_{ni} – потери ресурсов и потери (неисправности) элементов системы, то есть уменьшение значения показателя качества к моменту времени t_i или за период времени: $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$.

Таблица 2.

Динамика состояний устойчивого функционирования БТС
в заданные моменты времени ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$)
в течение периода времени (Δt_y) _____ (часы, минуты)

№ п/п	Обозначение показателей (ед. измер.)	t_0 БТС устойчива	t_1		...	$t_i = t_0 + \Delta t_y$	
		Колич. значения	Колич. знач.	Оценка устойчивости по критериям в таблице 1	...	Колич. знач.	Оценка устойчивости по критериям в таблице 1
1	N (комплект)	$N_0 > N_{min}$			...	N_i	
2	L (специалист)	$L_{эк.0} > L_{эк.min}$			...	$L_{эк.i}$	
3	X (принятые ед. изм. ресурсов)	$X_{n0} > X_{nmin}$			...	X_i	
4	Y (принятые ед. изм. результата)	$Y_0 \geq Y_{min}$			...	Y_i	

В разработанной Модели основной критерий устойчивости (таблица 1) выражается в том, что в любой момент времени t_i в оцениваемый период времени Δt_y :

$$P_i \geq P_{imin}, \quad (2)$$

где P_{imin} – минимально допустимое значение показателя качества системы в момент времени t_i .

Система устойчива, если в любой момент оцениваемого периода времени эксплуатации в неблагоприятных условиях (Δt_y) значение выбранного показателя качества больше или равно своему минимально допустимому значению, установленному на основе требований к системе.

Критерий оценки возможностей БТС по обеспечению своей устойчивости за счет восстановления неисправных (поврежденных) элементов, формула (3):

$$P_{vi} \geq P_{ni}, \quad (3)$$

БТС устойчива, если в любой момент оцениваемого периода времени значение (P_{vi}), выражающее наличие запасов ресурсов ($X_1, X_2, \dots, X_r$) и количества восстановленных элементов в составе системы (n_v), больше или равно значению (P_{ni}), которое выражает потери ресурсов и потери (неисправности) элементов исследуемой системы. Для обеспечения своей постоянной устойчивости БТС должна вовремя восстанавливать свои потери, в соответствии с установленными требованиями [4, с. 780].

В идеале при моделировании состояний устойчивости БТС в любой момент времени t_i оцениваемая система должна быть устойчива в любых неблагоприятных условиях, то есть должны выполняться условия, выраженные формулами (2) и (3) – будет выполняться равенство: $\Delta t_i = \Delta t_y$.

Выводы по моделированию, формулы и таблицы, разработанные в составе Модели нашли применение при разработке программы для ЭВМ «Оценка устойчивости систем», свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020615328, дата государственной регистрации 21.05.2020 года.

Таким образом, полученные в результате моделирования устойчивости БТС значения Δt_y рационально использовать при подготовке и обосновании управленческих решений по совершенствованию эксплуатации и технического обеспечения, а также в вопросах

подготовки персонала. В Модели Δu выступает основным показателем качества при оценке (сравнении) различных систем в сфере устойчивости аналогичных систем, функционирующих в одинаковых неблагоприятных условиях, или, например, при оценке качества БТС до и после модернизации элементов (изделий) в ее составе [1, 5]. Модель может быть использована для исследования устойчивости систем в неблагоприятных условиях, которые не рационально (невозможно) создать при реальной эксплуатации БТС.

Анализ результатов моделирования позволяет обоснованно использовать положительный опыт в обеспечении устойчивости БТС, которые функционировали большее количество времени в одинаковых неблагоприятных условиях, при заданных одинаковых затратах ресурсов и имевших одинаковый состав оцениваемых систем.

Список литературы

1. Билятдинов К.З., Красов А.В., Меняйло В.В. Исследование систем и анализ результатов испытаний. Монография. СПб: Астерион, 2019. – 362 с.
2. Wang Y., You S., Zhang H., Zheng X., Wei S., Miao Q., Zheng W. Operation stability analysis of district heating substation from the control perspective // *Energy and Buildings*. 2017. № 154. - P. 373-390.
3. Banerjee D., Jagadeesh P., Rao R.P. A system dynamic approach of technical risk modelling in transportation megaprojects // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. № 9(8). - P. 627-635.
4. Filz M., Herrmann C., Thiede S. Simulation-based Assessment of Quality Inspection Strategies on Manufacturing Systems // *Procedia CIRP*. 2020. Vol. 93. – P. 777-782.
5. Шестаков А.В. Введение в методологию обработки геопространственных данных генотипа телекоммуникаций: монография / СПб.: ГУАП, 2016. – 325с.

05.13.01

К.З. Билятдинов канд. воен. наук

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
Санкт-Петербург, k01b@mail.ru

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Представлены методика оценки выхода из строя заданного количества элементов технической системы в зависимости от вероятности выхода одного элемента в ее составе и методика оценки вероятности достижения цели функционирования технической системы в зависимости от временных характеристик и количества отказов (неисправностей), возникающих в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: *вероятность, методика, техническая система, неисправность, оценка, эксплуатация, эффективность.*

Современное развитие технологий привело к разнообразию состава технических систем (далее – систем) и увеличению как степени взаимного влияния качественных характеристик элементов в составе системы, так и влияния на эффективное функционирование систем. Актуальность разработки и практического применения методик оценки вероятностных характеристик систем основывается на результатах современных научных исследований [1, с. 1059], а также на повышении требований к эффективному и устойчивому функционированию систем, снижению риска системы при принятии управленческих решений [2, с. 288]. В особенности это касается систем, имеющих в своем составе автоматизированные системы управления и при решении задач интеграции [3] в целях повышения эффективности управления.

Для достижения этих целей разработана методика оценки вероятностных характеристик систем в зависимости от вероятности выхода из строя одного элемента в составе в системы (рис.1).

Теоретическая основа методики – исследования профессора Шишкина И.Ф. в сфере применения биномиального закона распределения в выборках с возвратом и без возврата [4, с. 303-304].

Основное назначение методики: расчет значений вероятности ($P_n(x)$) одновременного отказа (неисправности) количества элементов (x) в составе системы, при одновременном отказе (неисправности) которых система не выполнит свои функции за установленное время, и кумулятивной вероятности ($F_n(x)$).

Последовательность действий представлена на схеме – рисунок 1.

Выполнение расчетов (рис.1) основывается на формуле (1):

$$P_n(x) = C_n^x P^x (1-P)^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} P^x (1-P)^{n-x} \quad (1)$$

где C_n^x - число сочетаний из n элементов по x , при

$$F_n(x) = \sum_{k=0}^x P_n(k)$$



Рис. 1 – Схема методики оценки вероятностных характеристик систем

Для практического применения данной методики разработана программа для ЭВМ «Расчет и анализ вероятностных характеристик системы» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610203, 10.01.2020), реализующая Методику, которая позволяет проводить анализ вероятностно-временных характеристик отказов элементов (изделий) системы на основе первичных статистических данных, полученных за оцениваемое время эксплуатации систем. Программа может применяться для моделирования и анализа вероятности отказов заданного числа элементов системы и кумулятивной вероятности. Для достижения этой цели в программе предусмотрены следующие функциональные возможности: расчет вероятности отказов (неисправностей) задаваемого числа элементов системы и кумулятивной вероятности в зависимости от общего количество отказов элементов в системе (рис. 2). Программа выполняет построение и сравнение графиков и таблиц, а также их сохранение и экспорт в Word и (или) в Excel.

Недостатком предлагаемой методики является тот факт, что не всегда может быть точно известна величина $P(l)$ в требуемых условиях.

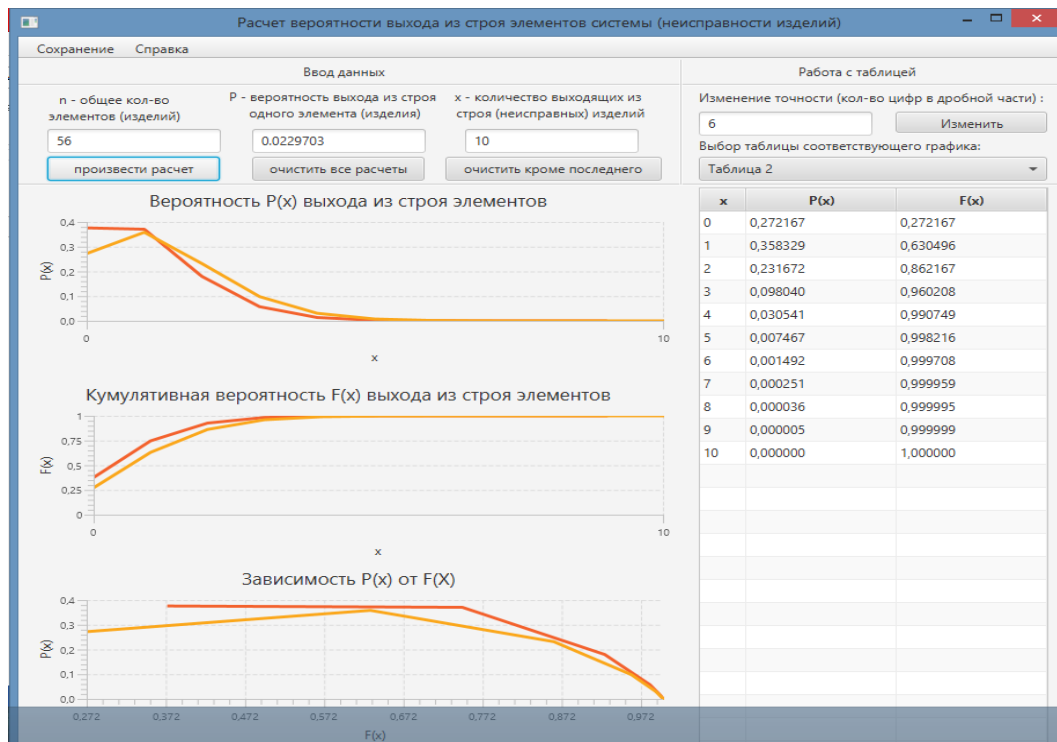


Рис. 2 – Результаты расчета вероятности выхода из строя элементов системы, при $P(10) = 0$ с заданной точностью шесть знаков после запятой

Поэтому дополнительно может быть использована методика оценки вероятности своевременного достижения цели функционирования системы совместно с программой для ЭВМ «Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019661734, 06.09.2019).

Назначение: расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в зависимости от времени безотказного функционирования системы, резервного времени и предельно возможного числа отказов (неисправностей) элементов в составе системы.

Методика основана на научных работах Г.И. Азарова в области применения интегрального уравнения Вольтерра второго рода второго порядка относительно указанной вероятности при расчетах вероятностно-временных характеристик системы связи [5, с.32] – формула (2):

$$P(t_n, t) = 1 - F(t_n) + \int_0^{t_n} \int_0^{t_0} P(t_n - \tau, t_0 - \Theta) dF_v(\Theta) dF(\tau) \quad (2)$$

где $P(t_n, t)$ – вероятность своевременного достижения цели функционирования системы при условии работоспособности системы в начальный период времени;

$1 - F(t_n)$ – вероятность безотказного функционирования системы в течении времени t_n ;

$P(t_n - \tau, t_0 - \Theta)$ - вероятность того, что система, находясь в начальный период времени в отказе, восстановит работоспособность и выполнит задачи раньше, чем будет израсходован остаток резервного времени $t_0 - \Theta$;

$dF_v(\Theta)$ – вероятность восстановления системы за время $\Theta < t_0$;

$dF(\tau)$ – вероятность первого отказа системы в момент $\tau < t_n$.

Методика и программа могут быть применимы в учебных целях, при моделировании динамики развития ситуации при неблагоприятных условиях в зависимости от числа отказов. На практике достаточно сложно точно спрогнозировать вводимые значения переменных (за исключением требуемого времени достижения цели) при влиянии деструктивных воздействий. Кроме того, в этой методике отсутствует зависимость своевременного достижения цели от затраченных ресурсов. Таким образом, методику и программу для ЭВМ целесообразно рассматривать в качестве дополнительного инструмента усиления основной методики оценки вероятностных характеристик (рис. 1).

В заключении важно отметить, что основной положительный эффект от разработки и внедрения методик и программ для ЭВМ состоит в существенном сокращении времени и ресурсов на оценку вероятностно-временных характеристик, а также на подготовку и проведение испытаний за счет моделирования на основе исходных данных о вероятности выхода из строя элементов оцениваемых систем.

Список литературы

1. *Calabrese R., Osmetti S.A.* A new approach to measure systemic risk: A bivariate copula model for dependent censored data // *European Journal of Operational Research*. 2019. Vol. 279(3). - P. 1053-1064.
2. *Pačaiová H., Sinay J., Nagyová A.* Development of GRAM – A risk measurement tool using risk based thinking principles // *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2017. № 100. - P. 288-296.
3. *Shafik M.B., Chen H., Rashed G.* Planning and reliability assessment to integrate distributed automation system into distribution networks utilizing binary hybrid PSO and GSA algorithms considering uncertainties // *International Transactions on Electrical Energy Systems*. 2020. Article e12594.
4. *Билятдинов, К.З., Красов, А.В., Меняйло, В.В.* Исследование систем и анализ результатов испытаний. Монография. СПб: Астерион, 2019. – 362 с.
5. *Азаров Г.И.* Теоретические основы анализа оперативности передачи информации в системах управления и связи. Москва: Академия ГПС МЧС РФ, 2012. – 80 с.

05.13.01

А.А. Василец

Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова,
факультет менеджмента и инженерного бизнеса,
кафедра информационных технологий и техносферной безопасности,
Казань, a.vasilets@mail.ru

СИММЕТРИЧНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ ТАНДЕМНОЙ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

В работе рассматривается оптический векторный анализатор (ОВА) симметричного типа, основанный на амплитудно-фазовой двухполосной модуляции с подавлением оптической несущей. Точные и стабильные частотные характеристики достигаются в нем путем формирования и минимизации в зондирующем излучении таких составляющих высших порядков, разностная частота которых не совпадает с разностной частотой двух основных измерительных составляющих первого порядка. По сравнению с известными решениями обработка спектральной информации ведется на частоте модуляции, а не на удвоенной частоте; в 2 раза увеличен рабочий диапазон ОВА по полосе пропускания тестируемых устройств;

Ключевые слова: *оптические высокодобротные структуры симметричного типа; симметричный оптический векторный анализатор; двухчастотное симметричное зондирующее излучение;*

Оптические высокодобротные структуры, к которым можно отнести высокодобротные оптические резонаторы и высокоизбирательные оптические фильтры брэгговского типа различной конфигурации, широко исследуются в последние десятилетия в силу их незаменимости в различных приложениях. К таким приложениям относятся измерение мгновенной частоты и фильтрация радиочастотных сигналов в системах радиофотоники, генерация оптических частотных гребенок, волоконно-оптическая сенсорика, используемая как в классических системах фильтрации и мониторинга волоконно-оптических линий связи и мультисенсорных волоконно-оптических системах контроля структурной целостности различных объектов, так и в новых системах мониторинга окон прозрачности высокодобротных нелинейных кристаллов. [1-6]

В этих приложениях может быть задействовано множество различных резонаторных технологий, некоторые из которых обладают сверхвысокой добротностью Q , например, резонаторы Фабри-Перо, резонаторы на основе мод шепчущей галереи, а также брэгговские структуры Фабри-Перо и с фазовыми π -сдвигами в пассивных и активных волокнах ($Q \sim 10^5$ до 10^8). Поэтому детальное знание их спектральных характеристик имеет важное значение для точного моделирования этих устройств и, таким образом, для достижения лучшей эффективности их применения.

Оптическая высокодобротная структура, как правило, симметричная (учитывая преимущественную симметричность высокодобротные резонаторы Фано не рассматриваются в данной работе), должна быть экспериментально охарактеризована, чтобы определить ее реальные параметры, среди которых: центральная частота ω_c или длина волны λ_c , полная ширина на полувысоте (FWHM), коэффициент передачи (ρ) и, наконец, ее добротность (Q).

Для решения этих задач были исследованы несколько методов точной характеристики оптических высокодобротных структур. Эти методы основаны либо на подходах сканирования несущей в оптической области, либо преобразовании частота-время, либо на подходах модуляционного преобразования оптической несущей радиосигналами и сканирования в радиочастотной области.

Третий метод, как наиболее широко применяемый сегодня, – метод оптического векторного анализа, использующий для сканирования однополосные, двухполосные ассиметричные по амплитуде и частоте излучения, на составляющих отстоящих от несущей частоты на значения, лежащие в микроволновом диапазоне и диапазоне тестируемого устройства. Такие оптические векторные анализаторы (ОВА) могут измерять характеристики высокочастотных оптических структур с очень высокой точностью, до 1 Гц.

В работе [7] продемонстрирован ОВА, схема которого построена на основе двухполосной модуляции с подавлением несущей. Используя амплитудный модулятор Маха-Цендера (ММЦ), оптическая несущая с частотой ω_0 модулируется радиочастотным сигналом ω_{RF} , формируемым в электрических векторном анализаторе цепей (ЭВАЦ). Оптическая несущая может быть подавлена условно полностью путем смещения амплитудного ММЦ в «нулевую» рабочую точку. При моделировании системы видно, что при прохождении через тестируемое устройство высших гармоник третьего порядка, возникнет ошибка на той же частоте измерения $2\omega_{RF}$. При этом сигнал ошибки формируется биениями между составляющими первого и третьего порядков. Данная ошибка будет вносить пропорциональную долю в составляющую погрешности измерений ОВА и может быть уменьшена, но не обнулена, только выбором специальных параметров модуляции оптической несущей. Кроме этого следует добавить, что в реальных модуляторах подавление составляющих четного порядка и несущей также осуществляется не полностью.

В работе [8] рассматривается схема симметричного ОВА на основе фазовой модуляции с фильтрацией оптической несущей. Используя фазовый модулятор, оптическая несущая с частотой ω_0 модулируется радиочастотным сигналом ω_{RF} , формируемым в ЭВАЦ. После этого сигнал с двойной боковой полосой отправляется в тестируемое устройство, в котором боковые полосы ± 1 -го порядка испытывают одинаковые амплитудно-фазовые изменения в соответствии с характеристиками передачи тестируемого устройства. При этом несущая фильтруется. Фотодетектор преобразует оптический сигнал в радиочастотный сигнал, а слабый радиочастотный сигнал дополнительно усиливается электрическим услителем. Далее фаза и величина радиочастотного сигнала на удвоенной частоте модуляции $2\omega_{RF}$ обрабатываются в ЭВАЦ.

На рис.1 показана структурная схема, поясняющая принцип работы симметричного ОВА на основе двухполосной амплитудно-фазовой модуляции с подавлением несущей. Используя амплитудный ММЦ, оптическая несущая с частотой ω_0 модулируется радиочастотным сигналом ω_{RF} на линейном участке модуляционной характеристики, формируемым в ЭВАЦ, а затем коммутируется по фазе на π в фазовом модуляторе (ФМ) в момент прохождения огибающей полученного АМ-излучения минимума (метод Ильина-Морозова [8,9]).

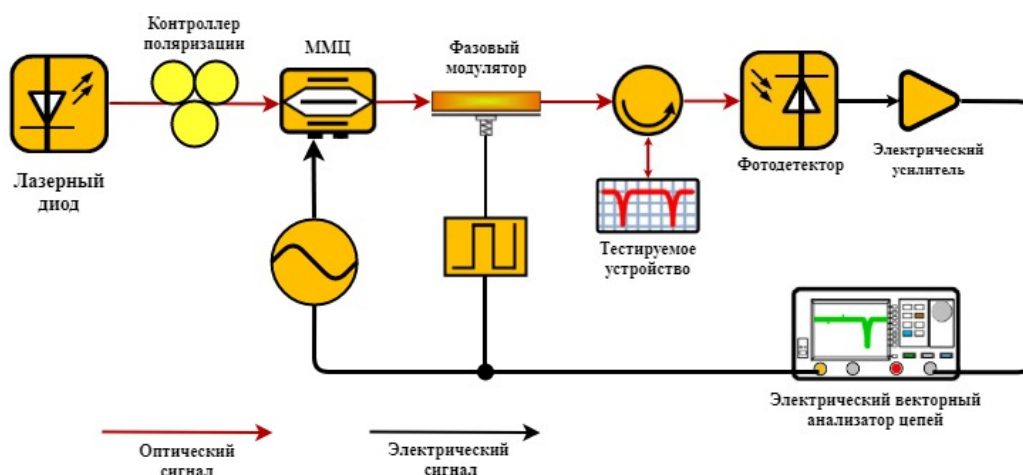


Рис.1 – Структурная схема симметричного ОВА на основе двухполосной амплитудно-фазовой модуляции с подавлением несущей

Рассмотрим случай модуляции несущей (рис. 2,а) колебанием $S(t) = S \cdot \cos(\omega_{RF}t + \pi)$. Для работы на линейном участке модуляционной характеристики зададимся постоянным смещением $\Gamma_{\pi} = \pi/2$. Напряженность поля выходной оптической волны ММЦ (рис. 2,б) будет описываться выражением

$$E_{AM}(t) = E_0 \sin[(\Gamma_{\pi} + \Gamma_0 \cos(\omega_{RF}t + \pi))/2] \cos \omega_0 t. \quad (1)$$

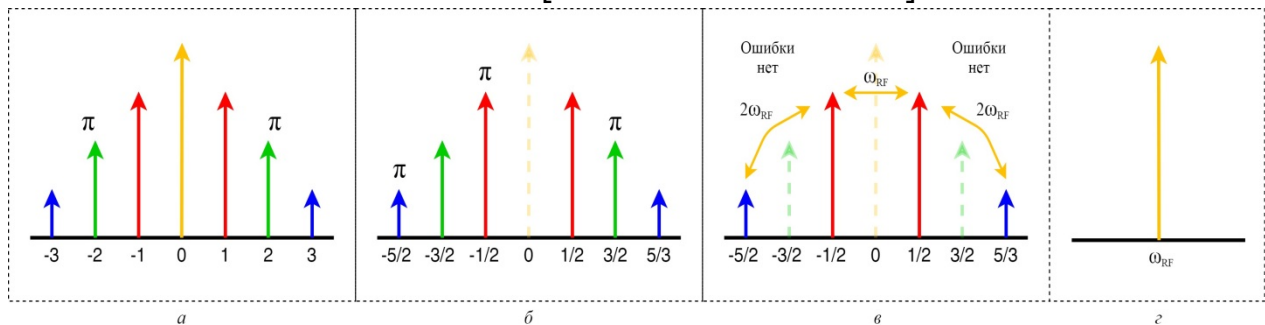


Рис. 2 – Спектральные характеристики зондирующего излучения: на выходе АМ ММЦ (а), выходе фазового модулятора (б), тестируемого устройства (в) и фотоприемника (г); π - фаза отдельных составляющих

Произведя элементарные математические преобразования и, ограничившись $p \leq 2$, поскольку $J_0(x), J_1(x), J_2(x) \gg J_3(x), J_4(x), \dots$ при $x \leq \pi/2$, получим:

$$E_{AM}(t) = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \left[J_0\left(\frac{\Gamma_0}{2}\right) + 2J_1\left(\frac{\Gamma_0}{2}\right) \cos \omega_{RF}t - 2J_2\left(\frac{\Gamma_0}{2}\right) \cos 2\omega_{RF}t \right] \cos \omega_0 t, \quad (2)$$

где $2 \frac{J_n(\Gamma_0/2)}{J_0(\Gamma_0/2)} = m_n$ – определяет парциальный коэффициент АМ.

Далее, согласно второй операции метода, проведем коммутацию фазы полученного АМ-колебания на π в момент прохождения его огибающей минимума. Учитывая модуляционную характеристику ФМ можно записать для напряженности поля на его выходе (рис. 2,в):

$$E_{АФМ}(t) = E_0 \sin \left[\frac{\Gamma_{\pi} + \Gamma_0 (\cos \omega_{RF}t + \pi)}{2} \right] \begin{cases} \cos \omega_0 t \\ \cos(\omega_0 t + \theta) \end{cases} \quad (3)$$

где $\theta = 0$ и $\theta = \pi$ для разных периодов АМ-колебания.

Анализ колебаний такого вида позволяет записать для коэффициентов ряда Фурье (3):

$$E_n = \frac{2E}{\pi} \left\{ \frac{1}{n} - \frac{m_1}{2} \left[\frac{1}{n-2} + \frac{1}{n+2} \right] - \frac{m_2}{2} \left[\frac{1}{n-4} + \frac{1}{n+4} \right] \right\}. \quad (4)$$

Для решения задачи, при которой амплитуда составляющей третьего порядка на выходе тандема модуляторов будет равна 0, необходимо выбрать $m_1 = 2J_1(\Gamma_0/2)/J_0(\Gamma_0/2) \sim 5/9$, а $m_2 = 2J_2(\Gamma_0/2)/J_0(\Gamma_0/2) \sim -1/25$.

Подставив в (4) необходимые значения, получим $E_1 = 0,45E_0$, $E_3 = 0$, $E_5 = 0,015E_0$ (рис. 2,г). Тогда спектр излучения при реализации амплитудно-фазового способа в системе ММЦ-ФМ содержит:

$$E_{АФМ}(t) = 0,45E_0 \{ \sin(\omega_0 + \omega_{RF})t - \sin(\omega_0 - \omega_{RF})t \} + \\ + 0,015E_0 \{ \sin(\omega_0 + 5\omega_{RF})t - \sin(\omega_0 - 5\omega_{RF})t \} + \dots \quad (5)$$

Таким образом, задача получения зондирующего излучения, составляющие высшего порядка которого не создают погрешности измерения решены. При этом в отличие от ОВА, рассмотренных в других работах, указанных ранее, обработка информации в ЭВАЦ ведется на частоте модуляции, а не удвоенной. Это свидетельствует и об улучшении еще одной характеристики – увеличению в 2 раза диапазона тестируемых устройств по характеристике FWHM.

Список литературы

1. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О. и др. Инициализация центральной длины волны восходящего потока транспортного WDM-PON домена радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 2 (46). С. 70-86.
2. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О. и др. Рефлектометрические методы настройки длины волны лазера восходящего канала в транспортном WDM-PON домене радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 3 (47). С. 66-84.
3. Морозов О.Г., Нуреев И.И., Сахабутдинов А.Ж. и др. Измерение мгновенной частоты микроволновых сигналов с использованием тандемной амплитудно-фазовой модуляции в оптическом диапазоне // Фотон-экспресс. 2019. № 5 (157). С. 16-24.
4. Иванов А.А., Дмитриев Д.С., Морозов О.Г. и др. Измерение мгновенной частоты множества микроволновых сигналов на основе методов вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и предварительного двухчастотного расщепления // Известия высших учебных заведений. Физика. 2017. Т. 60. № 12-2. С. 130-134.
5. Морозов О.Г., Морозов Г.А., Сахабутдинов А.Ж. и др. Радиофотонные двухчастотные способы интеррогации однотипных волоконных брэгговских решеток, объединенных в группу // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2017. Т. 20, № 2. С. 21-34.
6. Dai J., Chen Z., Wang X. et al. Accurate optical vector network analyzer based on optical double-sideband suppressed carrier modulation // Optics Communications. 2019. V. 447. pp. 61–66.
7. Chen Z., Dai J., Long Y. et al. Long-term measurement of high Q optical resonators based on optical vector network analysis with Pound-Drever-Hall technique // Opticsexpress. 2018. Vol. 26, No. 21. pp. 26888-26895.
8. Morozov O.G., Morozov G.A., Il'in G.I. and Sadeev T.S. Synthesis of Two-Frequency Symmetrical Radiation and Its Application in Fiber Optical Structures Monitoring,” [Fiber Optic Sensors], Rijeka: InTech, 2012, pp. 137-164.
9. Morozov O.G., Morozov G.A., Nureev I.I. and Talipov A.A. Polyharmonic Analysis of Raman and Mandelstam-Brillouin Scatterings and Bragg Reflection Spectra,” [Advances in Optical Fiber Technology: Fundamental Optical Phenomena and Applications], Rijeka: InTech Europe, 2015, pp. 55-97.

05.13.01

**И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, А.А. Ермаков канд. экон. наук,
С.Н. Падалко д-р техн. наук**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru, aleral@mail.ru, snp7@inbox.ru

БЫСТРЫЙ СТАРТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

В статье описано, как с минимальными затратами начать дистанционное обучение с использованием сети Интернет и электронной почты для студентов и аспирантов высших учебных заведений, а также слушателей курсов профессиональной переподготовки. В контексте статьи учащиеся представляются людьми взрослыми и обладающими определенной самостоятельной мотивацией к освоению учебного материала. Рассматривается минимальный набор необходимых технических и программных средств для преподавателей и студентов, а также подходы к организации процесса дистанционного обучения.

Ключевые слова: организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, технологии дистанционного обучения, разработка методов дистанционного обучения.

До повсеместного распространения сети Интернет дистанционное обучение (ДО) приходилось организовывать с использованием обычной почты. Сначала от учебного заведения студентам рассылались печатные учебные материалы, задания и методические указания по обучению. Позже вместо печатных материалов стали использовать цифровые носители для экономии объема и веса пересылаемой корреспонденции. Через определенные промежутки времени студенты, обучавшиеся дистанционно, также по обычной почте должны были присылать в учебное заведение выполненные задания на бумаге или цифровых носителях для проверки преподавателями и получать ответы с указаниями и оценками.

Этот процесс требовал большого объема создаваемых печатных материалов, рассылки и ожидания их доставки обычной почтой, что являлось делом затратным и долгим. Ни о какой интерактивности взаимодействия учащихся с преподавателем речи идти не могло. Такое взаимодействие имело множество недостатков по сравнению с живым общением при традиционном очном обучении.

С массовым распространением персональных компьютеров (ПК) появилась и стала активно использоваться возможность изначальной разработки учебных и методических материалов в электронном виде для их последующей печати или распространения на цифровых носителях.

С распространением высокоскоростного Интернета необходимость в цифровых носителях для распространения учебных и методических материалов непрерывно уменьшается, поскольку все большее количество учащихся обеспечено постоянным высокоскоростным доступом к сети Интернет. В настоящее время цифровые носители выступают чаще не средством передачи материалов в электронном виде, а средством архивного хранения материалов, чтобы обезопасить их от возможных технических сбоев и нежелательных воздействий различных факторов или лиц.

Сегодня при использовании Интернета и электронной почты для организации ДО достаточно наличия у всех участников ПК, подключенных к Интернету, и стандартных веб-браузеров.

При такой организации ДО общение между преподавателем и учащимися происходит по электронной почте, итоговая оценка выставляется по результату выполнения индивидуального итогового задания или по сумме баллов за выполнение текущих заданий. Для мотивации учащихся может использоваться рейтинг.

Процесс ДО может быть построен следующим образом.

Действия преподавателя

Разрабатывает учебные материалы по дисциплине.

Разрабатывает текущие и итоговые задания по дисциплине.

Разрабатывает методические указания по дисциплине.

Составляет план выполнения заданий.

Рассылает по электронной почте в виде файлов или ссылок для скачивания (если используется облачное хранилище) лекции, задания, методические указания и план учащимся.

Консультирует учащихся по электронной почте по лекциям и заданиям.

Уточняет учебные материалы, задания и методические указания на основе обсуждения с учащимися.

Принимает по электронной почте и проверяет письменные работы учащихся по заданиям.

Выставляет оценки, ведет учет успеваемости и формирует рейтинг учащихся для мотивации.

Рассылает по электронной почте оценки и рейтинг учащимся.

Действия учащегося

- Получает по электронной почте в виде файлов или ссылок для скачивания и изучает учебные материалы.

- Получает по электронной почте, выполняет в соответствии с методическими указаниями и отправляет преподавателю выполненные задания.

- Задает вопросы преподавателю по электронной почте по учебным материалам, выполняемым заданиям и методическим указаниям.

- Получает по электронной почте оценки и рейтинг успеваемости.

Техническое обеспечение учебного процесса

Для такой работы студенты и преподаватель должны иметь ПК или другие устройства с доступом в Интернет, а также индивидуальные адреса электронной почты. Используемые устройства могут иметь операционные системы Windows, Linux, macOS, Android, iOS.

Из прикладного ПО требуются: стандартный веб-браузер; почтовый клиент; пакет офисных приложений, включающий текстовый и табличный редакторы, программу для создания презентаций; специальное ПО для выполнения заданий [1, 2] или подключения к виртуальным рабочим местам в удаленных лабораториях [3, 4], если предусмотрено дисциплиной.

Преподаватель дополнительно должен иметь на своем ПК программы для создания и обработки растровых и векторных изображений.

Для учащихся использование стандартных веб-браузеров позволяет при наличии стабильного высокоскоростного подключения к сети Интернет заменить системами с веб-интерфейсом программные клиенты электронной почты, офисные приложения и программы для просмотра медиафайлов, картинок и PDF.

Чтобы не рассылать одинаковые письма каждому учащемуся отдельно, могут использоваться группы контактов. Такая возможность есть во многих потовых клиентах и почтовых сервисах.

Чтобы не рассылать файлы каждому учащемуся, могут использоваться облачные файловые хранилища, которые позволяют выкладывать файлы объемом до нескольких гигабайт каждый, после чего создавать ссылку на скачивание этих файлов. Ссылка на скачивание выложенных файлов может быть действительна постоянно или временно. Ее можно выслать учащемуся в электронном письме с сопроводительным описанием, и такое письмо будет доставлено при любых ограничениях на размер приложенного к письму файла.

Администрирование учебного процесса

При отсутствии специализированного ПО и использования виртуальных рабочих мест системный администратор не требуется, т. к. учащиеся и преподаватели сами обслуживают свои ПК, за подключения к Интернет отвечают провайдеры, за работу электронной почты и используемых облачных файловых хранилищ – специалисты на стороне этих сервисов.

Организационное администрирование ДО по части состава групп учащихся выполняется, как при очной форме обучения, администрацией учебного заведения. Журнал активности работы и успеваемости учащихся по предмету ведет преподаватель. На основе этого журнала составляется рейтинг учащихся. Проставление итоговых оценок осуществляется преподавателем в бумажные ведомости, как при очной форме обучения.

Вывод

Такая организация учебного процесса позволяет при наличии разработанных электронных версий учебных, методических материалов и заданий в кратчайшие сроки перевести учебный процесс из очного режима в полностью дистанционный практически для любой дисциплины.

Одновременно с обеспечением ДО такая организация учебного процесса позволяет обеспечить индивидуальную образовательную траекторию для учащихся, интенсификацию общения с преподавателем, повышение доступности материалов по дисциплине, а также уменьшение затрат времени учащихся и преподавателей на рутинный поиск информации.

В обычном очном режиме обучения такая организация учебного процесса может стать хорошим подспорьем для повышения интенсивности взаимодействия преподавателя с учащимися и повышения качества обучения по дисциплине. Дополнительным преимуществом выдачи материалов учащимся в электронном виде является возможность их быстрого обновления с учетом полученных отзывов учащихся.

Список литературы

1. *Столярчук В.А.* Программная система для обучения разработчиков САЕ-приложений // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 394-397.
2. *Столярчук В.А.* Программный комплекс как учебный объект разработки // Программные продукты и системы. 2016, №1. С.140-145.
3. *Кондрашов Ю.Н.* Использование аналитических технологий в системах поддержки принятия решений на этапах жизненного цикла аэрокосмических изделий // Научно-технический вестник Поволжья. Казань 2019. № 5. С. 37-41.
4. *Кондрашов Ю.Н.* Развитие хранилищ данных для работы с Big Data в системах поддержки принятия решений // Научно-технический вестник Поволжья. Казань 2019. № 9. С. 30-33.

05.13.01

**И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, А.А. Ермаков канд. экон. наук,
А.Ю. Степаненко канд. техн. наук**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru, aleral@mail.ru, ste@inmas.ru

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ С ПОМОЩЬЮ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

В статье описаны возможности применения неспециализированных веб-приложений в процессе дистанционного обучения студентов и аспирантов высших учебных заведений, а также слушателей курсов профессиональной переподготовки. В контексте статьи учащиеся представляются людьми взрослыми и обладающими определенной самостоятельной мотивацией к освоению учебного материала. Рассматриваются виды неспециализированных веб-приложений, а также подходы к организации процесса дистанционного обучения с их помощью.

Ключевые слова: организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, веб-приложения для дистанционного обучения, разработка методов дистанционного обучения.

С переходом к подготовке всех учебных материалов в электронном виде возник запрос на цифровое распространение этих материалов, чтобы снизить стоимость публикации и увеличить скорость распространения информации. Скоро стало понятно, что съемные цифровые носители не могут полностью удовлетворить потребности в быстром распространении и обновлении материалов в случае их изменения.

Распространение сети Интернет дало авторам учебных материалов новые возможности для быстрого распространения информации. Уже первые статические веб-сайты позволили ускорить распространение информации и оперативно обновлять материалы, а переход к использованию веб-приложений (динамических веб-сайтов) обеспечил дополнительные возможности работы с контентом и пользователями.

Применение неспециализированных веб-приложений для организации дистанционного обучения (ДО) постепенно расширялось от распространения учебных материалов в виде текстового и графического контента, а также файлов для скачивания до добавления возможностей группового общения и совместного редактирования текстов. Развитие ДО на базе неспециализированных веб-приложений делится следующие этапы.

1. Статический веб-сайт – требует знания HTML и CSS, операции редактирования и структурирования контента производятся вручную без автоматизации. Поиска по сайту нет. Разделение прав доступа пользователей к материалам осуществляется средствами веб-сервера. Возможностей общения с пользователями через веб-сайт нет.

2. Динамический веб-сайт с системой управления контентом [1] – требует HTML и CSS в меньшем объеме, т.к. имеет визуальный редактор разметки [2]. Редактирование и структурирование контента автоматизированы. Есть поиск по сайту. Разделение прав доступа пользователей к материалам осуществляется системой управления контентом, что значительно упрощает работу, позволяет управлять большим количеством пользователей и индивидуальной доступностью материалов. Возможности общения с аудиторией сайта ограничены возможностью оставления комментариев к публикациям и формой обратной связи.

3. Динамический веб-сайт с системой управления контентом и форумом [3] – в дополнение к возможностям предыдущего варианта использование форума обеспечивают групповое тематическое общение и личное общение с сохранением всей истории переписки, а также дает возможности разделять пользователей на группы и обеспечивать модерацию общения.

4. Динамический веб-сайт с вики-системой управления контентом и форумом – в дополнение к возможностям предыдущего варианта вики-система [4] позволяет редактировать страницы веб-сайта пользователям без знания HTML и CSS, хранить версии всех правок содержимого страниц, автоматически сравнивать и просматривать отличия, при необходимости вернуться к любой предыдущей версии. Таким образом обеспечивается возможность группового редактирования текстов веб-сайта.

Для такой организации ДО достаточно наличия у всех участников любых устройств, подключенных к Интернету, имеющих стандартные веб-браузеры. При этом общение между преподавателем и учащимися происходит на веб-сайте и по электронной почте, итоговая оценка выставляется по результату выполнения индивидуального итогового задания или по сумме баллов за выполнение текущих заданий. Для мотивации учащихся может использоваться рейтинг.

Процесс ДО с использованием веб-сайта на базе вики-системы и форума может быть организован следующим образом.

Действия преподавателя

Разрабатывает учебные материалы по дисциплине, в том числе, лекции, текущие и итоговые задания, методические указания по выполнению заданий и план выполнения заданий.

Выкладывает на веб-сайт в виде веб-страниц, файлов или ссылок для скачивания (если файлы выкладываются в облачное хранилище) лекции, задания, методические указания и план учащимся, файлы с рейтингом по дисциплине, а также вводное описание.

Создает на форуме раздел, соответствующий преподаваемой дисциплине, куда учащиеся смогут задавать свои вопросы, чтобы эти вопросы не путались.

Рассылает по электронной почте учащимся ссылки на страницы веб-сервера, где они могут получить доступ к учебным материалам, рейтингу и обсуждениям по дисциплине.

Консультирует учащихся на форуме и по электронной почте по лекциям и заданиям.

Фиксирует общие вопросы переписки по электронной почте на форуме, создавая соответствующие закреплённые темы.

Формализует и фиксирует выработанные в ходе обсуждения ответы на общие вопросы на новых страницах в системе управления контентом.

Уточняет учебные материалы на основе обсуждения с учащимися.

Принимает по электронной почте или через личные сообщения на форуме и проверяет письменные работы учащихся по заданиям.

Выставляет оценки, ведет учет успеваемости и формирует рейтинг учащихся для мотивации.

Выкладывает рейтинг учащихся на веб-сервер или в облако и размещает ссылку на веб-странице дисциплины в системе управления контентом.

Действия учащегося

- Читает на веб-сайте или скачивает и изучает учебные материалы.
- Выполняет в соответствии с методическими указаниями и отправляет преподавателю выполненные задания по электронной почте или через личные сообщения на форуме.
- Задает вопросы преподавателю по электронной почте или на форуме, а также другим учащимся на форуме, по учебным материалам и выполняемым заданиям.
- Получает по электронной почте оценки и рейтинг успеваемости.

Техническое обеспечение учебного процесса

Для такой работы студенты и преподаватель должны иметь техническое обеспечение аналогичное этапу организации ДО с помощью электронной почты – ПК или другие устройства с доступом в Интернет.

Для организации веб-сервера с форумом и системой управления контентом требуется виртуальный хостинг или выделенный сервер с набором серверного программного обеспечения (ПО) и, если планируется выкладывание больших файлов, облачное хранилище. Также требуется ПО для организации вики-системы и форума.

Использование вики-системы и форума позволяет преподавателю не рассылать отдельно каждому учащемуся одинаковые письма, а публиковать общую информацию на форуме или в вики-системе и пользоваться автоматическим уведомлением пользователей из предварительно созданных групп по дисциплинам. Такая возможность есть во всех форумах и вики-системах.

Администрирование учебного процесса

Для администрирования и поддержания в рабочем состоянии вики-системы и форума требуется веб-мастер.

Организационное администрирование ДО по части состава групп учащихся выполняется, как при очной форме обучения, преподавателем и администрацией учебного заведения.

Вывод

Такой подход к организации ДО позволяет быстро начать работу, наращивать объем и поддерживать актуальность материалов на веб-сайте с минимальными трудозатратами. При этом продолжительное начальное освоение инструментов не потребуется. Это станет хорошим дополнением к традиционному очному обучению, позволит повысить интенсивность, качество и доступность обучения, а также увеличить количество учащихся.

Список литературы

1. White, M. The Content Management Handbook / M. White – London: Facet Publishing, 2005. – 149 p.
2. Best WYSIWYG Editors Software [Электронный ресурс] // Business Software and Services Reviews. G2. – URL: <https://www.g2.com/categories/wysiwyg-editors> (дата обращения 10.11.2020).
3. Top 9 Best Open Source Forum Software to Self Host 2020 [Электронный ресурс] // It's FOSS - World's Leading Linux & Open Source Web Portal – URL: <https://itsfoss.com/open-source-forum-software/> (дата обращения 10.11.2020).
4. Wiki software [Электронный ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Wiki_software (дата обращения 10.11.2020).

05.13.01

О.К. Головнин канд. техн. наук, П.А. Пушкин

Самарский университет, факультет информатики,
кафедра информационных систем и технологий,
golovnin@ssau.ru

ОПЕРАТИВНО-СОВЕТУЮЩАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В работе представлена разработанная оперативно-советующая экспертная система для пространственно-временного планирования маршрутов движения в процессе курьерской доставки грузов или в службе такси. Результаты исследования показали, что использование системы увеличивает эффективность планирования маршрутов на 10%.

Ключевые слова: *распределенная координация, пространственно-временной спрос, стратегия размещения.*

Введение. В условиях современной городской среды время ожидания выступает ключевым фактором при выборе транспортно-логистического сервиса, например, службы такси или доставки. Время подачи автомобиля или прибытия курьера может варьироваться в зависимости от загруженности дорог, времени суток и множества других факторов. Видится разумным добиться сокращения времени ожидания за счет применения системы координации и планирования транспортной логистики, опирающейся на прогнозные данные.

Так, например, способы выдачи рекомендаций «горячих точек» для водителей такси изучались многими исследователями, среди них высокую эффективность показали методы на основе анализа схемы приема пассажиров [1], на основе систем рекомендаций [2] и расчета регионов, приносящих высокие доходы [3]. А координация на основе использования метода Монте-Карло позволяет выполнять прогнозы секторов с точки зрения получения заказа [4]. Однако применение таких методов эффективно только тогда, когда накоплен существенный массив данных. Поиск оптимального расположения с использованием распределённой координации обычно выполняется на основе кластерного подхода, также применяемого для крупномасштабного набора данных [5]. Изучение пространственно-временных динамических атрибутов может выполняться с учетом расположения автомобилей такси на основе траектории GPS и анализа, опять-таки, больших данных [6, 7]. Следовательно, задачи динамической маршрутизации в транспортно-логистических системах являются сложными и, как правило, зависят от имеющихся данных [8, 9], при этом применение систем интеллектуального управления позволяет добиться высокой эффективности решения такого рода задач только при возможности воздействовать на инфраструктуру и транспортные потоки в целом [10]. Учеными и практиками активно развиваются методологии поиска оптимальных решений оперативного планирования перевозок в динамических условиях [11-13], что говорит о том, что данная тема является востребованной, при этом применение геоинформационных технологий становится обязательным для решения таких задач [14-16].

Таким образом, научная статья посвящена оптимизации транспортной логистики в динамически меняющейся городской среде путем разработки оперативно-советующей экспертной системы для пространственно-временного планирования маршрутов движения динамических объектов. При таком планировании выполняется анализ характеристик, изменяемых во времени и пространстве, и дополняемых, при наличии, историческими данными, которые, в таком случае, выходят на второй план.

Методология. В настоящей работе предлагается выполнять поиск расположений динамических объектов с использованием распределенной координации, при которой учитываются не только спрос и время заказа, но и другие доступные факторы. За основу

методологии взят подход, изложенный в [5], усовершенствованный путем введения коэффициента в нормализованный показатель расстояния (DS_l), а именно коэффициента доступности дороги AR_l . Отсюда следует, что формула нормализованного показателя расстояния (DS_l) изменится следующим образом:

$$DS_l = \left(S_{max} - \frac{D(T, L) \times S_{max}}{R} \right) \times AR_l,$$

где L – кластерный центроид в пределах диапазона, S_{max} – оценка максимальной дистанции, $D(T, L)$ – расстояние от текущего местоположения до выбранного, R – максимально допустимое расстояние местоположений, AR_l – коэффициент доступности дороги.

Коэффициент доступности дороги (AR_l) принимается как обратное значение к времени пути на основании агрегаторов карт до центроида кластера L : $AR_l = TC_l^{-1}$, где TC_l – время в пути до центроида кластера L на основании агрегаторов карт.

Также стоит учитывать не только загруженность дороги от текущего местоположения до центроида кластера, но и загруженность дорог самого кластера, т.е. следует отбирать кластеры с менее загруженными дорогами. Для этого вводится оценка AC_l в формулу оценки местоположения (FS_L):

$$FS_L = \alpha CS_l + \beta GS_l + \mu DS_l + \partial AC_l,$$

где CS_l – оценка кластера месторасположения L , GS_l – оценка сетки месторасположения L , DS_l – нормализованный показатель расстояния, AC_l – оценка загруженности дорог кластера на основании агрегаторов карт, α , β , μ , ∂ – соответствующие веса для показателей.

Программная реализация и оценка эффективности. Поскольку в разрабатываемой системе учитывается пространственное расположение сразу нескольких объектов, объединенных в единую сеть, то для реализации выбрана клиент-серверная архитектура. Отображение рекомендованного местоположения реализовано в виде маркера с координатами на карте, а построение маршрута к рекомендованному местоположению выполнено в оперативно-советующем режиме (рис. 1).

Для оценки эффективности был использован коэффициент попадания:

$$HR = \frac{\sum_t \sum_c \sum_d \min(Taxi_c^{d,t}, Passengers_c^{d,t})}{\sum_t \sum_c \sum_d Taxi_c^{d,t}},$$

где t – временной интервал, c – кластер, сформированный во временном интервале, d – день тестирования данных, $Taxi_c^{d,t}$ – количество доступных динамических объектов в данном кластере; $Passengers_c^{d,t}$ – количество запросов клиентов в данном кластере.

Результаты расчетов, приведенные в таблице, показывают, что предложенная реализация повышает эффективность планирования на 10%.

Таблица – Результаты оценки эффективности рекомендаций

Дни	HR (до рекомендации)	HR (после рекомендации)
Будни	0,47	0,51
Пятница	0,44	0,49
Суббота	0,44	0,48
Воскресенье	0,46	0,51

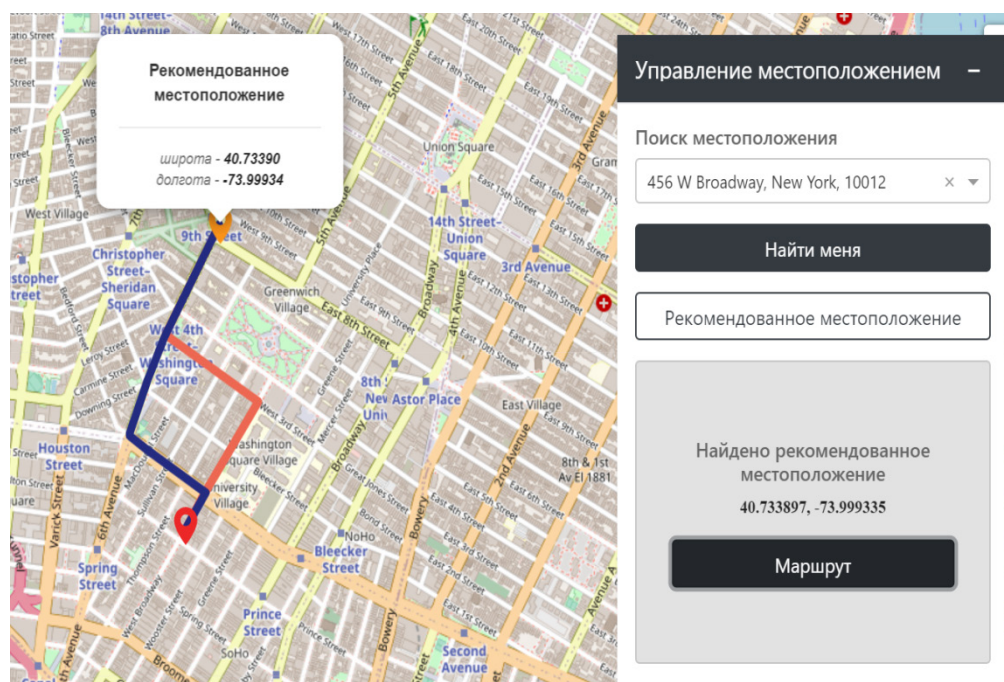


Рис. 1 – Маршрут к рекомендованному местоположению в системе

Заключение. Таким образом, разработана оперативно-советующая экспертная система для пространственно-временного планирования маршрутов движения динамических объектов. Разработанная система позволяет в режиме онлайн получать информацию о необходимости смены пространственного местоположения объекта в конкретный момент времени. Система применима при выполнении адресной курьерской доставки грузов или в службе такси.

Список литературы

1. Lee J., Shin I., Park G. Analysis of the passenger pick-up pattern for taxi location recommendation // 4th Int. Conf. on Networked Computing and Advanced Information Management. IEEE, 2008. Vol. 1. P. 199-204.
2. Where to find my next passenger / Yuan J. [et al.] // Proc. of the 13th Int. conf. on Ubiquitous computing. 2011. P. 109-118.
3. Towards reducing taxicab cruising time using spatio-temporal profitability maps / Powell J. [et al.] // Proc. of the 12th Int. Conf. on Advances in Spatial and Temporal Databases. 2011. P. 242-260.
4. Kirilyuk A., Trofimova I. Optimization of taxi request order coordination using Monte-Carlo method // Proc. of the 3rd Int. Conf. on Applications in Information Technology. 2018. P. 154-157.
5. Efficient taxi and passenger searching in smart city using distributed coordination / Agrawal A. [et al.] // 21st Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2018. P. 1920-1927.
6. Location optimization for urban taxi stands based on taxi GPS trajectory Big Data / Qu Z. [et al.] // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 62273-62283.
7. Башина О.Э., Матраева Л.В. Возможности применения глобальных технологий Big Data для повышения эффективности логистических процессов // Знание. Понимание. Умение. 2017. № 3. С. 186-193.
8. Кубил В.Н., Чернышев Ю.О. Обзор динамических задач маршрутизации транспорта // Программные продукты и системы. 2020. № 3. С. 491-501.
9. Дмитриев А.В. Управление транспортно-логистическими системами в условиях цифровизации // Известия СПбГЭУ. 2020. №2(122). С. 163-170.
10. Головнин О.К. Системный анализ и моделирование объектов, процессов и явлений транспортной инфраструктуры в технических системах управления движением // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 6-2 (86). С. 301-310.

11. Воробьёва О.М. Методология поиска оптимальных решений оперативного планирования грузовыми перевозками в динамически изменяющихся экономических условиях // Транспортное дело России. 2019. № 5. С. 188-192.
12. Гладков Л.А., Гладкова Н.В. Особенности и новые подходы к решению динамических транспортных задач с ограничением по времени // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 7(156). С. 178-187.
13. Формирования маршрута движения транспорта при доставке товаров потребителям / Кирпичников А.П. [и др.] // Вестник ТОГУ. 2019. Т. 22. № 8. С. 175-180.
14. Бекбоев А.Р., Арыкбаев К.Б. Геоинформационная система (ГИС) это оптимизация маршрутов и мониторинг транспорта // Вестник КГУСТА. 2013. №. 4. С. 58-61.
15. Головнин О.К., Сидоров А.В., Михайлов Д.А. Поддержка принятия решений автоматической дислокации геообъектов транспортной инфраструктуры // Известия СНЦ РАН. 2014. Т. 16. №4-2. С. 413-418.
16. Татарникова Т.М., Яготинцева Н.В. Методическое обеспечение проектирования инфраструктуры географических информационных систем динамического объекта // Программные продукты и системы. 2019. № 3. С. 377-383.

05.13.01

Н.С. Кашульская, В.И. Мельников д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики
им. академика Ф.М. Митенкова,
Нижний Новгород, nkashulskaya@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ В РАЙОНАХ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

В данной работе рассмотрены основные требования и характеристики ветровых и атомных станций малой мощности для работы в условиях децентрализованного энергоснабжения. Сделаны выводы о целесообразности применения ветряных источников энергии в условиях регионов со слабой инфраструктурой, по сравнению с плавучим энергоблоком.

Ключевые слова: АСММ, ветряные станции, сравнительный анализ, эффективность.

В настоящее время восточная часть территории России представляет собой малонаселенное пространство со слабо развитой инфраструктурой. Экономическое развитие таких территорий вызвано необходимостью освоения месторождений полезных ископаемых и, естественно, нуждается в доступных источниках энергии. Так, например, Чукотский АО является одним из самых перспективных на Дальнем Востоке регионом для добычи ценных металлов, минералов и других полезных ископаемых. По экономическим причинам из-за значительной географической удаленности месторождений передача электроэнергии промышленным площадкам по добыче различных природных ресурсов от имеющихся источников невозможна.

В настоящее время для энергоснабжения отдаленных территорий начали использовать атомные станции малой мощности (АСММ). АСММ производятся в европейской части страны и в готовом виде транспортируется к месту эксплуатации по Северному морскому пути. В частности, так был поставлен в порт г. Певек плавучий энергоблок «Академик Ломоносов», созданный на базе установки КЛТ-40 [1].

Основные проблемы использования вышеприведенного источника энергии, выявленные в ходе анализа, заключаются в следующем:

- невозможность размещения в местах удаленных от существующих водных путей;
- необходимость планового капитального ремонта и замены ядерного топлива в сухом доке каждые 10 – 12 лет, что требует транспортировки его на завод – изготовитель;
- изменение температурного режима окружающей среды, вследствие сброса значительного количества тепла от установки в окружающую среду;
- с точки зрения ядерной безопасности, плавучий энергоблок имеет все риски, присущие транспортным ядерным энергетическим установкам, в частности, дополнительные риски, возникающие при размещении энергоблока в сейсмоактивных регионах.

К достоинствам АСММ стоит отнести его многофункциональность – это возможностью работать в режиме теплоснабжения и опреснителя морской воды. В этот список так же можно внести все плюсы, присущие «большим» атомным станциям, отсутствие выброса углекислого газа в атмосферу, высокая энергоёмкость топлива, снижение парникового эффекта и высокая безопасность.

В Докладах объединения Bellona [2] указывается, что себестоимость с корректировками расходов на издержки одного киловатт-часа составляет 4,9 руб., а одной гигакалории 2169 руб.

В качестве источника энергии в северных регионах страны можно рассматривать как возобновляемые ресурсы, такие как ветер и вода, так и искусственные. Использование солнечной энергии на рассматриваемой территории, по очевидным причинам, нецелесообразно. Поэтому ветроэнергетика представляется наиболее приемлемым вариантом энергоснабжения таких территорий.

По данным СО ЕЭС, суммарная мощность ветряных электростанций (ВЭС) в единой энергетической системе составляет порядка 180 МВт, что составляет 0,08% от общей мощности электростанций в энергосистеме [3]. Однако общеизвестно, что запасы энергии ветра более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты. Главное отличие ветроэнергетики от атомной энергетики заключается в ее доступности и возобновляемости.

Самой эффективной в плане использования энергии ветра является прибрежная территория. Так, для Чукотского АО, среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м. достигает 6,6 м/с в районе г. Анадыря [4].

Недостатки ветроэнергетики. В работе [5] представлены основные проблемы ветряных установок: повышенный шумовой фон, вызванный работой турбогенераторов, невозможность бесперебойного питания, так как данный тип преобразователя энергии зависит от погодных условий, а также необходимость огромных площадей для размещения ветряных электростанций (ВЭС).

При внедрении ветроэнергетики в систему энергоснабжения северных регионов возникает ряд проблем таких как: нестабильность ветровых потоков, что может приводить к перебоям с поставками энергии, адаптация к работе при экстремально низких температурах, сложности с транспортировкой элементов ВЭС в удаленные районы

При этом для внедрения ветряной энергетики в практику необходимо также решение ряда вопросов. Это необходимость налаженного производства ВЭС, специально приспособленных к работе в северных широтах, поиск наиболее целесообразных мест для размещения ВЭС с точки зрения максимизации ветровых ресурсов. Также требуется доступ к альтернативным источникам энергии в случае недостаточной ветровой нагрузки, обусловленными погодными условиями. В частности, для компенсации нестабильности ВЭС можно использовать системы хранения энергии большой емкости на основе инерционных накопителей или аналогичных систем. Возможно применение ВЭС совместно АСММ.

Очевидно, необходимо усовершенствование законодательных механизмов для поддержки использования возобновляемых источников энергии в России, в частности, разработка механизмов стимулирования ресурсоснабжающих организаций к приобретению электрической энергии, произведенной на генерирующих объектах с использованием ВЭС.

Отметим, что Госкорпорация «Росатом» в 2016 году начала производство компонентов ветроустановок. Активно развивается спрос на проектирование и производство отечественных ВЭС в России, а также развитие необходимой инфраструктуры для них.

В процессе исследования установлено, что ВЭС, с точки зрения влияния на окружающую среду, то на основании работы [6] можно сделать следующие выводы: производство и строительство ветряных электростанций не наносит существенного вреда окружающей среде в сравнении с использованием иных источников энергии. При оптимальном соотношении массы и габаритов, вибрации, создаваемые ротором гасятся у основания, а стробоскопический эффект уже нивелирован дизайнерскими решениями. При эксплуатации существенное негативное влияние оказывается на животный мир, создаются зоны отчужденности и изменяются миграционные пути. Существует проблема утилизации лопастей ветроэнергетических установок, выполненных из композитных материалов. Существуют различные технологии для переработки лопастей ветряных турбин, но не все решения пока доступны в промышленном масштабе и экономически конкурентоспособны.

К положительным чертам ветроэнергетики стоит отнести, то, что она является частью возобновляемой энергетики (ВЭ). Нефть, газ и прочие традиционные источники энергии не бесконечны, и человечество неизбежно должно осваивать источники ВЭ. Так же ветроэнергетика является одной из наиболее перспективных отраслей и характеризуется низким уровнем негативного влияния на окружающую среду, в которой полностью отсутствуют выбросы углекислого газа.

На данном этапе сложно оценить экономическую эффективность от внедрения ветроэнергетических установок в децентрализованных районах, однако по самой пессимистичной оценке себестоимость 1 кВт·ч составит не более 18 рублей.

Выводы. Развитие альтернативных источников энергии для снабжения северных регионов России может осуществляться за счет ветроэнергетики. ВЭС можно размещать в местах, недоступных для атомных источников энергоснабжения. При рассмотрении достоинств и недостатков этих двух источников энергии следует исходить из целесообразности и экономической эффективности. Очевидно, что развитие АСММ в России достаточно динамично и именно её повсеместно применяют в качестве источника энергии. Но не везде требуется такая высокая мощность источника. Речь идёт не о замене АСММ на ВЭС, а о дополнительных источниках энергии в труднодоступных территориях.

Практически все проблемы ВЭС, на данном этапе развития технологий решаемы. В атомной энергетике существуют проблемы вывода из эксплуатации – это проблемы, которые требуют дорогих и долгих НИОКР. С точки зрения экономичности, ВЭС имеют огромный потенциал, при наличии поддержки со стороны государства. Опираясь на нее, производители и потребители ВЭС смогут создать эффективный рынок использования энергии ветра.

Список литературы

1. *Кудинович, И.В.* Перспективы применения транспортабельных энергоблоков для децентрализованного энергоснабжения / И. В. Кудинович, А. Ж. Сутеева, Н. В. Шкляров, Е. В. Горыня. — Текст : непосредственный // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2018. — № 2(384). — С. 87-92.
2. *Никитин, А.* Доклад объединения Bellona. 2011. Плавающие атомные станции / А. Никитин, Л. Андреев. — Осло : Bellona Foundation, 2011. — 48 с. — Текст : непосредственный.
3. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году — Текст : электронный // : [сайт]. - URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf
4. Средняя скорость ветра по Чукотскому автономному округу. Среднегодовая и максимальная скорость ветра. — Текст : электронный // : [сайт]. - URL: <http://energywind.ru/recomendacii/karta-rossii/dalnij-vostok/chukotskij-avtonomnyij-okrug>.
5. *Квитко, А.В.* Автономные ветроэлектрические установки и системы / А.В. Квитко, Я.А. Семенов, Г.С. Отмахов. — Текст : непосредственный // Научный журнал КубГАУ. - 2015. — № 112(08). — С. 1003-1015.
6. *Бубенчиков, А.А.* Экологическая экспертиза ветроэнергетической установки / А.А. Бубенчиков, Н.Г. Демидова, Н.Г. Мальков. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 28.2 (132.2). — С. 31-35. — URL: <https://moluch.ru/archive/132/37006/>

05.13.01

¹С.И. Ксенофонов канд. физ.-мат. наук, ²А.Н. Лепаев канд. техн. наук, ³О.В. Васильева, ⁴А.В. Беляков канд. техн. наук, ⁴Л.А. Кипрова канд. техн. наук, ⁴А.В. Гаврилов

¹Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева,
физико-математический факультет, кафедра пожарной безопасности,
Чебоксары, ksenofontovsi@mail.ru,

²Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета,
кафедра информационных технологий, электроэнергетики и систем управления,
Чебоксары, it@polytech21.ru,

³Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
факультет прикладной математики, физики и информационных технологий,
кафедра прикладной физики и нанотехнологий,
Чебоксары, dprostokvashino@mail.ru,

⁴Казанский национальный исследовательский технологический университет,
факультет энергонасыщенных материалов и изделий,
кафедра технологии изделий из пиротехнических и композиционных материалов,
Казань, albelyakov@mail.ru

ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОНОВ ЛИТИЯ В ПЛАМЕНИ

Щелочные металлы легко возбуждаются в пламени. Литий имеет две резонансные линии 671 нм и 610 нм. В пламени углеводородного горючего и пиротехнического состава возникает излучение на длине волны 610 нм. В излучение пламени не все ее зоны вносят одинаковый вклад

Ключевые слова: *пламя, литий, зона пламени, цветовая насыщенность, доминирующая длина волны.*

Ионы щелочных металлов возбуждаются при более низких энергиях. Для возбуждения ионов натрия требуется энергия 2.09 эВ, при этом ион излучает квант длиной волны 589 нм. Ионы лития при возбуждении могут излучать фотоны на длинах волн 670,8 нм (1.84 эВ) и 610,3 нм (2.03 эВ) [1].

В пламени углеводородного горючего достигается значительная температура. Например, в бутано-воздушном пламени стехиометрического состава максимальная температура равна 2563 К, на нижнем концентрационном пределе распространения – 1663 К. Введение солей металлов в пламя вызывает окрашивание пламени в тот или иной цвет, что позволяет по характерному излучению идентифицировать наличие в среде ионов конкретного металла. Лучшие результаты получены при использовании хлорсодержащих солей [2].

В настоящей работе изучалось излучение пламени при введении солей лития. Пламя бутано-воздушной смеси организовалось на горелке бунзеновского типа. Металлическая проволока окуналась в водный раствор солей лития, а затем вводилось в пламя. Предварительно проволока прокаливалась в пламени. Свечение пламени регистрировалось на цифровом фотоаппарате. ПЗС-матрица фотоаппарата имела достаточное количество пикселей, чтобы изображение пламени имело высокое пространственное разрешение. Полученное изображение вводилось в ПЭВМ для дальнейшей обработки.

С помощью разработанных программных средств изображение пламени разбивалось на элементы – пикселя [3]. По существующим стандартам изображение представляется в виде 740 строк и 1024 элементов в строке. С помощью электронного фильтра можно оценить яркость каждого пикселя. По принятым стандартам существует 256 уровней яркости. Электронный фильтр или окно-обработчик размерами 1×3 пикселей пробегает по строке изображения и присваивает каждому пикселю уровень яркости. После окончания первой строки окно-обработчик оцифровывает вторую и последующие строки. На оцифровку всего изображения (18 Мрi) затрачивается не более 10 с. В целях экономии времени и объема

информации можно провести обрезку ненужной части изображения.

Любое изображение представляет собой чередование пикселей с разным уровнем яркости. Например, на сером фоне изображения, оцениваемом средней яркостью 165 единиц, имеются пикселя, уровень яркости которых отличается от уровня фона на ± 10 единиц. Изображение пламени выделяется высокой яркостью на уровне фона. Для нахождения границ пламени ставился критерий, если в последующих пяти пикселях градиент яркости положителен, то первый пиксель соответствует границе пламени.

Оцифрованный массив данных изображения обрабатывается по уровню яркости. На изображении можно выделить пикселя с одинаковым уровнем яркости, последовательность которых образует некую линию одинаковой яркости – изофоту. Уровень яркости изофоты может быть задан оператором. По своей сути изофота является границей, разделяющей пламя на зоны по уровню яркости. Следующая изофота, имеющая большую яркость, определяет следующую границу зоны. Ограниченная область пространства между двумя изофотами – зона пламени, обладающая постоянным значением яркости, определяемым условием:

$$L = \frac{L_i + L_{i+1}}{2}.$$

После определения границ зон пламени программные средства вычисляют площадь каждой зоны в пикселях. Введение масштабных факторов позволяет перейти к метрическим единицам площади.

Программные средства позволяют определить цветовые параметры зоны. Для этого в пределах зоны выделяется небольшой участок в виде квадрата и определяются его цветовые характеристики в координатах x, y, z . Цветовое положение квадрата можно найти в цветовом треугольнике в виде точки. Проведя прямую из центра (белый цвет) через точку, находим доминирующую длину волны в месте пересечения ее с locusом. Чистота цвета данной зоны равна:

$$P_i = \frac{y_{\text{дом}}}{y_i} \cdot \frac{x_i - x_{\text{бел}}}{x_{\text{дом}} - x_{\text{бел}}}.$$

Таким же образом находим цветовые параметры остальных зон.

Фотография пламени приведена на рис. 1. Пламя окрашивается в красный цвет с различными оттенками. По уровню яркости окрашенное пламя разбито на 5 зон. Первая зона образуется в гидродинамической застой области за проволокой. Наиболее красными цветами являются зоны 2 и 4. Пятая зона является послесвечением.

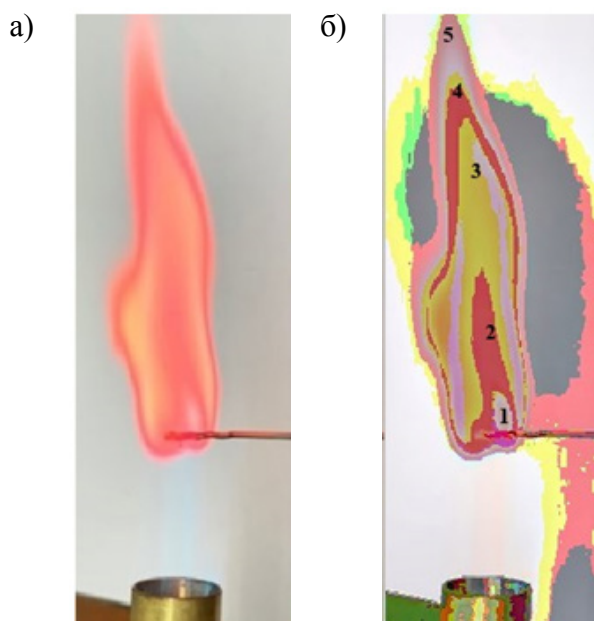


Рис. 1 – Пламя бутано-воздушной смеси:
а) пламя, окрашенное солями лития; б) зоны пламени

Расчетные цветовые параметры пламени приведены в таблице 1. В последнем столбце таблицы приведены данные для всего пламени. Доминирующая длина волны для пламени рассчитывается из соображений, что излучение ее состоит из суммы излучений каждой зоны:

$$\frac{hc}{\lambda_{nl}} S_{nl} = \sum_{i=1}^n \frac{hc}{\lambda_{dom}} S_i.$$

Здесь S_i и S_{nl} – площадь каждой зоны и пламени, рассчитанные программными средствами. В этом случае, доминирующая длина волны всего пламени равна:

$$\lambda_{nl} = \frac{S_{nl}}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\lambda_{dom}}}.$$

Таблица 1 – Цветовые характеристики пламени

Зоны	1	2	3	4	5	Общее
S , мм ²	158	2628	7896	4147	2063	16892
λ , нм	611	610	601	608	601	604.19
P	0.225	0.412	0.401	0.497	0.276	0.36

На цветовом треугольнике зоны вырезают узкий сектор, в котором размещены все зоны пламени (рис. 2). Расхождение доминирующих длин волн с резонансной линией составляет всего 0,7%.

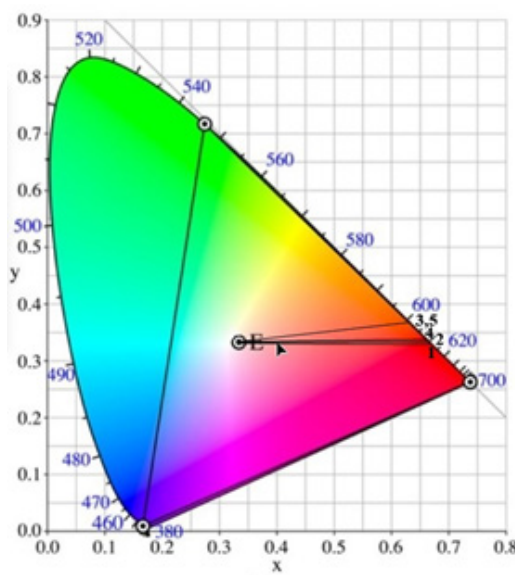


Рис. 2 – Положения зон пламени на цветовом треугольнике

Результаты обработки показывают, что в пламени возбуждаются только линия 610 нм, хотя линия длиной волны 671 нм должна возбуждаться легче.

Щелочные элементы используются в производстве пиротехнических составов цветных пламен. Введенные в пламя химические элементы или их соли, как цветообразователи, возбуждаются при высокой температуре и создается излучение с заданными параметрами. При этом цветовая насыщенность и доминирующая длина волны являются основными характеристиками пламени.

Изучалось излучение пламени модельных пиротехнических составов на основе нитрата лития и уротропина по описанной выше методике. Изображение пламени и зоны пламени представлены на рис. 3.

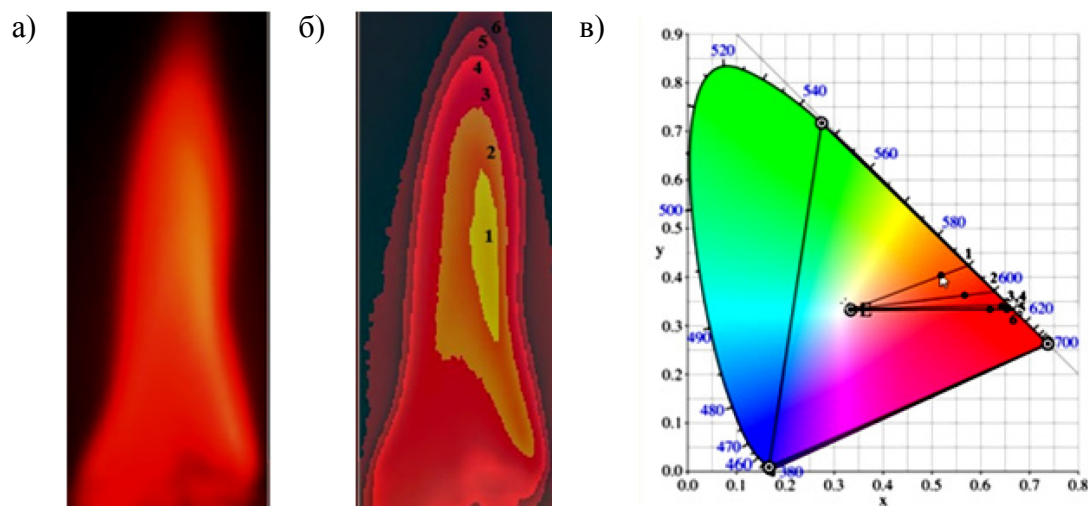


Рис. 3 – Пиротехническое пламя лития:

а) прямая съемка; б) зоны пламени, в) положения зон пламени на цветовом треугольнике

В пламени выделено 6 зон. Первая зона ярко желтого цвета вызвано свечением частиц углерода после распада уротропина. Остальные зоны имеют красный цвет с разным уровнем цветовой насыщенности. Расчеты сведены в таблицу 2. Из данных таблицы видно, что доминирующая длина волны для пламени меньше, чем резонансная и это отличие составляет 1%. В пламени пиротехнического состава на основе нитрата лития возбуждается только линия 610 нм.

Таблица 2 – Цветовые параметры пламени и зон

Зоны	1	2	3	4	5	6	Пламя
$S, \text{мм}^2$	2872	14041	19114	10097	6612	16511	69247
$\lambda_{\text{дом}}, \text{нм}$	590	600	610	610	607.5	610	606.86
P	0.792	0.856	0.932	0.932	0.879	0.895	0.895

Таким образом, основной вклад в цветность вносят определенные зоны пламени, другие зоны ухудшают цветовые параметры. Разработчики пиротехнических составов, используя полученные данные, могут вносить коррективы для улучшения излучения цветного пламени.

Список литературы

1. Физические величины. Справочник / под ред. И.С. Григорьева. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
2. Батунова Г.С. Характеристики цветного пиротехнического пламени / Г.С. Батунова, М.С. Резников, Л.А. Кипрова, А.В. Беляков. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. – 128 с.
3. Лепаев А.Н., Ксенофонтов С.И., Васильева О.В. Программа «Color – flame» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2018/12.pdf> (дата обращения 25.11.2020).

05.13.01

О.Н. Кузина канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
кафедра «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве»,
Москва, kuzinaon@mgsu.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА (IQ ПРОЕКТА)

В работе рассмотрены основные цифровые вызовы строительной отрасли для предприятий строительной отрасли: проектные организации, строительные организации, эксплуатирующие и/или управляющие компании, представлены результаты разработки методики оценки уровня цифровой трансформации организаций строительной отрасли. Рассмотрен принцип оценки уровня цифровизации проекта и организации в целом.

Ключевые слова: строительство, системный анализ, моделирование, информационная модель, жизненный цикл объекта, эксплуатация, сквозные цифровые технологии, технико-экономические показатели, цифровизация строительства, индекс цифровизации

Введение. В эпоху перехода к цифровым технологиям в различных отраслях фактором производства становятся данные, метаданные, а конкуренцию экономики на мировой арене может обеспечить система управления этими данными, реализуя принцип взаимосвязи человек-техника-среда. В соответствии со стратегией развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы (утв. Указом Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203) цифровая экономика - хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг. Цифровые технологии сегодня (сквозные) - большие данные, нейротехнологии, искусственный интеллект, системы распределённого реестра (блокчейн), квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный интернет, робототехника, сенсорики, беспроводная связь, виртуальная и дополненная реальности используются в строительстве с различной степенью внедрения и только на отдельных задачах в каждом этапе жизненного цикла объекта. Однако построение структуры такой экосистемы, где обеспечивается взаимодействие участников с установленными правами доступа к среде общих данных, позволит создать условия для развития высокотехнологичных решений в экономике [1,2].

Управление жизненным циклом объектов с использованием сквозных цифровых технологий на основе принципов открытых данных процессов позволит сформировать модель управления данными, структуру взаимодействия участников управления данными на всем жизненном цикле, в том числе обеспечить надежность межведомственного взаимодействия посредством управления данными, объединяя их из различных государственных информационных систем на единой платформе.

Оценка уровня цифровой трансформации предприятия строительной отрасли необходима также для осуществляется трансформации городов Российской Федерации, участвующих в реализации ведомственного проекта Цифровизации городского хозяйства "Умный город", утвержденного приказом Министерства от 31 октября 2018 г. N 695/пр, которая складывается в том числе из достижений строительных организаций и уровня цифровизации их проектов, в которых активно реализуются инициативы по широкому внедрению

передовых цифровых и инженерных решений. В таблице 1 показаны те вызовы, с которыми сталкиваются предприятия строительной отрасли сегодня и те потребности отрасли, которые необходимо закрыть цифровыми решениями.

Таблица 1 – Цифровые вызовы строительной отрасли

Вызовы в отрасли	Запросы рынка
Переход отрасли на управление жизненным циклом проекта с помощью BIM технологий (поручение президента РФ от 19 июля 2018 года n пр-1235 правительству)	Необходимы общие правила и форматы предоставления цифровых данных, организационный порядок взаимодействия на каждом базовом процессе
Национальные проекты «Образование», «Наука», «Цифровая экономика», «Жилье и городская среда», «Национальная технологическая инициатива», «Развитие научной и научно-производственной кооперации» и Стратегия научно-технологического развития РФ	Необходимо развивать цифровые технологии в строительстве и городской среде. Обучение специалистов отрасли и преподавателей овладению современными цифровыми технологиями, применяемыми в отрасли.
Низкое качество проектной документации, ошибки при экспертизе проекта, ошибки в расчетах стоимости объекта на стадии проектирования	Необходимо развивать платформенные решения, программировать среды общих данных, развивать форматы передачи данных, n-d моделирование, системы верификации проектных решений, верификации стоимости проекта.
Длинные сроки и высокие стоимости строительства, небезопасный уровень производства работ, производства конструкций на строительной площадке	Развитие аддитивных технологий, 3D-печать объектов. Развитие технологий префабрикации автоматизированными производственными линиями.
Строительный контроль на стадии строительства: сложно контролировать всех участников процесса одновременно; проблема в контроле безопасного ведения работ; сложности в контроле использования предусмотренных проектом строительных материалов и конструкций. Ненадлежащий контроль выполненных работы по смете.	Контроль качества с помощью камер и технологии распознавания качества. Платформенные цифровые решения для ведения общего документооборота Заказчика, Проектировщика, Генерального Подрядчика, гос.контроля. Формирование исполнительной документации в онлайн режиме. Маркировка и учет строительных материалов и конструкций. Ежедневный контроль расходов. Снижение коррупционных рисков. Применение технологий дополненной реальности при осуществлении строительного контроля.
Безопасная эксплуатация объекта	Развитие цифровых технологий учета показателей инженерных сетей, расхода ресурсов, оценка показателей среды объекта.

Материалы и методы. В 2019 г. завершено исследование уровня применения технологий информационного моделирования в практике российских компаний, выполненное совместно НИУ МГСУ и консалтинговой компанией ООО «Конкуратор». В исследовании определяли среднюю долю предприятий инвестиционно-строительной сферы, использующих технологии и инструменты BIM вне зависимости от глубины и опыта использования. Было показано, что в 2019 году 22% опрошенных организаций (174 организаций инвестиционно-

строительной сферы) применяют BIM-технологии. Уровень внедрения BIM-технологий не изменился с 2017 года в силу ряда объективных причин и особенностей развития российской экономики в целом и строительной отрасли в частности. Основными препятствиями к внедрению BIM стали дефицит квалифицированных кадров и высокая стоимость внедрения.

Для принятия решения о том, как трансформировать базовые процессы организаций строительной отрасли, нужно сначала определить эти базовые процессы на каждом этапе жизненного цикла объекта/проекта, определить те сквозные цифровые технологии, которые могут быть применены. Для этих целей разработан классификатор цифровых строительных технологий, о чем было доложено на первой национальной конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования».

Задачами такого классификатора являются: обеспечение единой методологии и принципов классификации для всех строительных работ, для реализации которых необходимо применить цифровые технологии; применение единых правил идентификации и кодирования цифровых технологий и соответствующих им атрибутивных наборов, обеспечивающие совместимость данного классификатора с существующими системами классификации (общенациональными, ведомственными и корпоративными); реализация индексации и структурирования всего массива данных строительных систем, связанных с управлением жизненным циклом объектов; обеспечения качественно нового уровня формирования, обработки и достоверности данных, на основании которых принимаются решения [3].

Для выбора цифровой стратегии руководители организации используют методологию системного анализа, при которой они рассматривают влияние в каждой конкретной ситуации всех факторов: технических, экономических, социально-психологических. Логический системный анализ в указанном случае дополняется средствами прогнозирования на основе математических методов статистики, определения экономических показателей мультипликативного эффекта от внедрения сквозных цифровых технологий в производство работ. Д. Бурчфилд отмечает, что при применении методов системного анализа необходимо принимать решения, которые касаются отдельных элементов системы, учитывая взаимосвязи этих элементов и общую цель [4]. Анализ базовых процессов при этом проводится на основе принципа от общего к частному, при постоянном мониторинге стоимости и качества работ [5]. Другими словами, разложив каждый базовый процесс, например, на этапе строительства объекта, на составляющие элементы, по классификатору определить те цифровые технологии, которые могут быть применены для повышения производительности труда, которая в свою очередь влияет на мультипликатор организации. Этот эффект отражает меру умножающего воздействия положительной обратной связи на выходную величину управляемой системы – соотношение между инвестициями в цифровую трансформацию и доходом организации. Согласно отчету McKinsey, потенциальный экономический эффект от цифровизации экономики России увеличит ВВП страны к 2025 году на 4,1–8,9 трлн руб. (в ценах 2015 года), что составит от 19 до 34% общего ожидаемого роста ВВП.

В таблице 2 приведен фрагмент классификации цифровых технологий на этапе строительства объекта. В графе 2 определен тип объекта - многоквартирный дом, а также стадия его жизненного цикла – строительства, каждому значению присвоен код. Далее в графе 3 представлены виды строительных работ в соответствии с государственными элементными сметными нормами, в графе 4 указан вид применяемых сквозных цифровых технологий, а в графе 5 применяемое в организации программное, аппаратное и информационное обеспечения для технологического исполнения вида работ, указанного в графе 3. В графе 1 формируется соответствующий классификации код.

Таблица 2 – Фрагмент классификатора цифровых технологий в отрасли.

Код	Типы объектов и стадия ЖЦ	Виды строительных работ (ГЭСН)	Вид цифровых технологий	Применяемое программное, аппаратное, информационное обеспечение
1	2	3	4	5
1_1_3_06-01-003	МКД (1), строительство (3)	Устройство бетонных и ж/б фундаментов с помощью автобетононасоса	Большие данные (1)	Опционально для каждой организации в рамках конъюнктурного анализа рынка

Системному анализу также необходимо подвергнуть проблемы, которые предстоит решать организации (см. таблицу 1). Для повышения точности выбираемых решений, прогнозирования результатов последствий и всех возможных рисков в будущем необходимо рассматривать несколько возможных альтернатив и для каждой раскладывать прогноз и поэтапный план. Согласно методологии системного анализа, следующим шагом является построение обобщенной модели, отражающей все факторы и взаимосвязи реальной ситуации, которые могут проявиться в процессе реализации выбранной траектории. Полученная модель исследуется с целью выяснения близости результата применения того или иного из альтернативных вариантов действий к желаемому, сравнительных затрат ресурсов по каждому из вариантов, степени чувствительности модели к различным внешним воздействиям [6]. Для оценки уровня цифровизации объекта предлагается рассчитывать универсальный индекс IQ проекта.

Результаты. Задачами индексирования IQ проекта являются: оценка, сопоставление и ранжирование цифровых технологических решений по уровню внедрения в базовые процессы организации; определение основных процессов и сегментов цифровой трансформации организации, оказывающих наибольшее и наименьшее влияние на социально-экономическое состояние организации; оценка эффективности и результативности внедрения цифровых инженерных решений.

IQ проекта рассчитывается ежемесячно, ежеквартально, ежегодно, по факту завершения месяца, квартала, года. Для его расчета используются рассчитываемые индикаторы достижения, чтобы исключить субъективность при принятии решений.

IQ проекта является интегральным индексом, расчет которого осуществляется на основании значений субиндексов, представляющих собой оценку развития 9 базовых направлений цифровой трансформации организации: 1) системы управления базовыми процессами организации (количество пользователей цифровой платформы, наличие системы автоматизированного управления различными процессами); 2) показатели внедренных систем энергоэффективности процессов; 3) интеллектуальные системы безопасности; 4) инфраструктура сетей связи; 5) наличие системы учета ресурсов организации в режиме реального времени (по видам и объемам); 6) наличие и показатели работы датчиков для контроля эффективности использования транспорта в строительстве; 7) интеллектуальные системы экологической безопасности (например, управление отходами); 8) интеллектуальные системы социальных услуг; 9) сервисы прогнозирования экономического состояния и инвестиционного климата. Индекс цифровизации организации определяется на основании суммы значений всех индикаторов по формуле:

$$IQ_{ij} \text{ общ} = \sum I N I_{ij} / N_i,$$

где: $IQ_{ij} \text{ общ}$ - среднее значение общих индикаторов оценки i-го направления цифровой трансформации организации j-го базового процесса конкретного проекта; I_{ij} - нормированное значение общего показателя оценки i-го направления цифровой трансформации организации j-го базового процесса конкретного процесса; N_i - совокупное

количество общих показателей оценки уровня развития *i*-го направления цифровой трансформации организации. Полученным значениям присваиваются баллы по утвержденной шкале по уровням индикаторов достижения результата по всем 9 направлениям. Для расчета индекса IQ организации значения показателей индикаторов можно разделять по проектам (в том числе и для сравнения уровня их цифровизации) по параметрам объемов затрат ресурсов, объемов показателей.

Обсуждения. Современная информационно-коммуникационная среда в строительной отрасли нуждается в модели управления данными для улучшения производственных процессов, обеспечивая: своевременный обмен информацией между участниками проекта, производственной цепочкой работ, проверкой их выполнения, учет использования ресурсов во времени, учет изменений проекта, формирование необходимой и достаточной информационной базы для последующей эксплуатации объекта, мониторинга инженерных систем и конструкций объекта. Система управления данными должна позволять участникам процессов задавать требования, ограничения и критерии выбора, формировать решения, генерировать изменения в модели и формировать технико-экономические показатели в выбранных элементах модели. Но проводить цифровую трансформацию следует так, чтобы не нарушить устойчивое развитие предприятия, для этого и разработан индекс цифровизации.

Список литературы

1. <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/> (дата обращения 10.12.2020)
2. *Kuzina O.* Information technology application in the construction project life cycle//IOP Conference Series Materials Science and Engineering - July 2020. 869:062044/
3. *Волкодав В.А., Волкодав И.А.* Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения *bim*-технологий//Вестник МГСУ. Том 15. Выпуск 6, 2020
4. *Бурчфилд, Д.* Системный анализ. Процесс принятия количественных решений // Современные методы внутрифирменного управления в капиталистических странах: пер. с англ. – М.: Прогресс, 1971.
5. *Кузина О.Н.* Информационное моделирование стоимости объекта строительства на каждом этапе жизненного цикла. Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 1. С. 107-111.
6. *Филипчик Е.Ф., Д.Т. Перскевич, О.В. Герман О.В.* Big data, кластерный анализ и оптимизация в системном анализе // Наука, техника и образование. 2017. № 1 (31). С. 32-35

05.13.01

Р.В. Лебедев, А.В. Мурыгин д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева»,
Красноярск, lebedev.rv@gmail.com

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ СХОДСТВА

В статье рассмотрены способы задания весовых коэффициентов критериев в задачах управления ограниченными ресурсами на основе оценки сходства с эталоном на примере корпоративных клиент-серверных систем. Подход к оценке важности критериев на основе нечетких отношений предпочтения делает неприменимыми некоторые распространенные методы решения через вычисление собственного вектора матрицы парных сравнений, что обуславливает необходимость поиска иных способов задания весов. В рамках приведенных исследований рассмотрен ряд способов и определены критерии их сравнения, позволяющие оценить возможность их применения для построения интервальных шкал.

Ключевые слова: оценка сходства, весовые коэффициенты, матрица парных сравнений, клиент-серверная система, нечеткие отношения.

В классических применениях метода анализа иерархий (МАИ) приоритеты критериев (альтернатив) часто определяются как компоненты главного собственного вектора матрицы парных сравнений. Свойства и вид матрица определяются способом сравнения альтернатив и соответствующей ему измерительной шкалой. Так стандартный подход в МАИ [1] к сравнению альтернатив из набора X предлагает использование отношения предпочтения вида $X \times X \rightarrow \{1/i, i \mid i = \overline{1, n}, n \in \mathbb{N}\}$, n обычно выбирается равным 9. Предпочтения распределяются по возрастанию, для равнозначных альтернатив принимается оценка 1. Матрица парных сравнений A при этом всегда неприводима и имеет строго положительные коэффициенты, что позволяет находить собственный вектор, опираясь на следствие теоремы Перрона-Фробениуса как $\lim_{k \rightarrow \infty} A^k e / \|A^k\|$, где $\|A^k\| = e^T A^k e$: матрица возводится в произвольно большие степени, вычисляются суммы элементов строк, затем нормируются. Поскольку на саму матрицу накладываются определенные ограничения, в частности, условия ее неприводимости и неотрицательных элементов, для ряда случаев такой подход оказывается неприменимым. В [1–3] рассмотрены примеры задач принятия решений и соответствующие им шкалы оценки предпочтений, для которых этот подход не применим.

В настоящей статье рассматривается задача вычисления весовых коэффициентов порядковой шкалы для оценки сходства объекта с эталоном на фоне подхода к управлению доступом к вычислительным ресурсам клиент-серверной системы на основе доверия к субъектам доступа. Исследования вопросов выбора весовых коэффициентов различными методами рассмотрены в [4, 5].

В современных клиент-серверных системах широко применяются методы управления на основе атрибутов или контекста [6], владелец таких систем, распределяя ресурсы сервера, опирается на некоторую сводную информацию о клиенте (субъекте доступа). Парадигма доверия как критерия принятия решения в задаче управления активно развивается [7–9].

Рассмотрим следующую модель оценки доверия к субъекту доступа на основе сравнения субъекта доступа (клиента) с эталоном. Под доверием понимается численная оценка степени соответствия клиента набору критериев, заданных владельцем системы. К критериям доверия может относиться информация о программно-техническом составе хоста клиента, назначенные ему роли, атрибуты, статистика активности и инцидентов.

Обозначим $M = \{m_i \in M \mid i = \overline{1, n}, n \in \mathbb{N}\}$ множество критериев доверия к клиенту доступа в системе. Определим на M отношение частичного порядка $M_{\leq} : M \times M$ так, что $\forall m_i, m_j \in M : i < j \Rightarrow m_i < m_j \vee m_i \sim m_j$. Это отношение разделит M на попарно непересекающиеся классы равнозначных критериев $(M/\sim) = \bigcup_{j \leq n} [m_j]$. Будем обозначать $[m_j]$ класс эквивалентности критерия m_j , то есть $[m_j] = \{m \in M \mid m \sim m_j\}$. Введем на них функцию пересчета φ по правилам (1). Для удобства можно считать, что $\varphi_{\min} = 1, \varphi_{\max} = N$.

$$\begin{aligned} \varphi : (M/\sim) &\rightarrow \mathbb{N}, \\ \forall m_i, m_j \in M : m_i < m_j &\Rightarrow \varphi([m_i]) < \varphi([m_j]). \end{aligned} \quad (1)$$

Будем называть рангом критерия m из M величину $R(m) = \varphi([m])$ и основанием шкалы величину $N^M = \sum_{i=1}^n R(m_i)$. Тогда вес критерия двоерия $W(m)$ можно найти как отношение ранга критерия к основанию шкалы (2).

$$W(m) = \frac{R(m)}{N^M} = \frac{\varphi([m])}{\sum_{k=1}^N \varphi([m_k])}. \quad (2)$$

При этом общий вес всех критериев доверия в M равен 1, критерии доверия с более высоким рангом имеют больший вес.

Описанный выше подход требует важной оговорки. Поскольку частичный порядок на M задается экспертным путем, для применения подхода на практике мнения экспертов должны быть согласованы. При этом, если задача принятия решений является итерационной (регулярной), мнения экспертов могут меняться с накоплением опыта, эти изменения так же должны отражаться в шкале.

Множество $M_{\leq} : M \times M$ отношения нестрого порядка может быть представлено в виде матрицы парных сравнений $A = (a_{ij})_{n \times n} = (a_{ij})$, заполненной по правилам (3).

$$\forall i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n} \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } m_i < m_j \text{ или } m_i \sim m_j, \\ 0 & \text{в других случаях.} \end{cases} \quad (3)$$

Будем считать, что каждый эксперт задает собственную матрицу парных сравнений $A^{(y)}$, где y – идентификатор эксперта. Можно полагать, что число экспертов в системе не ограничено ($y \in \mathbb{N}$) и каждый эксперт высказывается только один раз. Тогда в качестве компромиссного мнения экспертов можно считать $\tilde{A}$ нормированную сумму представленных ими матриц парных сравнений $A^{(y)}$. В качестве нормы матрицы $\tilde{A}$ примем ее наибольший элемент. Тогда итоговая матрица парных сравнений критериев из M будет найдена по формуле (4).

$$\tilde{A} = \frac{\sum_y A^{(y)}}{\max_{i,j} (\sum_y a_{ij}^{(y)})}. \quad (4)$$

Вычисление приоритетов для критериев через главный собственный вектор $\tilde{A}$ по теореме Перрона-Фробениуса в данном случае невозможно, поскольку $\tilde{A}$ не удовлетворяет условию неприводимости.

В задаче оценки доверия важным условием является равномерность изменения значений весов. Так для частично упорядоченного множества M подход (2) обеспечивает приращение веса критерия в шкале на постоянную величину, равную минимальному весу критерия $W(m_1) = 1/N^M = \varepsilon$. Для нечетного отношения $\tilde{A}$ на M требуется найти метод поиска весовых коэффициентов m_i , обеспечивающий наиболее равномерное распределение весов. Обозначим как $w = (w_1, \dots, w_n)$ вектор весовых коэффициентов, где соответствующие w_i определяют вес $m_i \in M$.

Рассмотрим три способа вычисления главного собственного вектора матрицы, не связанных с наложением на нее дополнительных ограничений. Все способы имеют по два этапа: вычисление вектора приоритетов по матрице и, затем, его нормирование, отличают их только методы вычисления компонент вектора и его нормы. Будем далее обозначать как $w^{(i)}$ ненормированный вектор приоритетов по матрице, $\|w^{(i)}\|$ его норму и i соответствующий индекс способа вычисления.

Способ 1. Суммировать элементы каждой строки и нормализовать делением каждой суммы на сумму всех элементов; сумма полученных результатов будет равна единице (5).

$$w^{(1)} = \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \right)_n, \|w^{(1)}\| = \frac{1}{\sum_{k,j=1}^n a_{kj}}. \quad (5)$$

Способ 2. Транспонировать матрицу, суммировать элементы каждой строки и получить обратные величины этих сумм. Нормализовать их, разделив каждую обратную величину на сумму всех обратных величин (6).

$$w^{(2)} = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{ji}} \right)_n, \|w^{(2)}\| = \sum_{i=1}^n w_i. \quad (6)$$

Способ 3. Разделить элементы каждого столбца на сумму элементов этого столбца (т. е. нормализовать столбец), затем сложить элементы каждой полученной строки и разделить эту сумму на число элементов строки (7).

$$w^{(3)} = \left(\sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \right)_n, \|w^{(3)}\| = n. \quad (7)$$

Будем оценивать степень сходства распределения весов для критериев с методом (1), разница Δ весовых коэффициентов соседних элементов $w^\uparrow$ упорядоченного массива компонент вектора w не должна превышать вес самого маловесного критерия ε , т.е. $\Delta = |w_i^\uparrow - w_{i-1}^\uparrow| \in [0; \varepsilon]$ для $\forall i = \overline{2, n}$. В качестве критерия сравнения способов будем использовать максимальное значение $\Delta_{\max} = \max_i |w_i^\uparrow - w_{i-1}^\uparrow|$ и σ величину среднеквадратичного отклонения значений Δ от середины отрезка ее ожидаемых значений. Будем считать, что способ схож с методом (1), если $\Delta_{\max} \leq \varepsilon$ и $\sigma \leq \frac{\varepsilon}{2}$.

Для сравнения приведенных способов поиска вектора приоритетов примем следующие исходные условия. Пусть набор M содержит 7 критериев. В таблице 1 приведем ранжирование критериев по методу (1) тремя независимыми экспертами (в ячейках на пересечении столбцов-критериев и строк-рангов цифрами обозначены мнения соответствующих экспертов).

Таблица 1 – Ранжирование критериев

Ранг	Критерий 1	Критерий 2	Критерий 3	Критерий 4	Критерий 5	Критерий 6	Критерий 7
1					1	3	1, 3
2					3	1	
3			2	1, 2, 3		2	
4		2	1, 3		2		2
5	1, 2, 3	1, 3					

Далее представим мнения экспертов в виде матриц парных сравнений $A^{(y)}$ согласно правилу (3), а затем найдем общую матрицу компромиссного мнения экспертов $\tilde{A}$ по формуле (4), дробные значения для удобства будем записывать в виде десятичной дроби с округлением до второго знака.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0,67 & 0,33 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,67 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0,33 & 0 & 0,33 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0,33 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,67 & 0,67 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0,33 & 1 & 0,33 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Последовательно применяя к $\tilde{A}$ рассматриваемые способы поиска w , приведем промежуточные значения для ненормированного вектора весовых коэффициентов $w^{(i)}$ и его нормы $\|w^{(i)}\|$. Несмотря на то, что формально $w^{(i)}$ представляют собой вектор-столбец, для

удобства будем записывать их в виде строк (9).

$$\begin{aligned} w^{(1)} &= (2; 1,67; 3,67; 4,33; 6,33; 5,67; 7), & \|w^{(1)}\| &= 30,67, \\ w^{(2)} &= (0,15; 0,15; 0,19; 0,23; 0,43; 0,3; 0,5), & \|w^{(2)}\| &= 1,95, \\ w^{(3)} &= (0,31; 0,25; 0,67; 0,82; 1,69; 1,33; 1,95), & \|w^{(3)}\| &= 7. \end{aligned} \quad (9)$$

Результаты вычислений w и величин Δ_{max} и σ приведены в таблице 2. Из этих данных можно заключить, что наиболее предпочтительным с точки зрения сходства с методом (1) является способ 1, для остальных способов наблюдается превышение установленных критериев выбора.

Таблица 2 – Значения весовых коэффициентов критериев

Способ 1			Способ 2			Способ 3		
w	$w^\uparrow$	Δ	w	$w^\uparrow$	Δ	w	$w^\uparrow$	Δ
0,07	0,23	0,02	0,08	0,25	0,03	0,04	0,28	0,04
0,05	0,21	0,03	0,08	0,22	0,07	0,04	0,24	0,05
0,12	0,18	0,04	0,10	0,15	0,03	0,1	0,19	0,07
0,14	0,14	0,02	0,12	0,12	0,02	0,12	0,12	0,02
0,21	0,12	0,05	0,22	0,10	0,02	0,24	0,1	0,06
0,18	0,07	0,02	0,15	0,08	0	0,19	0,04	0
0,23	0,05	-	0,25	0,08	-	0,28	0,04	-
$\Delta_{max} = 0,05, \sigma = 0,02$			$\Delta_{max} = 0,07, \sigma = 0,07$			$\Delta_{max} = 0,07, \sigma = 0,08$		

По итогам сравнения рассмотренных способов вычисления весовых коэффициентов критериев видно, что адекватные результаты показали первые два способа. Наиболее равномерное распределение весов показал способ 1, его результаты наиболее близки к шкале, построенной в условиях определенности (полного совпадения мнений экспертов): максимальная разница между соседними весами приблизительно равна минимальному весу в шкале, среднеквадратичное отклонение минимально в сравнении с другими способами.

Следует отметить, что в данном исследовании условия неопределенности создаются расхождением мнений экспертов в части эквивалентности (равнозначности) или приоритетности пар близких по важности критериев, ситуации, где мнения экспертов расходятся кардинально, не рассматривались. Такие условия характерны для задач управления зрелыми корпоративными клиент-серверными системами, особенности которых хорошо известны владельцу так же, как характер влияния различных факторов на эффективность их работы. В таких системах владелец может весьма ясно задать параметры эталона, с которым впоследствии будет проходить сравнение реальных объектов.

Список литературы

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: [перевод с английского] / Т. Саати, Р.Г. Вачнадзе (перевод). – М.: изд. Радио и связь, 1993. – 278 с.
2. Блюмин С.Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности: монография / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
3. Подиновский В.В. О некорректности метода анализа иерархий / В.В. Подиновский, О.В. Подиновская // Проблемы управления. – М.: СенСиДат-Контрол, 2011. – № 1. – сс. 8-13.
4. Спиридонов С.Б. Анализ подходов к выбору весовых коэффициентов критериев методом парного сравнения критериев [электронный ресурс] / С.Б. Спиридонов, И.Г. Булатова, В.М. Постников // Интернет-журнал «Наукоедение» Том 9, №6 (2017). – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/16TVN617.pdf> (дата обращения 25.10.2020).
5. Постников В.М. Выбор весовых коэффициентов локальных критериев на основе принципа арифметической прогрессии / В.М. Постников, С.Б. Спиридонов // Наука и образование: Электрон. журн. – М.: МГТУ, 2015. – № 9. – DOI: 10.7463/0915.0802449.
6. Zeng W. Content-Based Access Control: [PhD thesis] // USA: University of Kansas. – 2015. – 152 p.
7. Дураковский А.П. О доверии в информационных системах на основе интернет-технологий / А.П. Дураковский, Т.А. Кондратьев, Ю.Н. Лаврухин, В.Р. Петров: [электронный ресурс]. – М.: МИФИ, [б. г.]. – URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/viewFile/126/132> (дата обращения: 06.02.2020).
8. Denning D.E. A New Paradigm for Trusted Systems: [electronic resource] .– USA: Washington: Georgetown University: Computer Science Department, 1992-1993. – (ACM 0-89791-635-2 \$1.50). – URL: <https://faculty.nps.edu/dedennin/publications/NewParadigmTrustedSystems.pdf> (access date 06.02.2020).
9. Rosaci D. Integrating Trust Measures in Multi-Agent Systems / D. Rosaci, G. Sarne, S. Garruzzo // International Journal of Intelligent Systems (IJIS). – Wiley Periodicals, Inc., 2012. – Vol. 27. – (ISSN 1098-111X). – pp. 1-15.

05.13.01

И.А. Макаров

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, microoil@mail.ru

ТРЕБОВАНИЯ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕРА ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В стандартах пассивных оптических сетей (PON) второго поколения указаны две технологии, а именно, волновое (WDM) и гибридное (TWDM) мультиплексирование с временным и волновым разделением. Одна из задач обеих технологии – реализация настраиваемого передатчика (Tx) восходящего канала в сетевом оптическом узле (ONU), обеспечивающего связь линейным терминалом сети (OLT) и раздающего информацию подключенным абонентам. В статье требования к характеристикам перестраиваемого по длине волны Tx рассмотрены вместе с потенциальными методами их развития.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть; передатчик сетевого оптического узла; восходящий канал; система контроля центральной длины волны; требования к частотным характеристикам.

Введение. Стабильность длины волны лазера восходящего канала PON второго поколения определяется с помощью параметра, называемого максимальным отклонением спектра MSE (от англ. *maximim spectral excursion*). MSE определяется по двум основным причинам [1]:

1) для предотвращения утечки оптической мощности из одного канала мультиплексора в соседний, вызывающей появление перекрестных помех;

2) чтобы гарантировать работу передатчика в требуемой полосе пропускания канала мультиплексора для достижения заданных характеристик связи восходящего канала.

Отклонение спектра перестраиваемого передатчика Tx в канале с заданной центральной длиной волны определяется как абсолютная разница между текущей центральной длиной волны Tx и точкой –15 дБ спектральной характеристики канала, наиболее удаленной от номинальной центральной длины волны.

Для TWDM в нисходящем потоке разнос каналов составляет 100 ГГц, а требуемая MSE составляет 20 ГГц. В этом случае для перестраиваемого фильтра относительно просто проследить за максимальной принимаемой мощностью через локальную петлю обратной связи; таким образом, точная калибровка длины волны фильтра приемника ONU Rx не требуется.

Для восходящего потока, разнос каналов не является фиксированным и может находиться в диапазоне от 50 до 200 ГГц, причем MSE определено для трех конкретных значений разносов, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Значения MSE в восходящем потоке

Разнос каналов (CS), ГГц	50	100	200
MSE, ГГц	±12.5	±20	±25

Особенности обеспечения стабильности длины волны в восходящем канале. Зависимость оптической мощности передатчика от длины волны в восходящем канале определена в рекомендациях G.989.2 [2] как 0,05 и 0,02 дБ/ГГц для скорости передачи 2,5 и 10 Гбит/с соответственно. Необходимость определения этих пределов вызвана тем, что

зависимость оптической мощности от длины волны вызывает ошибку настройки, когда используются механизмы настройки на центральную длину волны, основанные на измерении принятой оптической мощности. Эта ошибка настройки, наряду с требованием к максимальной величине MSE, ограничивает допустимое отклонение спектра перестраиваемого передатчика Tx на каждом шаге настройки. В связи с этим максимальный шаг настройки будет составлять $CS/20$, чтобы избежать превышения MSE при каждой попытке коррекции длины волны.

Чтобы получить значения MSE, представленные в табл. 1, были рассмотрены спектральные характеристики мультиплексоров на основе тонкопленочных фильтров (TFF) и упорядоченных волноводных решеток (AWG): ширины спектра Tx, точность калибровки, шаг настройки и приемлемая мощность зондирования канала. Хотя полный анализ выходит за рамки данной работы, можно обсудить некоторые общие соображения.

Для примера при $CS\ 100\ ГГц$ можно оставаться в пределах MSE, используя лазер со спектральной шириной $15\ ГГц$, откалиброванный по мощности в пределах $\pm 10\ ГГц$ и шагом перестройки $5\ ГГц$ (то есть $CS/20$). При подаче такого излучения в AWG с уровнем изоляции соседних каналов $>30\ дБ$ и шириной полосы пропускания по уровню $0,5\ дБ$ в $20\ ГГц$ штраф за перекрестные помехи и вносимые потери увеличиваются из-за того, что спектральное отклонение лазера поддерживается ниже $0,1$ и $0,5\ дБ$ соответственно. Таким образом, кратковременное спектральное отклонение, вызванное включением/выключением лазера Tx ONU, должно всегда соответствовать пределу MSE.

Точность определения центральной длины волны. Точность калибровки центральной длины волны Tx ONU, т.е. его способность передавать информацию со спектральным отклонением в определенных пределах, влияет на его стоимость. В стандартах PON второго поколения определены три уровня точности калибровки Tx с возможностью настройки ONU: достаточная калибровка, свободная калибровка и отсутствие калибровки. Невозможно гарантировать, что слабо откалиброванные и некалиброванные лазеры Tx ONU смогут обеспечить передачу информации в пределах MSE.

Метод фиксации центральной длины волны. Собственная стабильность центральной длины волны лазера Tx ONU во время его эксплуатации и в процессе перестройки могут быть снижены для снижения стоимости, но это должно быть компенсировано путем использования альтернативных механизмов фиксации центральной длины волны.

В нисходящем потоке приемник Rx ONU может автономно находить наилучшую точку настройки длины волны путем поиска наивысшей принимаемой оптической мощности и/или наименьшей частоты ошибок в своем рабочем канале.

В восходящем потоке фиксация центральной длины волны лазера Tx ONU может быть более сложной и основываться на обратной связи с OLT [3, 4]. В рекомендации G.989.2 предложен метод фиксации центральной длины волны лазера с использованием дизеринга. Для выбора этой процедуры было сделано два предположения: OLT может достаточно точно измерять мощность, а не длину волны; оптическая мощность ONU существенно не изменяется при небольших изменениях длины волны (дизеринге). Как вариант дизеринга, была выбрана следующая технология: под управлением OLT ONU передает зондирующее излучение на двух слегка различающихся длинах волн λ^- и λ^+ , расположенных вокруг центральной длины волны настраиваемого ONU λ , поочередно во времени. Изменения длины волны лазера Tx ONU является оптимальным решением. В данном случае форма фильтра мультиплексора AWG играет фундаментальную роль, поскольку изменение длины волны лазера Tx ONU преобразуется в измеримое изменение мощности на OLT Rx.

В данной статье предложена более эффективная методика инициализации, основанная на принципе измерительного преобразования «две оптические длины волны – амплитуда и фаза микроволнового сигнала, соответствующая разностной частоте оптических длин волн – измеряемая величина расстройки и ее знака» [5-10]. AWG зондируется, как минимум, двухчастотным (рис. 1), а в некоторых случаях четырехчастотным зондирующим излучением с известной средней (настраиваемой) и разностными частотами между компонентами. В этом

случае анализируются параметры огибающей биений между двумя жестко связанными по фазе и исходно равными по амплитуде составляющими на их разностной частоте, как правило, известной, фиксированной и выделяемой узкополосным фильтром в области минимальных шумов фотоприемника.

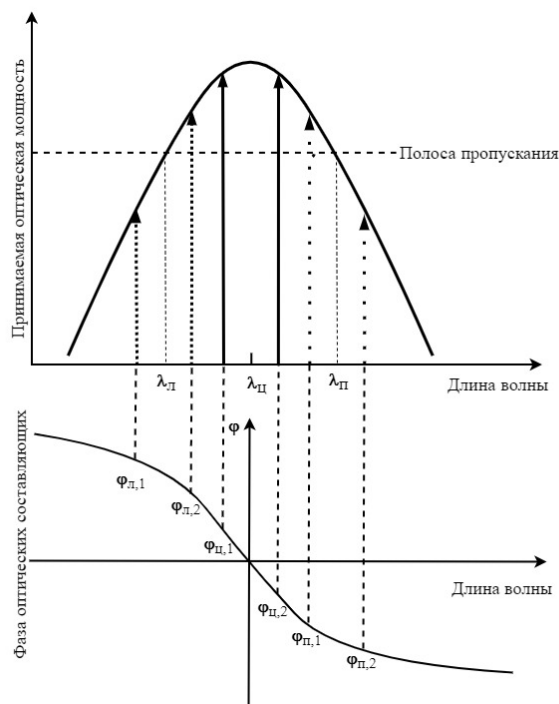


Рис. 1 – Амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики AWG

В случае настройки длины волны ONU на центр ($\lambda_{\text{ц}}$) огибающая биений двух оптических составляющих, разнесенных на полосу пропускания AWG, будет иметь следующие параметры – коэффициент амплитудной модуляции равен 1, разность фаз огибающих биений до и после AWG равна 0. В случае положительной ($\lambda_{\text{л}} < \lambda_{\text{ц}}$) и отрицательной ($\lambda_{\text{п}} > \lambda_{\text{ц}}$) расстроек – коэффициент амплитудной модуляции меньше 1, а разность фаз имеет соответственно положительный или отрицательный знак. В результате OLT дает команду ONU применить соответствующую корректировку настройки.

Заключение. Основополагающее решение относительно выбора контроля центральной длины волны лазера восходящего потока пассивных оптических сетей в перестраиваемыми передатчиках ONU на разностных частотах было принято после тщательного анализа потенциальных альтернатив с прямым детектированием контролируемой мощности. По сравнению с ними это решение открыло дополнительную область гибкости и вариантов конфигурации в области контроля центральных длин волн. Это привело к потребности в новых DWDM-совместимых радиофотонных компонентах с экономичной реализацией, например, лазеров с внешней модуляцией на основе фосфита индия.

На основе вышесказанного можно сделать вывод, что данные радиофотонные методы являются приемлемыми для инициализации центральной длины волны, однако их проблема заключается в следующем: для реализации данных систем используются петля обратной связи ONU-OLT, что значительно повышает ее стоимость. Возможный вариант решения задачи – рефлектометрические методы [4] на стороне ONU с реализацией на новой элементной базе.

Список литературы

1. Luo Y., Roberts H., Grobe K., et al. Physical Layer Aspects of NG-PON2 Standards-Part 2: System Design and Technology Feasibility // J. Opt. Commun. Netw. 2016. V. 8, no. 1. pp. 43–52.
2. ITU-T G.989.2 Recommendation. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification. 2014.
3. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О. и др. Инициализация центральной длины волны восходящего потока транспортного WDM-PON домена радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 2 (46). С. 70-86.
4. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О. и др. Рефлектометрические методы настройки длины волны лазера восходящего канала в транспортном WDM-PON домене радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 3 (47). С. 66-84.
5. Морозов О.Г., Нуреев И.И., Сахабутдинов А.Ж. и др. Измерение мгновенной частоты микроволновых сигналов с использованием тандемной амплитудно-фазовой модуляции в оптическом диапазоне // Фотон-экспресс. 2019. № 5 (157). С. 16-24.
6. Иванов А.А., Дмитриев Д.С., Морозов О.Г. и др. Измерение мгновенной частоты множества микроволновых сигналов на основе методов вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и предварительного двухчастотного расщепления // Известия высших учебных заведений. Физика. 2017. Т. 60. № 12-2. С. 130-134.
7. Морозов О.Г., Морозов Г.А., Сахабутдинов А.Ж. и др. Радиофотонные двухчастотные способы интеррогации однотипных волоконных брэгговских решеток, объединенных в группу // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2017. Т. 20, № 2. С. 21-34.
8. Morozov O., Nureev I., Sakhabutdinov A. et al. Ultrahigh-resolution optical vector analyzers // Photonics. 2020. V. 7. № 1. P. 14.
9. Заболотный В.А., Губайдуллин Р.Р., Сахбиев Т.Р. и др. Алгоритм формирования двухчастотного зондирующего излучения для мониторинга симметричных высокодобротных волоконно-оптических структур // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 6. С. 20-23.
10. Губайдуллин Р.Р., Заболотный В.А., Сахбиев Т.Р. и др. Алгоритм зондирования высокодобротных волоконно-оптических структур // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 6. С. 16-19.

05.13.01

¹Ю.Н. Матвеев д-р техн. наук, ²Л.В. Лобачева

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,
¹кафедра электронных вычислительных машин,
²кафедра горного дела, природоробустройства и промышленной экологии,
Тверь, matveev4700@mail.ru, firslud@mail.ru

СИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СВАЛОК ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В работе представлены системологические подходы к организации интеллектуализации автоматизированных систем мониторинга состояния свалок твердых коммунальных отходов (ТКО). Рассмотрены результаты моделирования организационной структуры системы. В моделируемой автоматизированной системе мониторинга предусмотрены блоки оценки, анализа и прогнозирования о состоянии окружающей природной среды.

Ключевые слова: свалка твердых коммунальных отходов, мониторинг, автоматизация, интеллектуализация, моделирование, оценка, прогнозирование.

Во многих регионах РФ проблема загрязнения окружающей природной среды свалками твердых коммунальных отходов является весьма актуальной. Поэтому мониторинг природных компонентов экосистемы объектов депонирования отходов (почв, подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха) и прогнозирование их изменения в результате воздействия техногенных факторов становится важнейшей экологической задачей.

Основными требованиями к информации, получаемой в ходе мониторинга состояния свалок твердых коммунальных отходов (ТКО) являются: объективность, достоверность, надежность, адекватность, прозрачность, репрезентативность, научная обоснованность, соответствие законодательству РФ. Такая экологическая информация обеспечивает возможность не только получить оценку экологической ситуации, сложившейся на объекте утилизации коммунальных отходов, но и выявить причинно-следственные связи, позволяющие сделать прогноз ее развития.

Объективными факторами, в значительной мере, снижающими адекватность оценок параметров состояния окружающей среды в районе размещения свалок ТКО являются:

- недостаточное для получения объективной информации количество постов наблюдения;
- низкая степень обеспечения постов наблюдений современными приборами и оборудованием;
- низкий уровень или отсутствие автоматизации процессов получения, обработки, хранения информации;
- отсутствие адекватных моделей прогноза экологической ситуации и алгоритмов комплексной обработки результатов мониторинга на объекте утилизации ТКО [1].

Оценка состояния объекта мониторинга природной среды заключается в определении отклонения значений параметров фактической (существующей в данный момент) экологической ситуации от значений этих же параметров, рассчитанных по математическим моделям данной территории, функционирующей в нормальном режиме.

В целях получения данных, позволяющих осуществить анализ параметров состояния объекта мониторинга и найти экологически значимые решения для уменьшения негативного воздействия свалок ТКО на окружающую среду, нами выполнены исследования на свалке захоронения коммунальных отходов, расположенной в поселке Солнечный Тверской области на территории промышленного предприятия [2].

При проведении исследований определены основные функции системы мониторинга территории объекта, которая должна являться одной из составных элементов общей интеллектуальной системы управления территорией свалки ТКО:

- автоматизированный сбор информации о параметрах внешнего воздействия на объект утилизации отходов (компоненты множества L , например, $L1$ – валовое количество атмосферных осадков);
- автоматизированный сбор информации о показателях состояния технической системы (компоненты множества X , например, $X1$ – плотность захороненных отходов);
- автоматизированный сбор информации о параметрах окружающей природной среды (компоненты множества Y , например, $Y1$ – уровень загрязнения атмосферы);
- обработка данных мониторинга и передача их лицам, принимающим управленческие решения, экологическим структурам, населению.

Представленные функции являются базовыми при организации работ по мониторингу экологической ситуации. В данной работе процесс интеллектуализации системы мониторинга представляет собой передачу части управляющих функций от человека к ЭВМ, для чего были разработаны соответствующие математические модели, алгоритмы и программы, реализующие их. В результате в автоматизированную систему мониторинга объекта утилизации отходов были включены следующие дополнительные функции:

- моделирование и анализ экологической ситуации на рассматриваемом объекте в данный момент времени (компоненты множества $Z1$);
- прогнозирование развития экологической ситуации (компоненты множества $Z2$)

Для реализации рассмотренных функций системы мониторинга свалки ТКО необходимо выделить следующие составляющие (рис. 1):



Рис. 1 – Структурная схема интеллектуальной автоматизированной системы мониторинга свалки ТКО

- контрольно-измерительный блок (сбор информации – компоненты множеств L , X , Y);
- блок оценки и анализа экологической ситуации на объекте исследования (оценка и анализ текущего состояния – параметры множества $Z1$);
- блок прогнозирования развития экологической ситуации на объекте (прогноз состояния экосистемы – параметры множества $Z2$).

На основе теоретико-множественного подхода модель автоматизированной системы мониторинга свалки ТКО представляет кортеж в виде [3]:

$$\Psi = \langle K, R, M, P, F \rangle,$$

где $K = \{k_1, k_2, k_3\}$ – множество элементов системы мониторинга свалки,

k_1 – множество элементов контрольно-измерительного блока,

k_2 – множество элементов блока оценки и анализа экологической ситуации на объекте,

k_3 – множество элементов блока прогнозирования и развития экологической ситуации;

$R = \{Q, L\}$ – совокупность компонентов внешних воздействий на элементы множества K ,

Q – множество параметров управления элементами системы мониторинга свалки ТКО,

L – множество контролируемых в системе мониторинга показателей состояния объекта управления и параметров внешнего воздействия на него;

$M = \{Z_1, Z_2, Z_3\}$ – множество состояний элементов системы мониторинга свалки K ;

$P = \{p\}$ – множество отображений на множество элементов системы мониторинга K , на совокупность параметров внешних воздействий на систему мониторинга R , множество состояний элементов системы мониторинга свалки M ;

$F = \{f\}$ – множество отношений над элементами K, R, M .

Множества K, R, M формируются в зависимости от условий эксплуатации объекта утилизации коммунальных отходов и оснащения материально-технической базы системы мониторинга.

Блоки автоматизированной системы мониторинга свалки ТКО должны быть достаточно мобильными и адаптированными к изменяющимся условиям внешней среды и параметрам состояния объекта. Это обеспечит сбор полной и достоверной информации, которая позволит выбрать рациональные и эффективные сценарии по управлению составляющими системы мониторинга.

В результате выполнения исследования проведен анализ проблем и основных принципов организации экологического мониторинга объекта утилизации отходов. Определены основные функции и предложена структура интеллектуальной автоматизированной системы мониторинга свалки ТКО. Реализация системы мониторинга позволит рассчитывать варианты управленческих решений, направленных на регулирование экологической ситуации и ликвидацию негативных последствий воздействия свалок на окружающую природную среду.

Список литературы

1. *Константинов, И.С.* Особенности построения и интеллектуализация системы экомониторинга в составе автоматизированной системы управления экологической безопасностью / И.С. Константинов, О.Д. Иващук // Информационные системы и технологии. – 2010. - № 6(62) ноябрь-декабрь. – С. 113 – 118.
2. *Лобачева Л.В.* Проблема экологической безопасности полигона твердых бытовых отходов/ Л.В. Лобачева // В сборнике: Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – 2020. – С. 63 – 66.
3. *Иващук О.А.* Технология интеллектуального мониторинга экологической ситуации / О.А. Иващук // Образование, наука, производство. – 2013. – № 1 (2). – С.26 – 34.

05.13.01

¹В.П. Назаров канд. техн. наук, ²Н.О. Сапоженков канд. техн. наук,
²М.В. Немков канд. техн. наук

¹Югорский государственный университет,
Институт нефти и газа,
Ханты-Мансийск, ing@ugrasu.ru

²Тюменский индустриальный университет,
Институт Транспорта,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО БАЛАНСА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Низкий уровень заряженности – одна из основных причин снижения ресурса и ухудшения показателей работоспособности аккумуляторных батарей, в результате чего пуск двигателя в холодное время года затрудняется либо вовсе становится невозможным. В работе рассмотрены методы обеспечения положительного баланса в системах электроснабжения автомобилей при эксплуатации в холодных климатических условиях. Использование результатов исследования повышает надёжность пуска и снижает затраты на покупку новых аккумуляторных батарей в автотранспортных предприятиях нефтегазодобывающего комплекса.

Ключевые слова: Уровень заряженности, аккумуляторная батарея, система электроснабжения, положительный баланс, условия эксплуатации, холодный климат, надёжность пуска.

Условия и интенсивность эксплуатации определяют формирование баланса электроэнергии в бортовой сети современных автомобилей. Частые пуски в относительно короткий промежуток времени, либо пуск – короткий пробег – и последующая длительная стоянка при низких температурах опасны тем, что генератор не успевает передать то количество электроэнергии, которое аккумуляторная батарея (АКБ) отдала во время предшествующего разряда. Ежедневная эксплуатация в таких режимах без дополнительного заряда способствует быстрому снижению уровня заряженности АКБ, в результате чего срок её службы снижается, а пуск двигателя (ДВС) в холодное время года затрудняется либо вовсе становится невозможным.

Своевременный заряд АКБ в зимний период обеспечивает безопасность эксплуатации автомобилей в холодных климатических условиях, снижает затраты от простоев и зависит не только от характеристик АКБ и системы электроснабжения, но и от вариации условий и интенсивности эксплуатации [1, 2]. В этой связи объектом исследования был выбран процесс формирования уровня заряженности АКБ при эксплуатации автомобилей в зимний период. Предметом исследования – закономерности формирования баланса электроэнергии с учётом изменений температуры окружающего воздуха и интенсивности эксплуатации легковых автомобилей в зимний период. Для расчёта и моделирования баланса электроэнергии на автомобилях используют методики, основанные на распределении времени работы генератора в рабочих диапазонах частот вращения коленчатого вала ДВС и электропотреблении приборов, включенных во время движения автомобиля по маршруту. Зарядный ток, температура и напряжение АКБ определяются по результатам имитационного моделирования с учётом среднесуточной температуры, продолжительности поездок и количества пусков ДВС [2, 3, 4]. В связи с многочисленностью, регулярным обновлением и интенсивной эксплуатацией в автотранспортных предприятиях нефтегазодобывающего комплекса предпочтение в исследованиях было отдано автомобилям УАЗ 3163-Патриот (Рис.1).



Рис. 1 – Компоненты системы электроснабжения УАЗ 3163-Патриот

Для отбора подразделений, эксплуатирующих УАЗ 3163, предложено использовать метод АВС-анализа, который позволяет классифицировать ресурсы по степени их важности и в качестве метода рационализации может применяться в сфере деятельности любого предприятия, так как в его основе лежит принцип Парето – 20% всех товаров дают 80% оборота. Таким образом, на основе результатов группировки по методу АВС-анализа для исследований были выбраны автомобили из шести подразделений одного из автотранспортных предприятий нефтегазодобывающего комплекса (Рис. 2).

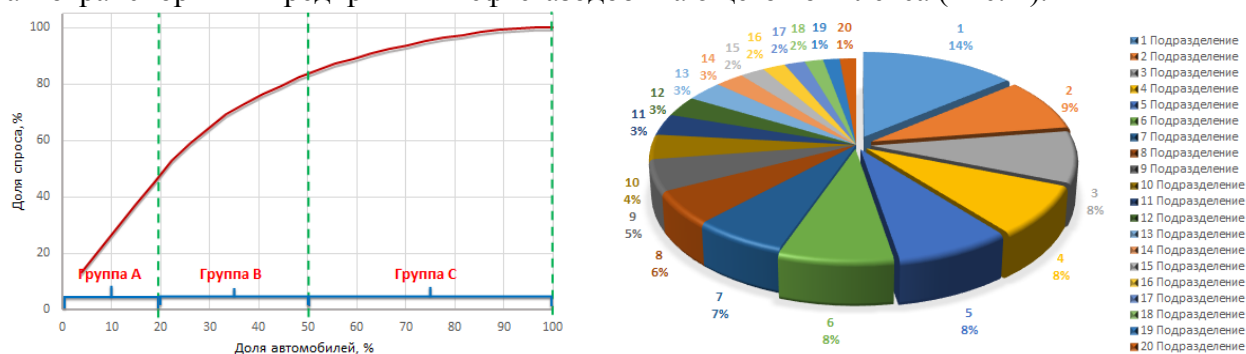


Рис. 2 – Распределение автомобилей по подразделениям

Далее по выбранным шести подразделениям были отсортированы наработки на отказ АКБ и установлен средний пробег до замены, что позволило рассчитать суммарные затраты на замену АКБ. На основании дат и наработок до второго отказа определялась средняя продолжительность эксплуатации АКБ по подразделениям в годах, после чего были рассчитаны параметры эксплуатации: наработка на отказ, средний пробег и удельные затраты на замену АКБ. На основе полученных данных была произведена оценка режима эксплуатации автомобилей и осуществлён отбор подразделений, где затраты на эксплуатацию из-за отказов АКБ больше (Табл. 1).

Таблица 1 – Сводные данные по эксплуатации АКБ УАЗ 3163

№ подразделения	1	2	3	4	5	6
Количество автомобилей, ед.	76	47	46	45	44	44
Количество отказов АКБ	151	70	57	96	85	79
Параметр потока отказов	0,5	0,33	0,19	0,53	0,48	0,44
Длительность эксплуатации АКБ, лет	2,63	2,89	2,58	2,56	2,95	2,57
Среднегодовой пробег, т.км.	46,4	50,1	57,1	56,5	35,7	47,5
Средняя наработка на отказ АКБ, т.км.	122,1	145,1	147,1	144,5	105,3	122,3
Суммарный пробег за период, млн.км.	18,31	10,15	8,39	13,87	8,95	10,39
Суммарные затраты за период, руб.	196580	89702	70061	123879	108337	99896
Затраты по АКБ на 1 автомобиль руб./год	287,4	212,1	169,23	305,88	273,58	252,2
Затраты по АКБ на 1 км, руб./100 км.	0,6193	0,4226	0,2963	0,5413	0,7663	0,536

Анализ данных показал, что наименьшие удельные затраты на текущий ремонт АКБ приходится на 3 подразделение, что свидетельствует как о полноценной реализации планово-предупредительной системы ТО и Р, в рамках которой регулярно контролируется уровень заряженности АКБ, так и о благоприятных условиях межсменного хранения некоторых автомобилей в зимний период (крытые стоянки, отапливаемые помещения, системы подогрева и пр.). Наибольшие удельные затраты характерны для 5 подразделения, где сравнительно малый среднегодовой пробег указывает на неблагоприятные режимы эксплуатации, связанные с частыми пусками, длительной работой ДВС на холостом ходу и поездками на короткие расстояния. На основании изложенного было принято решение о проведении дальнейших исследований на автомобилях УАЗ 3163-Патриот из подразделения 5.

Учитывая то, что на данные автомобили заводом-изготовителем предусмотрена установка различных генераторов для исследований были выбраны наиболее популярные из них – 51223771 ПРАМО-ЭЛЕКТРО с максимальной силой тока 80, 120 и 140 ампер соответственно. При выборе АКБ было отдано предпочтение моделям с ёмкостью 60, 85 и 100 А·ч. В соответствии с методикой [3] был рассчитан зарядный ток АКБ в зависимости от ёмкости, уровня заряженности, температуры и напряжения заряда, что позволило спрогнозировать уровень заряженности АКБ в течение зимнего периода с ноября по март.

Для разработки рекомендаций по корректированию периодичности заряда были определены параметры режима эксплуатации. Предполагалось, что автомобиль эксплуатируется не более 3 часов в сутки при 3-х пусках и 18 минутах прогрева ДВС. Пороговый уровень заряженности предложено ограничить значением в 60%, так как в случае дальнейшего разряда при безгаражном хранении увеличивается вероятность замерзания электролита, что влечёт за собой разрушение активной массы электродов и преждевременные отказы АКБ [2].

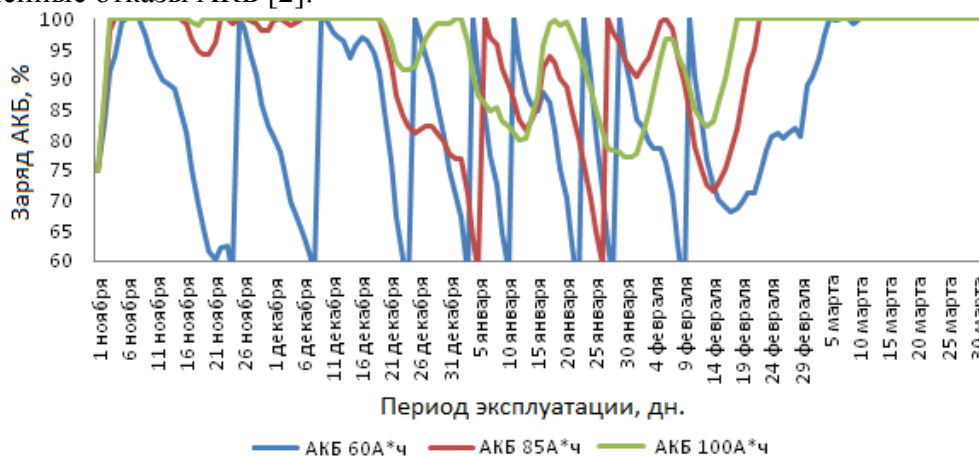


Рис. 3 – Моделирование уровня заряженности АКБ УАЗ 3163 при эксплуатации в зимний период

Из рис. 3 следует, что при эксплуатации автомобиля с генератором на 140А и АКБ 60А·ч., уровень заряженности достигает критических значений 8 раз за 5 месяцев зимней эксплуатации и также требует заряда в период с ноября по февраль раз в 2 недели. При этом установка АКБ ёмкостью 100 А·ч позволяет полностью исключить дополнительные заряды в моделируемом режиме эксплуатации.

Таким образом, полученные данные могут быть использованы для оптимизации системы электроснабжения и разработки практических рекомендаций по заряду АКБ УАЗ 3163. Экономический эффект от внедрения результатов исследования достигается за счёт повышения надёжности пуска ДВС и снижения затрат на покупку новых АКБ.

Список литературы

1. *Конев, В.В.* Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // Материалы Национальной научно-практической конференции: Нефть и газ: технологии и инновации. – 2020. – С. 194-196.
2. *Захаров, Н.С.* Моделирование процессов формирования уровня заряженности автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период [Текст] / Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51). – С. 232-237.
3. *Захаров, Н.С.* Определение оптимальной периодичности заряда автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков // Материалы Международной научно-технической конференции: Транспортные и транспортно-технологические системы. – 2016. – С. 134-139.
4. *Захаров, Н.С.* Изменение зарядного тока автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период [Текст] / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 12-2. – С. 167-173.

05.13.01

В.В. Попцов канд. техн. наук

Тюменский индустриальный университет,
Институт транспорта,
кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
Тюмень, portsov.victor@mail.ru

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЕЙ FORD FOCUS III

В статье представлены результаты исследования по оценке надежности коробки передач Power Shift Ford Focus III. Сформулированы цели и задачи исследования. Проведён анализ относительной доли отказов по различным агрегатам. Рассмотрены конструктивные особенности и недостатки коробки передач. Выбраны и рассчитаны показатели надёжности с их графической иллюстрацией и предложены рекомендации по повышению надёжности исследуемого агрегата.

Ключевые слова: надёжность, коробка передач, отказ, вероятность отказа, интенсивность отказа, частота отказа.

Исследованию надёжности автомобилей, их агрегатов и систем посвящено большое количество научных работ аспирантов и учёных [1, 2]. В данной статье представлены исследования надёжности автомобиля Ford Focus III на СТО Группы Компаний (ГК) «Автоград» в г. Тюмени.

Автомобилей Ford Focus III занимает значительный сегмент авторынка у нас в стране и является достаточно надёжной моделью. Однако на дилерских сервисных центрах наблюдается постоянное обращение автовладельцев с различными проблемами.

Проведён анализ относительной доли отказов по различным агрегатам и системам автомобилей указанной марки, на основании которого установлено: 31% отказов приходится на коробку передач; 22% - двигатель и его системы; 19% - передняя и задняя подвеска; 14% - тормозная система; 11% - электрооборудование. Это позволяет сделать вывод об актуальности исследований, связанных с оценкой надёжности коробки передач автомобиля Ford Focus III.

Основными проявлениями неисправности коробки передач являются рывки в процессе движения, скрежеты или невозможность включения режима D либо R, неисправность электронного блока управления, повреждение сальника коленчатого вала [3]. При возникновении подобных проблем автовладельцы вынуждены обратиться на СТО для проведения диагностирования с последующим дорогостоящим ремонтом.

Целью данного исследования является оценка надежности коробки передач Power Shift автомобилей Ford Focus III.

Сформулированы задачи исследования:

- выявление конструктивных особенностей коробки передач Power Shift, её достоинства и недостатки;
- сбор и обработка информации об отказах;
- разработка рекомендаций по повышению надёжности.

В качестве объекта исследований в данной статье представлен процесс изменения показателей надёжности коробки передач в процессе эксплуатации.

На автомобиле установлена шести ступенчатая роботизированная коробка передач. Её устройство и принцип действия подробно изложен в соответствующей литературе [3].

Особенностью конструкции КПА является наличие двух первичных валов, расположенных один внутри другого. Первый вал является полым и используется для включения чётных передач и заднего хода. Внутренний центральный вал включает нечётные передачи.

Еще одной конструктивной особенностью является наличие двух главных передач. Каждый вторичный вал имеет свою ведущую шестерню главной передачи. К недостаткам коробки передач Power Shift следует отнести отсутствие промежуточного режима между режимами «D» и «S». Коробка передач не имеет гидродинамического трансформатора и по сути является механической. Кроме того, в перечне регламентных работ по техническому обслуживанию не предусмотрена замена масла.

Для получения информации об отказах коробки передач Power Shift с целью исследования её надежности была собрана информация из заказ-нарядов на диагностику автомобилей Ford Focus III за 2019 год по СТО ГК «Автоград» города Тюмень. Объем выборки составил 362 единицы. Все автомобили находились на гарантийном обслуживании, составляющем три года или 100 тыс. км. пробега.

При поступлении автомобилей в дилерский центр в обязательном порядке квалифицированным мастером по сервису фиксируется пробег, жалобы автовладельца, условия эксплуатации автомобиля и фактически выявленная неисправность. На основании этого можно утверждать о достоверности полученной информации.

Объем полученной информации является достаточным для определения показателей надежности и дальнейшего выявления причин отказа коробки передач.

Для обработки полученной информации и выполнения последующих расчетов пробеги были разделены на семь групп с интервалом в 15 тыс. км., что соответствует периодичности технического обслуживания автомобилей Ford Focus III.

В качестве оценочных показателей надежности выбраны: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частота отказов и интенсивность отказов. Перечисленные показатели включают в себя все факторы, влияющие на надежность исследуемого объекта, и могут быть использованы в расчетах сложных технических систем. При этом, чем больше число элементов в выборке, тем больше точность полученных значений [4].

После обработки собранного массива статистической информации при помощи программы Microsoft Excel был произведен расчет выбранных показателей надежности. На основании полученных результатов построены графики изменения показателей надежности в процессе эксплуатации, которые представлены на рисунках 1-4.

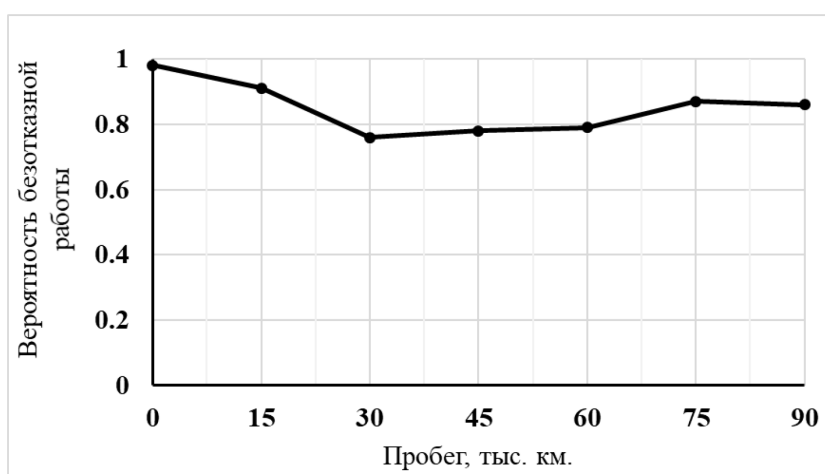


Рис. 1 – Зависимость вероятности безотказной работы от пробега

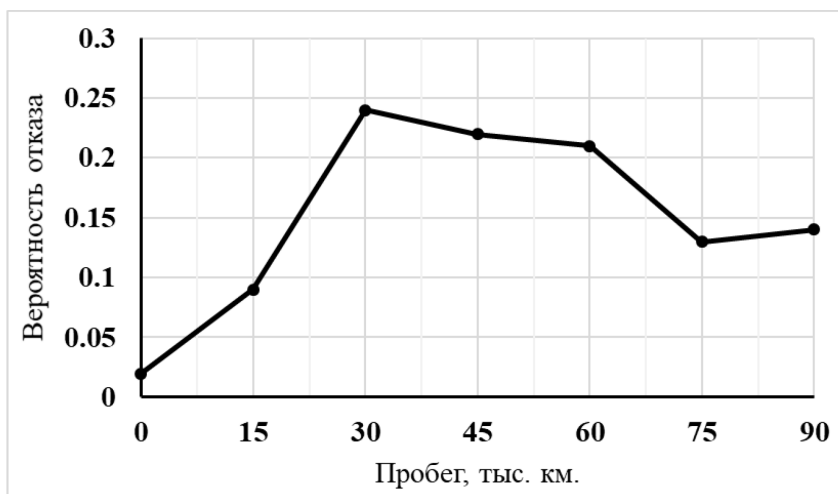


Рис. 2 – Зависимость вероятности отказа от пробега

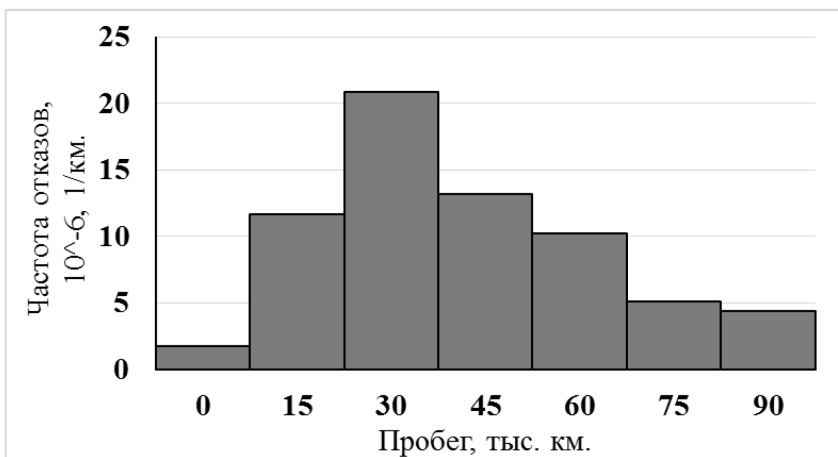


Рис. 3 – Зависимость частоты отказов от пробега

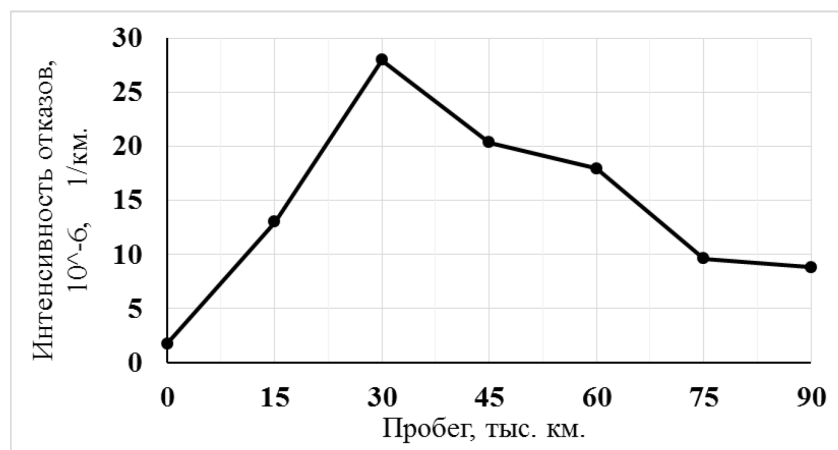


Рис. 4 – Зависимость интенсивности отказов от пробега

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод: минимальное значение вероятности безотказной работы 0,76 соответствует пробегу в 30 тыс. км., при этом же пробеге наблюдается наибольшая вероятность отказа, наибольшая частота и интенсивность отказов.

Результаты исследований могут быть рекомендованы дилерским центрам для планирования ремонта коробки передач, сократить простои автомобиля в ремонте и снизить число недовольных клиентов. Рекомендуется включить в регламентные работы по ТО операцию по замене масла в коробке с периодичностью в 60 тыс. км. пробега. Исследования в выбранном направлении могут быть продолжены с целью повышения надёжности составных частей коробки передач.

Список литературы

1. Аленичев А.А. Общий анализ надёжности автомобильных трансмиссий // Молодой учёный. – 2017. - № 20 (154). – С. 3-5.
2. Денисов Ив.В., Денисов Ил.В. Методика определения общей вероятности безотказной работы технических систем (на примере передней подвески ВАЗ-2170) // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-7. – С. 1425-1429.
3. Ремонт АКПП Ford [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://akpp-ford-spb.ru/page_id=105. (дата обращения : 26.09.2020).
4. Гусейнов Р.В., Султанова Л.М. Определение показателей надёжности автомобилей // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2015. - № 3(38). – С. 43-48.

05.13.01

С.М. Чеботарев, А.В. Власенко канд. техн. наук

АО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» -
«НИИ – космического приборостроения»,
Москва, smich-kt@mail.ru,
Кубанский государственный технологический университет,
Краснодар, alex_vlasenko@list.ru

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОРГАНА ОБРАБОТКИ ДОКУМЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ ГУВД ОТ ОРГШТАТНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ ЛИЧНОГО СОСТАВА

В данной работе находится зависимость пропускной способности спецоргана от оргштатной численности личного состава.

Ключевые слова: *пропускная способность, орган обработки документированной информации, статистика потока, нагрузка, оргштатная численность, входящая информация.*

Введение

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция нарастания объема информации [1,2], циркулирующей в системах управления различного назначения. Причем увеличение объема сопровождается резкими колебаниями текущей нагрузки на орган обработки документированной информации (далее по тексту «спецорган»).

Традиционные методы обработки документированной информации (далее по тексту «сообщения») себя полностью исчерпали. На современном этапе возникает необходимость внедрения сетевых, автоматизированных методов передачи и обработки сообщений на базе Intranet технологий [3,4,5]. Это неизбежно приведет к необходимости оргштатных изменений спецоргана ОВД.

Математическая модель расчета оптимальной численности личного состава спецоргана ОВД

Известно, что нормы нагрузки на спецорган обосновываются исходя из оргштатной структуры и наличия спецтехники, что не всегда оправдано. Например, в особые периоды, нагрузка на спецорган может резко возрасти, что приведет к срыву нормативных сроков обработки сообщений. Для научно-обоснованных рекомендаций по составу оргштатной структуры спецоргана разработаем математическую модель процесса обработки входящих сообщений в традиционном спецоргане.

Для среднего времени обработки одного «условного» сообщения можем записать:

$$t_o = \frac{t_{vx} + t_{vix}}{2} \quad (1)$$

где:

t_o - это время, затраченное на обработку одного «условного» сообщения (вх. или исх.);

t_{vx} – среднее время на обработку входящего сообщения;

t_{vix} – среднее время на обработку исходящего сообщения.

Среднее время, не связанное с непосредственной обработкой сообщений:

1 час 00 минут – прием-сдача дежурства;

1 час 00 минут – проверка техники;

1 час 00 минут – приём пищи личным составом;

1 час 00 минут – выверка документов и уничтожение чернового материала. Итого это время составит: 4 часа 00 минут.

Рассмотрим 24 и 12 часовые графики дежурства.

Если принять, что рабочая смена (дежурство) составляет 24 часа, то из 24 часов вычитаем время, не связанное с непосредственной обработкой информации (4 часа), тогда остаётся 20 часов (1200 минут).

За это время один оператор может обработать «X» сообщений.

$$X = \frac{t_{\text{общ}}}{t_o} = \frac{1200}{24} = 50 \text{млз} \quad (2)$$

Пять операторов обрабатывают соответственно:

$$50 \cdot 4 = 200 \text{ сообщений (телеграмм).}$$

Для определения коэффициента нагрузки (K_H) на личный состав дежурной смены примем нормативную степень загруженности личного состава за 100%, тогда коэффициент нагрузки можно определить как:

$$K_H = \frac{T \cdot t_o}{t_{\text{общ}} \cdot O} = \frac{200 \cdot 24}{1200 \cdot 4} = 1 \quad (3)$$

где:

K_H – коэффициент нагрузки нормативный;

T – количество сообщений за смену;

O – количество операторов в смене.

Таким образом, если за смену было обработано 300 сообщений, то:

$$K_{H1} = \frac{300 \cdot 24}{1200 \cdot 4} = 1,5 \quad (4)$$

А если обработано 150 сообщений, то коэффициент нагрузки будет:

$$K_{H2} = \frac{150 \cdot 24}{1200 \cdot 4} = 0,75 \quad (5)$$

Если K_{H1} больше 1, то личный состав перегружен, а если меньше единицы – недогружен.

При подсчете обоснованной нормы нагрузки нельзя не учитывать фактор качества принятых сообщений, то есть потери времени на корректировку искажений. Тогда коэффициент нагрузки будет рассчитываться по формуле:

$$K_{H2} = \frac{t_{\text{обп}} + t_u}{t_{\text{общ}} \cdot O} \quad (6)$$

где:

$t_{\text{обп}}$ - время обработки всех сообщений - $T \cdot t_o$

t_u - общее время на устранение всех искажений.

Экспериментальным путем установлено, что время, затраченное на устранение искажений (t_u), колеблется от 30 до 60 минут за смену, что в среднем составляет 45 минут.

С учетом выше сказанного, можно вывести коэффициент искажений (K_u), который примем за постоянную величину:

$$K_u = \frac{K_2}{K_1}, \quad (7)$$

где:

K_2 – коэффициент нагрузки с учетом искажений;

$K_1 = \frac{t_{\text{обп}}}{t_{\text{общ}} \cdot O}$ - коэффициент нагрузки без учета искажений.

Тогда согласно формуле (7) получаем $K_u = 1,01$.

То есть коэффициент нагрузки с учётом искажений информации определяется по формуле:

$$K_{Hи} = K_u \frac{t_{\text{обп}}}{t_{\text{общ}} \cdot O} \quad (8)$$

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что обоснованный коэффициент нагрузки на личный состав органа обработки документальной информации выражается следующей формулой:

$$K = \frac{K_u T \cdot K_{\text{кв}i} \cdot t_o}{t_{\text{общ}} \cdot O}, \quad (9)$$

где:

$K_{и}$ – коэффициент искажений;

T – количество сообщений за смену;

$K_{квi}$ – коэффициент классности специалиста (для мастера-1, для 1 класса-0,9; для 2 класса- 1,125; для 3 класса-1,38);

t_o – время на обработку одного сообщения;

$t_{общ}$ – время на обработку всех сообщений за смену;

O – количество операторов.

Тогда из (13) легко выводятся формулы для определения количества сообщений, которые могут обработать определенное количество операторов:

$$T = \frac{K \cdot t_{общ} \cdot O}{y \cdot K_{и} \cdot K_{квi} \cdot t_o} \quad (10)$$

$$O = \frac{T \cdot y \cdot K_{и} \cdot K_{квi} \cdot t_o}{K \cdot t_{общ}} \quad (11)$$

Вычисления при помощи полученной математической модели, для дежурных смен продолжительностью 24 часа и 12 часов, в зависимости от повседневной нагрузки и увеличенной в 2, 3, 4 раз, показывают, что наиболее предпочтительным, с точки зрения численности операторов и численности дежурных смен, является режим 12 часовой работы.

Выводы. Разработанная математическая модель позволяет объективно оценить необходимое количество операторов для обработки входящего потока сообщений, то есть найти объем сообщений, который может обработать штатный персонал спецоргана. Это позволяет оценить потенциальные возможности традиционных и вновь создаваемых спецорганов по обработке документированной информации и выработать научно-обоснованные предложения по составу и графику работы дежурных смен спецоргана ОВД субъекта РФ.

Список литературы

1. Информационные технологии и системы муниципального и государственного управления: Учебное пособие / В.Г.Кулаков, А.К.Соловьев, А.Б.Андреев, А.В.Заряев, А.В.Гармонов, А.Г.Остапенко, Б.Ю.Зинченко - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2001. – 313 с.
2. *Рогозин Е.А., Попов А.Д., Шагиров Т.В.* Проектирование систем защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных системах органов внутренних дел. / Вестник Воронежского института МВД России №2. 2016. С.174-182
3. *Кузнецов, Ю.В.* Разработка защищенной корпоративной сети ТСР\IP в интересах скрытого управления войсками. / Ф.Г. Хисамов, В.С. Харлан \ \ Материалы межведомственной научно-технической конференции. Информационная безопасность и применение информационных технологий в борьбе с преступлениями. - Краснодар, КЮИ МВД РФ, 2002. – С.23-28.
4. *Кузнецов Ю.В.,* Применение INTRANET технологии для разработки корпоративной сети скрытого управления войсками. / Ф.Г. Хисамов, В.С. Харлан // Материалы III межведомственной научно-технической конференции.- Краснодар: КВИ, 2002. – С.45-49.
5. Об утверждении Концепции обеспечения информационной безопасности органов внутренних дел Российской Федерации до 2020 года: приказ МВД России от 14.03.2012 №169 [Электронный ресурс]. — URL: <http://policemagazine.ru/forum/showthread.php?t=3663>

05.13.01

Е.А. Чжан канд. техн. наук

Сибирский федеральный университет,
Институт космических и информационных технологий,
базовая кафедра интеллектуальных систем управления,
echzhan@sfu-kras.ru

МОДИФИКАЦИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛУЧАЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ПЕРЕМЕННЫХ

В работе рассматриваются дискретно-непрерывные многомерные безынерционные процессы с запаздыванием. Предложен непараметрический алгоритм для прогнозирования ключевых показателей процесса в случае использования нечетких переменных. Алгоритм основан на непараметрической оценке функции регрессии по наблюдениям.

Ключевые слова: нечеткие переменные, непараметрические алгоритмы, идентификация, дискретно-непрерывный процесс, выборка наблюдений, прогнозирование.

Введение. Дискретно-непрерывные многомерные процессы типичны для различных производств [1], таких как плавка стали в металлургии [2] или сжигание угля в котлоагрегате в энергетике [3] и др. Для подобного рода процессов свойственна различная дискретность контроля входных и выходных переменных процесса, поэтому несмотря на их динамический характер мы вынуждены рассматривать их как безынерционные с запаздыванием [1]. При моделировании подобного рода процессов исследователь учитывает всю имеющуюся априорную информацию: тип процесса, число входных и выходных переменных и др. При этом структура зависимостей, описывающих протекающие процессы, неизвестна. В этом случае модель процесса представляется в виде черного ящика, а зависимости могут быть описаны с помощью непараметрических оценок [1, 4]. Модели могут быть использованы для получения прогноза ключевых показателей процесса при заданных значениях входных переменных. В некоторых случаях, переменные могут быть заданы с помощью нечетких чисел [5]. Несмотря на их широкое использование для моделирования технологических процессов [6], вопросы использования нечетких переменных для решения задач прогнозирования дискретно-непрерывных процессов с запаздыванием требует проведения дополнительных исследований. В работе предлагается модифицировать непараметрический алгоритм идентификации для случая использования нечетких переменных.

Постановка задачи. Схема моделирования дискретно-непрерывного процесса с запаздыванием может иметь вид, представленный на рисунке 1 [1]. На вход исследуемого процесса поступает входное воздействие, поддающееся контролю и измерению $u(t) \in R$, а также входное измеряемое, но неконтролируемое воздействие $v(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_k(t)) \in R^k$, выходом является переменная $x(t) \in R$. Случайные помехи $g^u(t), g^v(t), g^x(t)$ измерительных устройств G^u, G^v, G^x имеют нулевое математическое ожидание и ограниченную дисперсию. Процесс носит стохастический характер в силу влияния на него случайного воздействия $\xi(t)$.

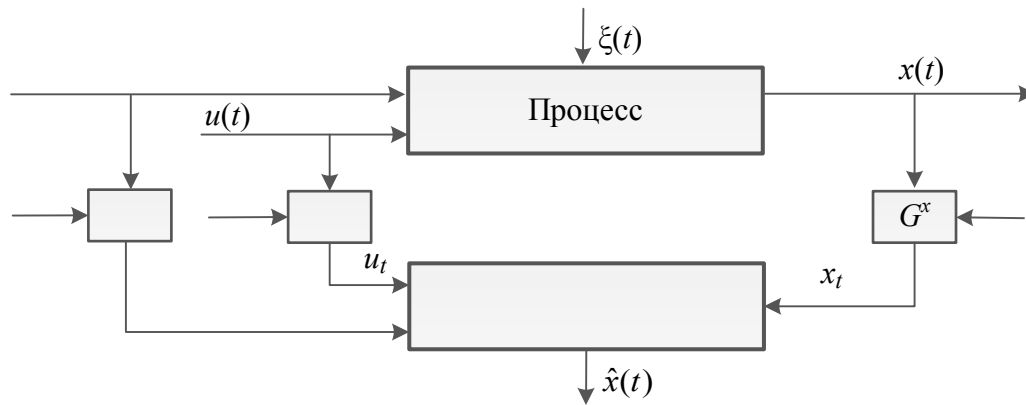


Рис. 1 – Схема моделирования процесса

Таким образом, на блок «Модель» поступает выборка наблюдений $\{\mathbf{v}_i, u_i, x_i, i = \overline{1, s}\}$ объемом s , на основании которой вычисляется оценка $\hat{x}(t)$. Для получения прогноза из области допустимых значений выбираются значения $\mathbf{v}', u'$ и подаются на вход модели $\hat{x}(\mathbf{v}', u')$.

Однако в некоторых случаях исследователю предпочтительнее задать значение контролируемой переменной u с помощью нечеткого числа. Для понимания последующей логики изложения приведем определение нечеткого числа [5]:

«Опр. 1 (В. Bede, L. Stefanini). Обозначим нечеткую переменную $u_\alpha \in R_F$. Для $\alpha \in [0, 1]$ α -уровень среза переменной u_α (или кратко α -срез) определяется $[u]_\alpha = \{y \mid y \in R, u(y) \geq \alpha\}$ и для $\alpha = 0$: $[u]_0 = cl\{y \mid y \in R, u(y) > 0\}$. Ядро переменной u есть подмножество элементов области определения R со степенью принадлежности равной 1, т.е. $[u]_1 = \{y \mid y \in R, u(y) = 1\}$.

Срезы при различных уровнях являются вложенными, т.е. $[u]_\alpha \subseteq [u]_\beta$ при $\alpha > \beta$. Нечеткое множество u является нечеткой переменной тогда и только тогда, когда α -срезы есть непустые компактные интервалы вида $[u]_\alpha = [u_\alpha^-, u_\alpha^+] \subset R$ ».

Далее рассмотрим предлагаемую модификацию непараметрического алгоритма моделирования дискретно-непрерывных процессов, если контролируемая переменная $u(t)$ представлена в виде нечеткого числа.

Модификация непараметрического алгоритма моделирования. Для вычисления выхода модели $\hat{x}(\mathbf{v}, u)$ будем использовать непараметрическую оценку функции регрессии Надарая-Ватсона [7]:

$$\hat{x}(\mathbf{v}, u) = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \Phi(c_s^{-1}(u - u_i)) \prod_{j=1}^k \Phi(c_s^{-1}(\mathbf{v}^j - \mathbf{v}_i^j))}{\sum_{i=1}^s \Phi(c_s^{-1}(u - u_i)) \prod_{j=1}^k \Phi(c_s^{-1}(\mathbf{v}^j - \mathbf{v}_i^j))}, \quad (1)$$

где k – размерность вектора $\mathbf{v} = (\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_k)$, $\Phi(c_s^{-1}(u - u_i))$, $i = \overline{1, s}$ – ядерная колоколообразная функция, c_s – коэффициент размытости ядра. Ядерная функция и коэффициент c_s удовлетворяют условиям сходимости [8]. Величина параметра c_s вычисляется путем минимизации квадратичного критерия невязки выхода объекта и выхода

модели (1) по обучающей выборке $\{\mathbf{v}_i, u_i, x_i, i = \overline{1, s}\}$, полученной путем измерения входных и выходных переменных процесса.

Пусть u_α – контролируемая переменная, заданная в виде нечеткого числа с функцией принадлежности $\mu_\alpha(u)$. Для получения прогноза $\hat{x}_\alpha(u_\alpha, \mathbf{v}')$, $\mathbf{v}' = (v'_1, v'_2, \dots, v'_k)$, используя оценку (1), предлагается использовать следующий алгоритм.

1. Значения параметра α принадлежат интервалу $[0, 1]$. Дискретизировав данный интервал, для каждого значения $\alpha_i, i = \overline{1, n}$ получим значение α -среза переменной u_α , который представляет собой интервал $[u]_i = [u_i^-, u_i^+], i = \overline{1, n}$. Таким образом, согласно опр. 1 получим множество вложенных интервалов.

2. Разобьем на N равных подынтервалов каждый из интервалов $[u]_i, i = \overline{1, n}$. Границы каждого из N подынтервалов определяются согласно следующей формуле:

$$u'_{i,j} = u_{i,j}^- + j\Delta_i, j = \overline{0, N}, \quad (2)$$

где $\Delta_i = (u_i^+ - u_i^-) / N$ – длина i -ого подынтервала.

3. Вычислим значения оценки (1) при $\hat{x}'_{i,j}(u'_{i,j}, \mathbf{v}'), j = \overline{0, N}$.

4. Среди $\hat{x}'_{i,j}(u'_{i,j}, \mathbf{v}'), j = \overline{0, N}$ выберем минимальное и максимальное значение, определив тем самым границы интервала для прогноза выходной переменной при заданных значениях входных переменных:

$$\hat{x}_i^- = \min_j \{\hat{x}'_{i,j}, j = \overline{0, N}\} \quad \hat{x}_i^+ = \max_j \{\hat{x}'_{i,j}, j = \overline{0, N}\}$$

Таким образом будет сформирован интервал: $[x']_i = [x_i^-, x_i^+]$.

5. Повторяя шаги 3-4 при $i = \overline{1, n}$ получим n интервалов: $[x']_i = [x_i^-, x_i^+], i = \overline{1, n}$ для каждого α -среза $[u]_i, i = \overline{1, n}$.

6. Из множества пар границ $[x']_i = [x_i^-, x_i^+], i = \overline{1, n}$ сформируем нечеткое множество X в виде [7]:

$$X = \left\{ \frac{\alpha_l}{x_l} \right\}, l = \overline{1, 2n}, \quad (3)$$

где $x_{l-1} \leq x_l, l = \overline{2, 2n}$.

6. По множеству α -срезов с требуемой точностью можно восстановить функцию принадлежности $\mu^*_\alpha(x)$ [7]:

$$\mu^*_\alpha(x) = \sup_{\alpha \in [0, 1]} (\alpha \cdot (X \geq \alpha)) \quad (4)$$

Таким образом, при заданном значении $\mathbf{v}' = (v'_1, v'_2, \dots, v'_k)$ и u_α получим величину прогноза $\hat{x}_\alpha(u_\alpha, \mathbf{v}')$, оценка функции принадлежности $\mu^*_\alpha(x)$ вычисляется в соответствии с (4).

Заключение. В работе предложен алгоритм моделирования дискретно-непрерывных процессов для получения прогноза при задании контролируемой переменной в виде нечеткого числа. Оценка модели также представлена в виде нечеткого числа, аппроксимация функции принадлежности находится в соответствии с предложенным алгоритмом.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта
Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых
МК-763.2020.9.*

Список литературы

1. *Медведев А.В.* Основы теории непараметрических систем. Идентификация, управление, принятие решений : монография // изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, 2018, 732 с.
2. *Долгов Ю.А., Козак Л.Я., Шестопал О.В.* Схема математического моделирования технологического процесса плавки стали // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, №. 7, 2010. С. 157–160.
3. *Мухутдинов А.Р., Марченко Г.Н.* Повышение стабильности процесса горения твердого топлива на тепловых электрических станциях // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, № 7-8, 2009.
4. *Хардле В.* Прикладная непараметрическая регрессия. М. : Мир, 1993, 349с.
5. *Bede B., Stefanini L.* Generalized differentiability of fuzzy-valued functions // Fuzzy Sets Syst., 230(1), 2013, pp. 119-141.
6. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. БХВ-Петербург, 2005.
7. *Надарая Э.А.* Непараметрические оценки плотности вероятности и кривой регрессии // Тбилиси: издательство Тбилисского университета, 1983, 194 с.
8. *Пегат А.* Нечеткое моделирование и управление / пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009, 798 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (05.13.06)**

05.13.06

Н.Д. Абросимова, И.М. Кипелкин, С.В. Оболенский д-р техн. наукНижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, andnenastik@inbox.ru**ВЛИЯНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
НИЗКОИНТЕНСИВНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР
«КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ»**

В работе сопоставлены результаты исследований влияния низкоинтенсивного низкоэнергетического рентгеновского излучения на электрофизические характеристики структур «кремний на изоляторе» различных производителей. Приведены результаты вычислений плотности фиксированного заряда, поверхностных состояний. Проведено моделирование ВФХ в программе Silvaco TCAD.

Ключевые слова: *кремний на изоляторе, встроенный заряд, вольт-фарадные характеристики, ртутный зонд.*

Требования, предъявляемые к современным электронным приборам, определяются не только в плане достижения значений функциональных характеристик, но и надежностью при эксплуатации в осложненных условиях. Развитие технологий структур «кремний-на-изоляторе» (КНИ) в значительной мере обусловлено теми существенными преимуществами, которые достигаются благодаря возможности снижения ионизационных токов в активных областях электронных приборов, возникающих при воздействии ионизирующих излучений. Наличие встроенного диэлектрика препятствует проникновению сгенерированных излучением электронов в приборный слой, за счет этого появляется возможность практически полного устранения объемных эффектов при импульсном воздействии и существенного снижения чувствительности к одиночным частицам.

Основным фактором, ограничивающим применение структур КНИ, является их чувствительность к эффектам полной дозы, обусловленными накоплением заряда в диэлектрических слоях [1,2].

Целью работы являлось получение зависимости электрофизических характеристик структур КНИ различных производителей от дозы низкоинтенсивного низкоэнергетического излучения и оценка степени влияния облучения на их дефектный состав.

Объектами исследований являлись структуры КНИ n- и p- типов проводимости с толщинами слоев 200, 482 и 637 нм отечественных и зарубежных производителей до и после воздействия различных доз низкоинтенсивного низкоэнергетического рентгеновского излучения.

Исследования проводились методами ВАХ, ВЧ и НЧ ВФХ, методом проводимости с помощью системы контроля электрофизических параметров со ртутным зондом, позволяющей выполнять измерения непосредственно на пластине, исключая нанесение контактных площадок [3]. Облучение проводилось различными дозами в различных областях пластины (области обозначены А, В, С, дозы облучения соотносятся как $DA > DB > DC$). Расположение областей на пластине показано на рисунке 1. Сопоставлялись данные до и после облучения.

ВЧ ВФХ для структур КНИ р-типа проводимости St 1, St 4 имеют характерный для таких структур вид с двумя областями обеднения, соответствующими границе захороненного диэлектрика с приборным слоем и с подложкой. Область обеднения, соответствующая границе с приборным слоем, располагается в диапазоне от -10 В до 0 В. Для пластин St 1, St 6 вид C-V характеристик в области инверсии соответствует неравновесному накоплению, для пластины St 6 неравновесное накопление выражено сильнее. Расположение области обеднения для границы, соответствующей подложке, для структуры St 1 соответствует меньшему объемному заряду, отнесенному к этой границе, чем для структуры St 4. Наклон C-V характеристик для границы с подложкой этих структур не имеет существенных различий, из этого следует, что плотности поверхностных состояний также не должны отличаться.

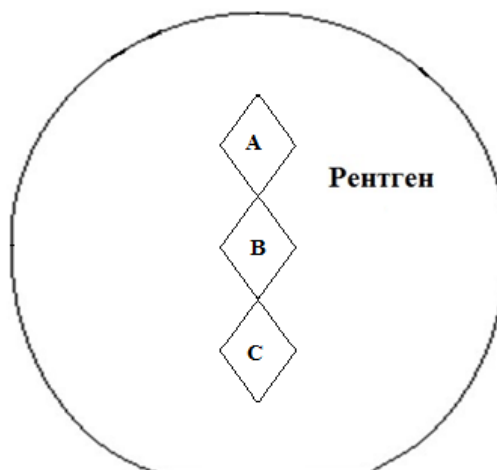


Рис. 1 – Схематическое изображение расположения областей облучения рентгеновским излучением на пластине КНИ

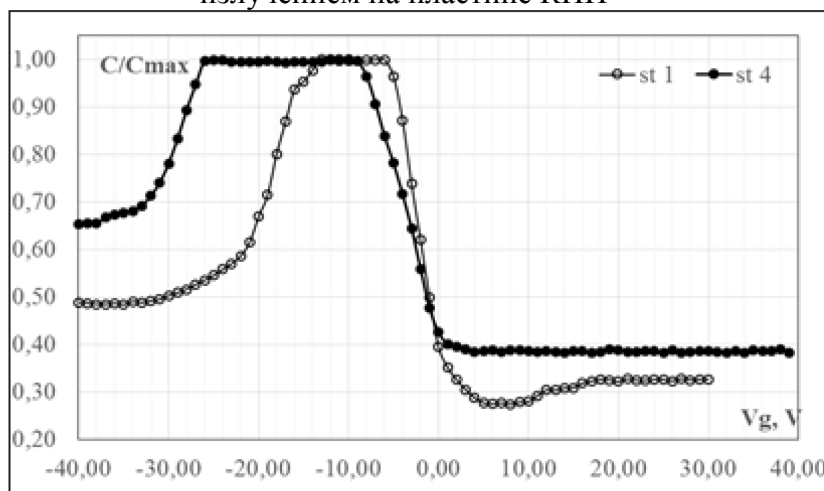


Рис. 2 – Высокочастотные C-V характеристики неoblученных структур КНИ, изготовленных в России (st1) и ф.SOITEC (st 4)

На рисунке 3 приведены ВЧ ВФХ облученных структур КНИ р-типа проводимости с толщинами слоев приборного кремния и скрытого диэлектрика 200 нм. Анализируя данные, представленные на рисунке 3, можно констатировать заметное различие в их радиационном отклике в части C-V характеристики структур КНИ, соответствующей границе встроенного диэлектрика и приборного слоя. В области облучения, соответствующей меньшей дозе, в структурах КНИ происходит накопление объемного заряда, и скорость его накопления для них отличается.

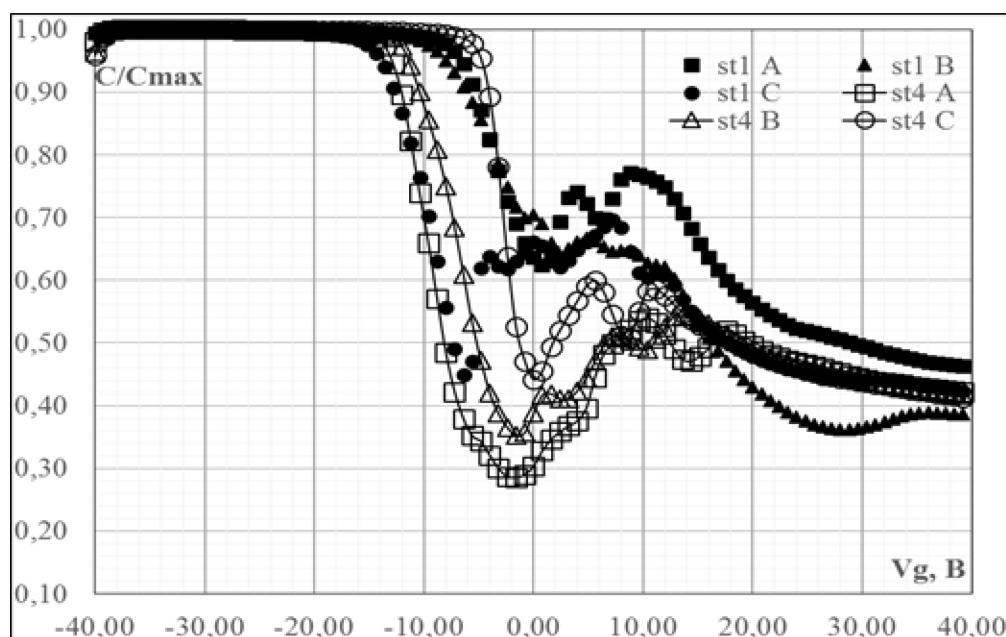


Рис. 3 – Высокочастотные C-V характеристики структур КНИ, изготовленных в России (st1) и ф.SOITEC (st 4) в областях облучения А, В, С

При увеличении дозы облучения становится заметной разница наклонов ВЧ ВФХ в области обеднения, что свидетельствует о различной скорости образования поверхностных состояний. Также существенно отличается вид C-V характеристик в области инверсии. При дальнейшем увеличении дозы характер различий сохраняется [4].

На рисунке 4 приведена зависимость плотность объемного фиксированного заряда Q_{tot} , см-2 от дозы рентгеновского излучения. Величина Q_{tot} , определялась в соответствии с [3].

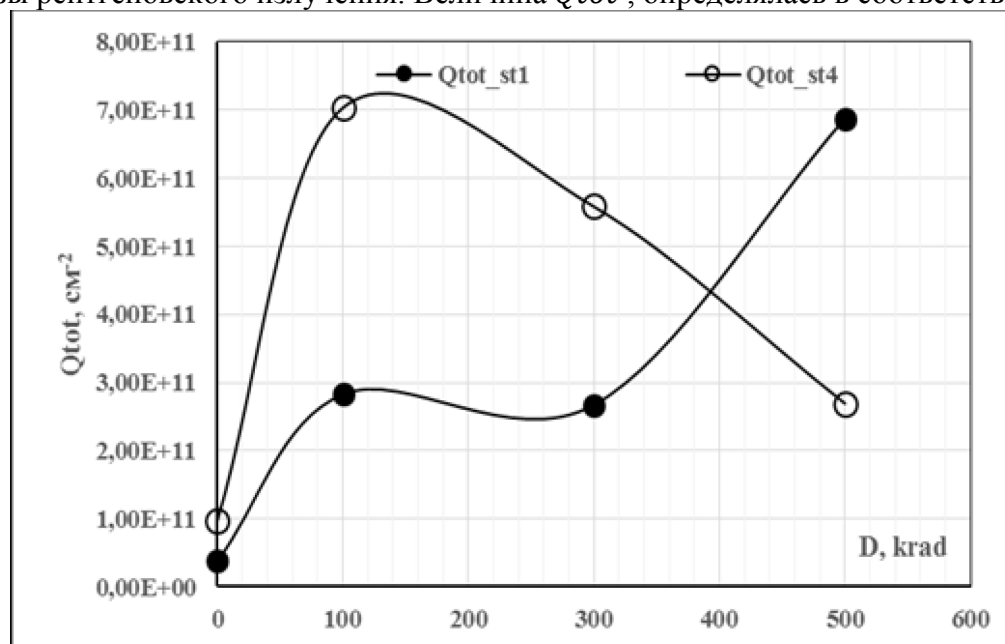


Рис. 4 – Зависимость объемного заряда, отнесенного к границе с приборным слоем, от дозы рентгеновского излучения

Из рисунка 4 видно, что в структурах р-типа (st 1 и st 4) накапливается положительный заряд. Характер дозовой зависимости для структуры р-типа st 1 и st 4 отличается. Для структуры st 4 наибольшее значение заряда получено при дозе 100 крад, а для структуры st 1 при дозе 500 крад.

Плотность поверхностных состояний, рассчитанная в соответствии с [5], не превышала 5×10^{11} эВ-1см-2.

Моделирование ВФХ в программе Silvaco TCAD показало существенное влияние

распределения дефектов на границе с приборным слоем на накопление заряда при воздействии рентгеновского излучения.

Зафиксированная разница радиационного отклика косвенно свидетельствует о том, что микросхемы, изготовленные на пластинах различных производителей, также будут иметь различия радиационного отклика.

*Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания,
проект 0729-2020-0057.*

Список литературы

1. Cristoloveanu S., Li S.S., Electrical Characterization of Silicon-On-Insulator Materials and Devices (Kluwer Academic Publishers, 1995).
2. Colinge J.P., Silicon-On-Insulator Technology: Materials to VLSI (Kluwer Academic Publishers, 1997) p. 223.
3. Dieter K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterization. John Wiley & Sons, Inc. 1990.
4. Абросимова Н.Д., Кипелкин И.М., Оболенский С.В., Исследование влияния низкоэнергетического низкоинтенсивного рентгеновского излучения на электрофизические характеристики структур «кремний на изоляторе». Тезисы докладов конференции «Кремний-2020». С.72-73.
5. Давыдов В.Н., Троян П.Е., Зайцев Н.Г., Программа расчета параметров МДП-структуры по методу Термана //Технические науки, Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 8, стр. 47-51

05.13.06

¹В.Г. Азаров, ¹М.Ф. Кириллина, ¹И.Р.Федоров, ²М.К. Охлопкова, ²А.В. Спиридонова¹Арктический государственный агротехнологический университет,
Якутск, west_55@inbox.ru,²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Якутск, omk1268@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ

Теплица — каркасная конструкция, обычно из металлического профиля, покрытая прозрачным легким и прочным материалом. В теплице поддерживается определенный микроклимат необходимый для выращивания находящихся внутри нее растений. Для получения результата в виде выращенных плодов требуется приложить немало времени и физических усилий, осуществив комплекс агротехнических мероприятий. Необходимость автоматизации этого процесса связана с трудоемкостью процесса приготовления растворов, точного поддержания в них заданной концентрации веществ, своевременной подачи и равномерного дозирования по всей площади теплицы при различных возмущениях внешней среды. Анализ технологических операций возделывания овощей в теплице показывает, что снизить затраты труда и повысить эффективность использования культивационных сооружений возможно при выполнении работ специальным комплексом технических средств. Для принципиального совершенствования технологии производства овощей в теплице необходимы стационарные транспортные системы и робототехническое оборудование.

Ключевые слова: *робототехническое оборудование, технические средства, теплица, агротехнологические мероприятия.*

Теплицы разделены на стационарные и передвижные. Первые предназначены снабжать овощной продукцией население круглогодично или сезонно. Они разделены на вариационные ряды, наиболее характерные из которых вегетационно-климатические камеры и шкафы, комнаты роста, растильни, собственно теплицы, теплицы-спутники основного производства, совмещенные с административными зданиями, детскими и лечебно-профилактическими учреждениями, предприятиями общественного питания, хранилищами, складами, животноводческими и птицеводческими фермами, теплицы с наружными концентраторами естественного света, внутренними цилиндрическими и плоскими световодами, башенные, с водоналивной кровлей и стенами, оборудованные в выработках шахт, подвалах, в хранилищах сельскохозяйственной продукции и т. д. Классификация может быть использована при исследованных, построении многофакторных моделей тепличных систем, создании системного информационного фонда по теплицам.

Таблица 1 – Классификация умных теплиц

№п/п	Название	Характеристика
1	Автономная	Использует природные источники тепловой энергии (солнечную);
2	Зависимая от промышленных источников энергии	Питание осуществляется от электрической сети

На рис.1 приведена схема работы умной теплицы. Пользовательский вход ограничивается корректировкой программного обеспечения и непосредственной установкой параметров контроллера. Корректировка может проводиться удаленно через, например, компьютер, подключенный к контроллеру. Применение искусственных питательных сред

открывает широкие возможности для эффективного использования средств автоматизации производственных процессов, особенно при значительных площадях теплично-парникового хозяйства. В таблице 2 приведена классификация по конструктивному исполнению и назначению устройств тепличного комплекса

Таблица 2 – Классификация по конструктивному исполнению и назначению устройств тепличного комплекса

№п/п	Название	Характеристика
1	Оранжерея	Это помещение для выращивания экзотических растений, для которых не подходит климат данной местности. Обычно покрывается стеклом и используется для научных целей изучения развития необычных растений.
2	Теплица	Это помещения для круглогодичного выращивания овощей, ягодных культур и рассады. Покрывается легким прозрачным материалом, главная цель теплиц-получение высокого урожая овощей и ягод в короткие агротехнологические сроки вне зависимости от окружающих погодных условий
3	Парник	Выращивание рассады. Тепло создается природными источниками энергии

Основными операциями, подлежащими автоматизации при выращивании овощей на искусственных средах, являются периодическая подача питательного раствора в рабочие стеллажи и отвод его в накопительный резервуар, а также подпитка раствора водой с периодическим или постоянным добавлением соответствующих солей.



Рис. 1 – Схема работы умной теплицы

Автоматический режим работы обеспечивают датчики и контроллер с электронными схемами управления, которые обеспечивают работу исполнительных механизмов в требуемом режиме.

Необходимость в дополнительной подпитке раствора вызывается частичным поглощением его при прохождении через минеральный субстрат. В обычных теплицах из-за большой площади светопрозрачных поверхностей возникают значительные теплопотери, для компенсации которых требуется определенный расход топлива в системе отопления. Теплицы могут обогреваться горячей водой, водяным паром, нагретым воздухом, инфракрасным излучением или продуктами сгорания топлива. При создании солнечной теплицы, прежде всего, нужно позаботиться о существенном снижении теплопотерь за счет применения теплоизоляции. Кроме того, необходимо обеспечить улавливание максимально

возможного количества солнечной энергии и аккумуляцию избыточной теплоты [3,4,8]. В обогреваемых теплицах чаще всего стремятся повысить их энергетическую экономичность как средствами автоматизации, так и изменением конструкции. При этом теплицу рассматривают как объект с сосредоточенными параметрами теплового состояния, средними по объему и площади ограждения. Конструкция теплицы зависит не только от возможностей и фантазии, как можно было бы подумать, но и от того, какие именно растения вы собираетесь выращивать. Некоторые теплицы подходят оптимально для конкретных сортов растений, другие имеют более широкий диапазон использования. Представленная модель теплицы при управлении параметрами микроклимата, разработанная для применения в компьютерных системах управления урожайностью для поиска оптимальных режимов работы. Вследствие простоты настройки параметров, может быть легко воспроизведена для множества различных конструкции и систем тепличных комплексов, а также для различных сценариев изменения условий окружающей среды.

Список литературы

1. *Болотских, Н.Н.* Зарубежные технологии инфракрасного обогрева теплиц // Науковий вісник будівництва. Збірник наукових праць, вип. 1(79). Харків: ХДТУБА, ХОТВАБУ, 2015. – С. 150-158
2. Соколов, Н.С. Технологии пятого поколения. – Теплицы России. – 2015, №1. – с.22-24
3. *Шишкин, П.В., Олейников, В.О.* Полностью закрытая теплица с технологией поддержания параметров микроклимата на основе управления разделенными воздушными потоками (технология CODA- ControlOfDevidedAirflows). – Теплицы России. – 2016, №2. – с.15-20
4. *Владыкин И.Р.* Особенности построения взаимосвязанного управления параметрами микроклимата в теплицах. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 3. С. 13-15
5. *Рыков А.Н.* Энергосберегающие системы управления микроклиматом теплиц. Автоматизация в промышленности. 2006. № 10. С. 47-49

05.13.06

¹Н.П. Александров, ¹Ю.А. Андросов, ¹Дь.А. Соколов, ²М.К. Охлопкова,
²А.В. Спиридонова, ²О.К. Тарабукина

¹Арктический государственный агротехнологический университет,
 Якутск, west_55@inbox.ru,

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
 Якутск, omk1268@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕЛЛЕТОВ

Пеллеты как вид топлива появились сравнительно недавно. Но благодаря натуральности и высоким теплотворным способностям они получили большое распространение в Европе, странах Северной Америки, Японии. Рост их потребления обусловлен возможностью использования гранул на промышленных теплостанциях и в установках, предназначенных для частного применения. Производят данное топливо из отходов деревообрабатывающей и лесозаготовительной промышленности на специальных линиях без применения каких либо проклеивающих веществ. Таким образом, удастся решить сразу две проблемы: переработать потенциально пожароопасные отходы и произвести высококалорийное топливо.

Ключевые слова: пеллеты, гранулы, спрессованные отходы, отопительные котлы.

В связи с непрерывным повышением цен на ископаемые энергоносители и ограниченностью их мировых запасов большой интерес в последние годы проявляется к твердому топливу из возобновляемых источников, разрабатываются государственные программы, принимаются нормативные документы, направленные на стимулирование производства биотоплива из растительного сырья. Россия, обладает почти 25 % запасами мирового леса, общим объемом 82 млрд. куб. м (при ежегодном допустимом объёме рубки в размере около 500 млн. куб. м), из которых используются сегодня менее чем 40 % [2,3]. Достойным конкурентом солянке, углю и дровам являются пеллеты. Это небольшие цилиндрической формы гранулы, которые используются для сжигания в специализированных отопительных котлах. Способствует этому экологичность (это спрессованные отходы деревообработки и растениеводства) и возможность автоматизировать процесс отопления: гранулы сыпучи, что даёт возможность хранить их в резервуарах и, автоматически по мере необходимости, подавать в котёл. Диаметр пеллет, используемых для бытовых котлов, — 6–8 мм, в промышленных котлах сжигаются более крупные гранулы диаметром до 10 мм. В таблице 1 приведена классификация пеллетов по сорту.

Таблица 1 – Классификация сортов пеллетов

№п/п	Сорт пеллетов	Характеристика
1	Индустриальные	Имеют серо-коричневый цвет, их процент зольности выше 0,7. Применение индустриальных пеллет в бытовом котле может привести к его поломке: не все горелки могут работать с топливом большой зольности. Индустриальные пеллеты не всегда можно использовать в бытовых котлах.
2	Агропеллеты	Получают из отходов сельскохозяйственных культур. Они довольно дешевы, но их главным минусом считается содержание большого количества золы. А это является главной проблемой многих котлов, которые быстро выходят из строя из-за образования шлака. Использование агропеллет требует регулярного очищения от шлаков, потому их чаще используют на больших тепловых станциях.

3	Белые пеллеты	Отличаются светло-желтым, чуть серым или абсолютно белым цветом. От них исходит приятный запах древесины. Главным преимуществом является низкая зольность, около 0,5%. Используя белые пеллеты, можно забыть о чистке котла на один–два месяца. Благодаря этому оборудование не изнашивается, а количество убранной из них золы очень мало.
---	---------------	---

Кроме цвета пеллет, от сырья зависит и качество склеивания пеллет. Дело в том что связующим веществом в процессе прессования пеллет является природный лигнин, который содержится в древесине. Но содержание лигнина в каждой породе разное, и соответственно чем больше лигнина содержится в древесине тем качественнее пеллет. Планировки цехов по производству древесных пеллет имеют различные схемы в зависимости от специфических особенностей конкретного технологического процесса. Пеллетизация или гранулирование осуществляется в кольцевых пресс-формах вращающимися вальцами. Эти вальцы вдавливают в многочисленные отверстия матрицы измельченное древесное сырье, имеющее пластифицированный лигнин. Срезанные ножом с наружной стороны матрицы гранулы в последующем принудительно охлаждаются и отделяются от мелкой фракции неспрессовавшихся частиц. Применяемые в настоящее время производственные процессы изготовления древесных пеллет можно разделить на несколько этапов [1,4].

Сырьевая масса проходит несколько этапов в процессе подготовки и получения конечной продукции (таблица 2).

Таблица 2 – Этапы получения пеллетов

№п/п	Этапы	Характеристика
1	Дробление	Процедура перемалывания отходов позволяет получить мелкофракционный состав гранул размеры которых не превышают 2х25х25 мм. Это нужно для облегчения просушки
2	Просушка	Есть несколько способов осуществления этапа, все зависит от типа оборудования, применяемого на производстве. Основное правило – после просушивания влажность сырья не должна быть более 10%.
3	Дополнительное измельчение	Используется молотковая мельница, которая дробит гранулы на фракции размером до 4 мм
4	Обогащение влагой	Субстанция пропускается через шнековый смеситель, напитывается влагой
5	Прессование	Применяются прессы различного типа, через которые масса пропускается, выходит из сита и подрезается ножом – процесс автоматизированный, температурный режим поддерживается в пределах +100 С
6	Охлаждение и фасовка	Охлаждают и фасуют

Возможны варианты использования пеллет в отраслях вспомогательного значения. Например, для работы парогенераторов промышленного назначения, абсорбентов и т.п. Линия по производству пеллет, ориентированная на внутренний российский рынок является сегодня не особенно прибыльным, так как объем потребления крайне незначителен. Основными потребителями упомянутой продукции выступают государства Западной Европы и Китай.

В случае изготовления пеллетов из чистых природных материалов и при их производстве не используются смолы, клеи и другие связующие вещества, то пеллеты являются частью натурального круговорота углекислого газа в природе. Одним из важных преимуществ производства пеллет является польза, приносимая природе – это расчистка леса

от избыточной биомассы. Оздоровительные вырубки леса проводятся с целью содержания леса в нормальном здоровом состоянии. И лесоматериалы, остающиеся после таких вырубок, в большей массе, не содержат качественной деловой древесины, только отходы, которые хорошо подходят для переработки, в том числе и для производства пеллет [5-7]. Отопление предприятий, производств и частного сектора является особенно важным в курортных районах, поскольку такой вид отопления позволяет содержать зеленые насаждения в должном порядке при этом, пагубно не влияя на экологию. Переход на отопление пеллетами даёт значительное уменьшение вредных выбросов, уменьшение которых доходит до нескольких тонн в год, параллельно решается проблема санитарной очистки леса. Отказ от отопления углеводородами и их производными полезен не только для курортных районов и зон, но и для больших городов. Меньшее количество выбросов в атмосферу снижает нагрузку на окружающую среду, природу региона, в котором происходит отказ от отопления углеводородами. В результате значительно улучшается экология региона и прилегающих к нему районов.

Спрос на альтернативные источники энергии растет пропорционально ценам на традиционные виды топлива, газовый кризис и борьба с парниковым эффектом немало поспособствовали тому, что развитие биоэнергетики стало составной частью политических и экономических планов многих промышленно развитых стран.

Список литературы

1. Сотник, И.Н. Экономическое обоснование использования пеллет в сфере теплоснабжения / И.Н. Сотник, Е.В. Ефремова // Механизмы регулирования экономики, 2011. - С.109-114.
2. К вопросу об изготовлении пеллет из отходов сельскохозяйственного производства. Попов А.Е. В сборнике: Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. 2018. С. 40-44.
3. Куницкая О.А., Давтян А.Б. Выбор грануляторов для производства пеллет // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2019. С. 59-61.
4. Шегельман, И.Р. Место биоэнергетики в топливноэнергетическом балансе лесопромышленного региона / И.Р. Шегельман, П.О. Щукин, М.Н. Морозов //Наука и бизнес: пути развития. -2011. - № 6. - С. 151-154.
5. Бастрон, А.В. Энергообеспечение потребителей с использованием возобновляемых источников энергии: учеб.пособие / А.В. Бастрон, С.К. Шерязов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. - Красноярск, 2019. - 118 с.
6. Рязанцев, А.А. О вопросе изготовления топливных гранул из отходов сельскохозяйственного производства [Текст] / А.А. Рязанцев, А.Е. Попов // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. - Воронеж: Воронежский ГАУ, 2018. - С. 383-386.
7. Карманов В.В. Энергосберегающая технология и оборудование для получения топливных гранул (брикетов) из отходов растительного сырья / В.В. Карманов, В.Д. Михайлик, Н.Л. Костюнин // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. - 2009. - №2 (16) - С. 35-38

05.13.06

Г.А. Алексеев, В.Н. Кудашов, Е.Г. Селина

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
кафедра информатики и прикладной математики,
Санкт-Петербург, lena_selina@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНОГО МОНОКРИСТАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Определены динамические воздействия на обрабатываемый кристалл, возникающие в процессе возникающие в процессе изготовления алмазного прецизионного инструмента. Рассмотрены условия устойчивости процесса обработки и определены параметры, повышающие эксплуатационные свойства инструмента.

Ключевые слова: *прецизионный монокристалльный инструмент, резцедержатель, планшайба, заточная каретка.*

При образовании прецизионного регулярного микрорельефа с различным профилем поперечного сечения могут быть использованы изготовленные из монокристаллов алмаза билиндрические, биконические, пирамидальные резцы, резцы с передней гранью треугольного и трапецеидального профиля, а также резцы трапецеидального профиля с цилиндрическими и коническими поверхностями и другие. [1]

Наиболее трудоемким является процесс изготовления резцов для профилирования штрихов, так как в этом случае особенно жесткие требования предъявляются к точности геометрических размеров, к чистоте обработанных поверхностей и остроте лезвия. Анализ влияния погрешностей изготовления на качество инструмента позволяет определить технологические требования к изготовлению резцов в широком диапазоне их геометрических параметров [2].

Особенности процесса обработки и эксплуатации алмазного прецизионного инструмента вызывают необходимость применения нетрадиционных методов при создании технологии изготовления, при разработке специального оборудования и методов контроля технологических операций.

К качеству прецизионного инструмента, изготавливаемого из монокристаллов алмаза, предъявляются высокие требования в отношении износостойкости, точности геометрической формы рабочей части, гладкости поверхностей. Так, например, резцы для профилирования штрихов дифракционных решеток должны иметь остроту лезвия 0,03 – 0,05 мкм и обеспечивать постоянство геометрических параметров и оптическую зеркальность граней штрихов, общая протяжённость которых достигает 50 пог. км. при автоматизированном изготовлении одной дифракционной решетки без перестановки. Для достижения необходимой точности изготовления и повышения износостойкости резцов необходимо обеспечение устойчивости динамической системы станка, снижение амплитуд колебаний обрабатываемого алмаза и стабилизации технологических режимов и температурно-силовых параметров в процессе обработки.

Процесс обработки монокристаллов алмаза сопровождается интенсивными колебаниями элементов заточного устройства, обусловленные биением планшайбы заточного станка, взаимодействием абразива с кристаллом, а также последовательным вхождением в контакт при доводке ребер и граней многогранника, сформированного в соответствии с технологией для получения криволинейной поверхности резца. На обрабатываемый кристалл в этом случае действует кроме статической нагрузки переменная динамическая составляющая, которая создает переменное давление в зоне контакта, может вызывать ударно-импульсные

воздействия и приводят к появлению субмикротрещин на поверхности резца, к образованию сколов и выколов на лезвии резца, тем самым ухудшая износостойкость, чистоту поверхностей, снижая точность изготовления инструмента. Нестационарность процесса обработки обусловлена процессом съема алмаза, изменением геометрии обрабатываемой поверхности кристалла в месте контакта и, соответственно, нестационарностью силы взаимодействия кристалла с планшайбой и жесткости контакта. Поэтому существенное значение приобретает определение параметров заточных станков, обеспечивающих устойчивость резцедержателя во время обработки, снижение амплитуд вынужденных колебаний и уменьшение динамических воздействий на обрабатываемый алмаз. Кроме перечисленного, исследование динамических характеристик процесса обработки алмазного прецизионного инструмента является необходимой предпосылкой для ограничения температурных воздействий на кристалл при заточке и для создания автоматизированных систем управлением заточным оборудованием.

Анализ конструктивных схем основных типов заточных станков, применяемых в промышленности для обработки монокристаллов алмаза, показывает, что при выполнении таких операций, как доводка и шлифовка, в динамической системе станка необходимо учитывать движение заточной каретки и резцедержателя с закрепленным алмазом, который взаимодействует в процессе обработки с поверхностью вращающейся планшайбы. В отличие от процессов огранки, когда резцедержатель закреплен под определенным углом, при формировании цилиндрических и конических поверхностей он совершает качательное движение в центрах. Заточная каретка в этом случае перемещается в радиальном направлении, опираясь на направляющие, а в направлении, перпендикулярном плоскости планшайбы, резцедержатель при покачивании может совершать колебания в пределах люфта центров и их упругих деформаций. Существенной особенностью процесса обработки при покачивании является периодическое вхождение обрабатываемого кристалла в контакт и выход из контакта с рабочей поверхностью вращающейся планшайбы. При соприкосновении с планшайбой резцедержатель получает импульс, и его колебательное движение складывается из свободных колебаний, амплитуда которых определяется величиной этого импульса, и вынужденных колебаний, происходящих под действием биения поверхности планшайбы.

Динамические воздействия на обрабатываемый кристалл и их зависимость от параметров системы и технологических режимов обработки определены на основе анализа динамической модели заточного станка, которая учитывает параметры заточной каретки, резцедержателя, планшайбы и упругие и диссипативные связи между ними, возникающие в процессе обработки кристалла [3]. Зависимость максимального значения динамической составляющей F от параметров системы имеет вид:

$$F = Ym\omega(p + \omega\eta' \frac{c_{\pi}}{c_{\kappa} + c_{\kappa}}) \dots \dots \dots (1)$$

где m – масса резцедержателя; ω – частота вращения планшайбы; Y – биение планшайбы; p – собственная частота резцедержателя; c_{π} – жесткость поджатия; c_{κ} – жесткость контакта обрабатываемого кристалла с планшайбой; $\eta' = \frac{p^2}{Ip^2 - \omega^2 I}$

Если это значение динамической реакции превышает сумму сил первоначального поджатия и веса резцедержателя возникает нарушение контакта с последующими соударениями алмаза с планшайбой. Для сохранения контакта необходимо, чтобы значение биения планшайбы было меньше критического значения, которое может быть представлено в виде:

$$Y_{\text{кр}} = \frac{P + R_0}{m(P + \omega\mu^2\eta)\omega} \quad (2)$$

где $P = Mg$; M – масса заточной каретки; R_0 – предварительный натяг, $\mu = \frac{p_0}{p}$, p_0 – собственная частота резцедержателя при $c_{\pi} = 0$.

Если в процессе заточки по мере снятия слоя при опускании резцедержателя предварительный натяг исчезнет, допустимое биение планшайбы определяется из (2) при $R_0=0$. Графики зависимости критического биения планшайбы от отношения частоты возмущающей силы к собственной частоте резцедержателя для этого случая представлены на рис 1.

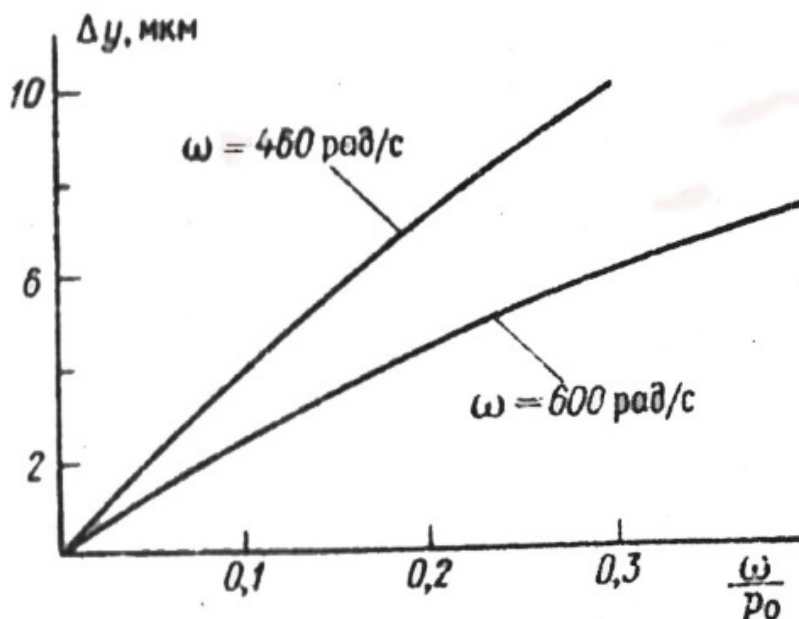


Рис. 1 – Зависимость критического значения биения планшайбы от отношения частоты вращения к собственной частоте резцедержателя

При обработке алмаза на шаржированной планшайбе контакт алмаза с планшайбой может нарушаться под воздействием импульсов большой частоты, вызванных взаимодействием абразива с обрабатываемым кристаллом. В этом случае периодически меняется жесткость системы и колебания резцедержателя могут стать неустойчивыми вследствие параметрического резонанса. Поэтому необходимо обеспечить устойчивость движения кристалла после случайного нарушения контакта, что может быть достигнуто при выполнении условия:

$$/\cos\pi\alpha\sqrt{1+u}\cos\pi\alpha\sqrt{1-u} - \frac{1}{\sqrt{1-u^2}}\sin\pi\alpha\sqrt{1+u}\sin\pi\alpha\sqrt{1-u}/ < 1 \dots \quad (3)$$

где $\alpha = \frac{TP_{cp}}{2\pi}$, $P_{cp} = \sqrt{\frac{2c_n + c_k}{m}}$, $u = \frac{c_k}{2c_n + c_k}$

Диаграмма устойчивости представлена на рис 2, где заштрихованными участками отмечены устойчивые состояния системы. При этом неустойчивость возникает при выполнении соотношения

$$\alpha = \frac{1}{2}n \quad (n = 1, 2 \dots) \quad (4)$$

Наиболее сильное нарастание колебаний соответствует случаю $n=1$ и $\alpha=1/2$, т.е. когда среднее значение собственной частоты вдвое меньше частоты следования импульсов. Этот случай неустойчивости при заточке не реализуется, так как соответствует резонансной зоне. Следующий случай $n=2$, соответствующий совпадению частоты возбуждения и p_{cp} может реализоваться во время заточки при случайном выходе биения поверхности планшайбы выше критического значения, определяемого из (2), когда жесткость поджатия мала по сравнению с жесткостью контакта. Для других случаев ($n>2$), реализующихся при отрыве кристалла от планшайбы под действием частиц абразива, области неустойчивости существенно сужаются, а импульсы имеют случайный характер следования с достаточно большой частотой. Кроме того, неучтенная здесь диссипация энергии колебаний также сужает области неустойчивости. Установлено, что при массе заточной каретки равной 0,15 кг и скоростях вращения до 10000 об/мин допустимое биение должно быть менее 1мкм.

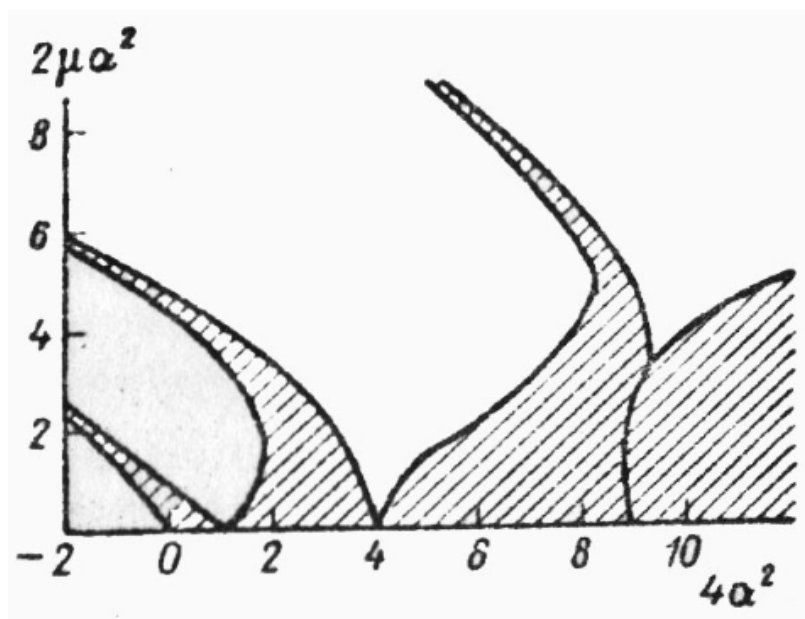


Рис. 2 – Диаграмма устойчивости резцедержателя

Анализ процесса обработки криволинейных поверхностей инструмента показывает, что при покачивании резцедержателя необходимо выполнить как условие сохранения контакта, так и условие устойчивости в случае разрыва контакта при колебаниях, вызванных импульсами получаемыми, при входе в контакт во время покачивания, и импульсами, следующими с высокой частотой от соударения алмаза с микронеровностями планшайбы, при последовательном вхождении в контакт ребер граненой поверхности алмаза. Для выполнения этого условия устойчивости необходимо обеспечить оптимальные соотношения жесткости контакта, жесткости центров резцедержателя, силы предварительного поджатия, скорости вращения и величины биения планшайбы.

Стабилизация процесса обработки за счет уменьшения жесткости контакта может быть достигнута в частности применением специального метода шаржирования планшайб, при котором механизм взаимодействия единичного зерна абразива характеризуется тем, что при движении обрабатываемого кристалла по участку шаржированной планшайбы при встрече с единичным зерном вследствие упругих деформаций чугуна оно частично вдавливаются в поверхность планшайбы, уменьшая ударный импульс, действующий на резцедержатель, и не вызывает нарушения контакта кристалла с планшайбой.

Определение устойчивых режимов обработки и соответствующих параметров заточных станков обеспечивает высокую износостойкость инструмента, исключает появление сколов и других дефектов на поверхности рабочей части лезвия резцов. Снижение динамических воздействий и стабилизация процессов обработки способствуют созданию автоматического заточного оборудования для обработки монокристаллов алмаза, повышают надежность технологического процесса изготовления прецизионного алмазного инструмента.

Список литературы

1. Алексеев Г.А. Обеспечение качества процесса образования прецизионного регулярного микрорельефа. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. СПб.: СПбГПУ, 2012.- № 2-1.(147) - с.131 -137.
2. Алексеев Г.А. Точность изготовления алмазного монокристалльного инструмента. // Записки Горного института. Т 209. с. 148-151.
3. Алексеев Г.А., Селина Е.Г. Моделирование процесса заточки алмазного монокристалльного инструмента // Машиностроение и автоматизация производства: Межвузовский сборник, вып. 15 - СПб.: СЗПИ 2000 с. 88-91.

05.13.06

¹Э.Л. Греков канд. техн. наук, ²Е.С. Шелихов канд. техн. наук,
³А.М. Черноусова канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,
^{1,2}электроэнергетический факультет,
кафедра автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники,
³Аэрокосмический институт, кафедра систем автоматизации производства,
Оренбург, aeptpm@mail.ru, shelevgen@mail.ru, am_chernousova@mail.ru

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕТРАПОДА

В работе представлен алгоритм программного обеспечения, моделирующего работу системы управления электроприводами робота-тетрапода при его перемещении. Поэтапно расписана последовательность работы программного кода. Обозначены основные направления его применения на практике.

Ключевые слова: *тетрапод, алгоритм программы, алгоритм передвижения, имитационное моделирование.*

Современные роботы разрабатываются и внедряются повсеместно для выполнения широкого спектра задач: погрузочных, сортировочных и транспортных работ, диагностики, сборки и ремонта оборудования и многих других. Всемирную известность приобрели шагающие роботы: Atlas, PETMAN, LS3 и Cheetah (США, Boston Dynamics), Crabster (Корея) и паук-шпион T8 (Китай, Robugtix), Halluc (Япония, fuRo), Quattroped (Тайвань, BioRoLa). Главным преимуществом таких устройств является способность передвигаться по неровным поверхностям, перешагивать через преграды или подниматься и спускаться по ступеням. Однако их работа осложнена рядом проблем, решение которых актуально и востребовано в настоящее время: высокие энергетические затраты, сложность кинематики, разработка и отладка алгоритмов управления [1].

Целью данной публикации является разработка алгоритма программы, которая позволит имитировать перемещение опорных точек и тела робота, согласно известной последовательности [2, 3]. Целью моделирования является апробация управляющей программы для последующей ее реализации на физическом макете. Математическая модель расчета необходимых координат описана ранее в публикации [2].

Схема разработанного алгоритма представлена на рисунках 1 и 2, содержит более 35 последовательно выполняемых этапов. Реализация программы осуществлена в IDE Embarcadero RAD Studio Delphi 10.2.

Основу программы составляет обработчик события таймера (OnTimer), вызываемого каждые 20 мсек. В данной процедуре находятся основные действия по управлению моделью робота-тетрапода и расчету координат передвижения. Программа не только отрабатывает задающие воздействия, но и правильно останавливает робота в позе, при которой все точки касания ног опорной поверхности (далее ноги) и центр тела останавливаются в исходной позиции (default position).

Для управления движением и остановкой в программе предусмотрены следующие глобальные флаги и переменные:

- 1) StartMoving (=1 – начало обработки нового задающего вектора);
- 2) EndStopMoving (=1 окончание алгоритма установки в исх. позицию);
- 3) Moving (=1 – обрабатываются движения тела и перемещаемой ноги);
- 4) LegsNotInDef (=1 – ноги не достигли исходной позиции);
- 5) StopMoving (=1 – алгоритм установки в исх. позицию);

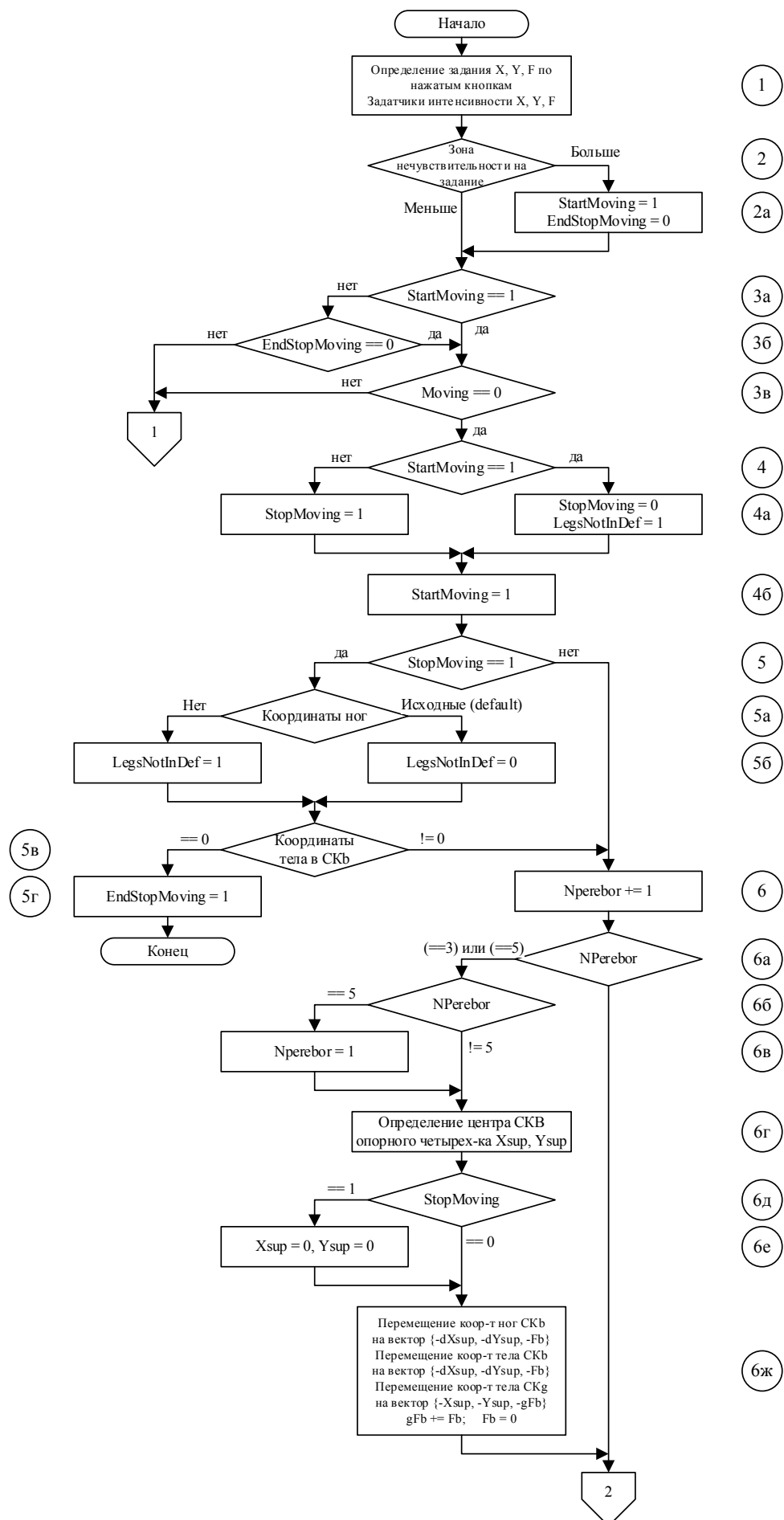


Рис. 1 – Схема алгоритма программы

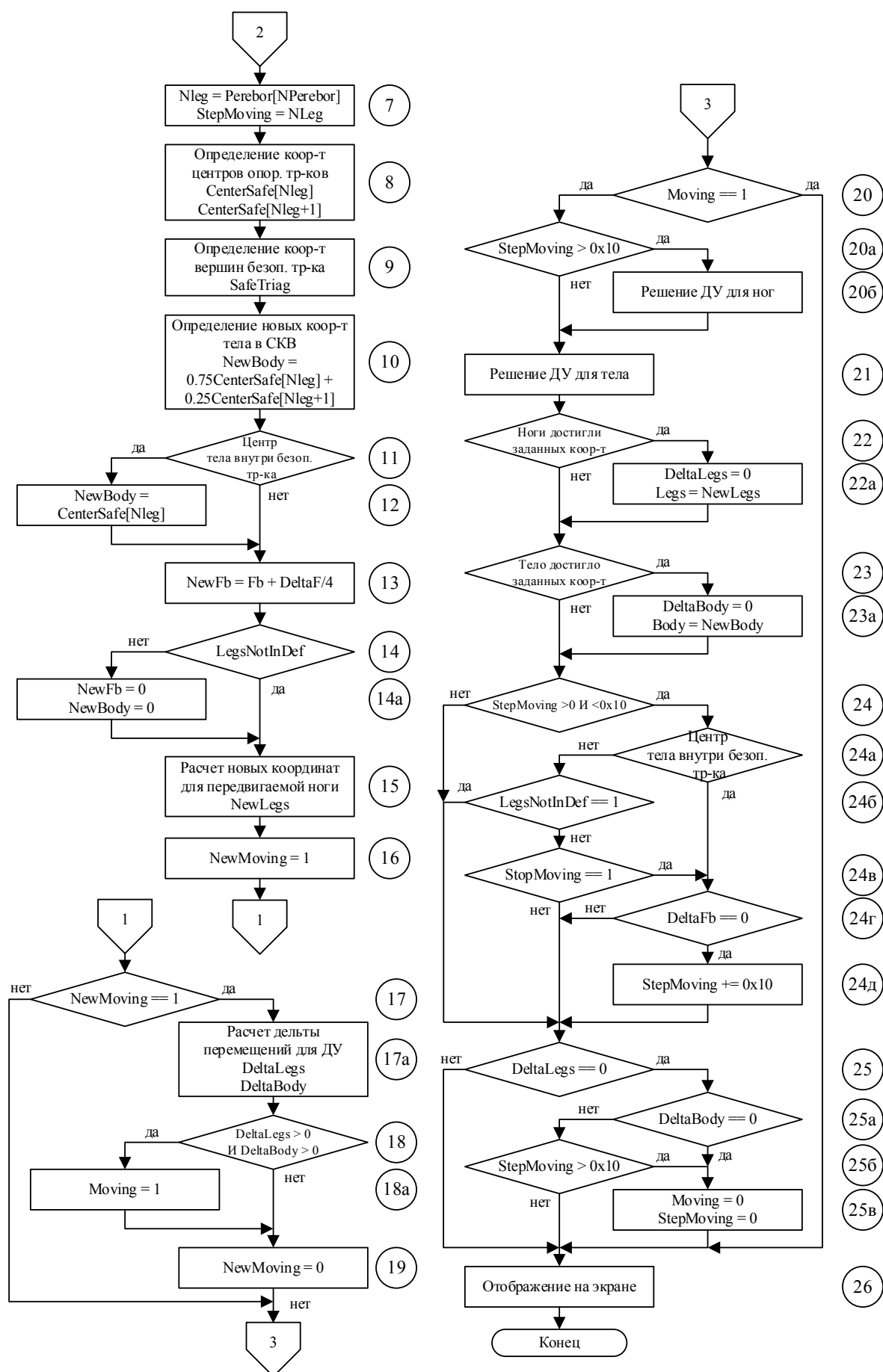


Рис. 2 – Продолжение схемы алгоритма программы

6) StepMoving ($=0$ – происходит только движение тела внутрь безопасного треугольника; $=N$ – номер перемещаемой ноги; $=N+0 \times 10$ – происходит движение перемещаемой ноги);

7) NPerebor ($=1,2,3,4$ – номер позиции для расчета перемещаемой ноги).

По коду нажатых клавиш (процедура GetKeyboardState) определяются (позиция 1) направления задающих векторов по координатам X, Y, F (поворот) в системе координат, связанных с телом робота (СКb). Длина вектора, которая определяет скорость перемещения, определяется через задатчики интенсивности по каждой координате.

Движение робота начинается при выходе задающих сигналов за пределы зоны нечувствительности, которая определяет помехозащищенность управляющего канала (позиция 2). При выходе из неё устанавливается флаг StartMoving. Если задание меньше – то запускается алгоритм правильной остановки робота.

Расчет новых координат ног и тела по задающему вектору начинается, если нет текущего движения (позиция 3в), есть новое задание (позиция 3а) или робот не достиг исходной позиции при остановке (позиция 3б). Определяется режим работы – движение или остановка (позиции 4, 4а и 4б). В случае остановки (позиция 5) определяется условие достижения ног исходных координат (позиция 5а, 5б) и нахождения центра тела в начале координат СКb (позиция 5в) для окончательной остановки (позиция 5г).

При необходимости продолжения движения определяется положение следующей перемещаемой ноги (позиция 6). При равенстве счетчика NPerebor значений 3 и 5 (то есть через 2 цикла перемещения) выполняется алгоритм корректировки СКb (позиция 6). Определяется центр опорного четырехугольника (позиция 6г), куда будет перемещен центр СКb (X_{sup} , Y_{sup}), вычисляются разности между текущим и требуемым положением ног и тела (dX_{sup} , dY_{sup}) и осуществляется перерасчет координат для отображения на экране (позиция 6ж) с учетом текущего поворота тела (F_b).

Указывается номер перемещаемой ноги (позиция 7), центры текущего и следующего безопасного треугольников (позиция 8), а также их вершин (позиция 9). Новые координаты тела рассчитываются на основе текущего и следующего треугольника с масштабными коэффициентами 0,75 и 0,25 (позиция 10). Это уменьшает колебания тела при движении. Однако, если центр тела уже находится внутри безопасного треугольника, то новые координаты совпадают с его центром (позиции 11 и 12).

Поворот тела за каждый цикл движения равен четверти задающего значения (позиция 13). Если ноги робота находятся в исходном положении, то перемещение тела блокируется (позиции 14 и 14а).

Производится расчет новых координат перемещаемой ноги (позиция 15) и выставляется флаг новых координат (позиция 16).

В последнем случае осуществляется расчет значений шага приращения по каждой координате ног и тела для численного решения дифференциальных уравнений (ДУ) (позиция 17а). Если одна координата имеет приращения, отличные от нуля, то выставляется флаг движения (позиция 18а) и сбрасывается флаг новых координат (позиция 19).

Алгоритм расчета движения состоит из решений ДУ для тела (позиция 21) и ног (позиция 20б). Для перемещаемой ноги решение осуществляется только при достижении центра тела безопасного треугольника (позиция 20а). Приращения по каждой координате обнуляется в случае достижения заданных значений (позиции 22, 22а, 23, 23а).

Запуск алгоритма перемещения ноги (позиция 24д) происходит, если:

- 1) в StepMoving находится номер перемещаемой ноги (позиция 24);
- 2) центр находится внутри безопасного треугольника (позиция 24а);
- 3) тело прекратило вращение (позиция 24г).

Однако нога может передвигаться при запуске алгоритма остановки (позиции 24б и 24в) и без условия достижения безопасной зоны, так как в этом случае шаги значительно меньше.

Прекращение выполнения текущего цикла шагания (позиция 25в) происходит по условию равенства приращений по всем координатам (позиции 25 и 25а).

По текущим рассчитанным координатам точек касания ног и центра тела отображается модель робота-паука на экране.

Полученный алгоритм и разработанная на его основе прикладная программа позволяют на этапе проектирования моделировать перемещения тетрапода. Их практическое применение возможно в качестве инструмента отладки программного кода управляющего микроконтроллера робота, а также в качестве примера для разработки аналогов для других шагающих устройств.

Список литературы

1. *Игнатъев М.Б., Владимиров С.В., Сапожников В.И., Сергеев М.Б., Кузьмин Д.В., Соловьёв В.Н., Рыжов А.В., Липинский Я.А.* Шагающие роботы – проблемы и перспективы. Инноватика и экспертиза, 2016. – С. 128-137.
2. *Grekov E.L., Shelikhov E.S.* Mathematical support of walking robots-tetrapods movement algorithms. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. – Volume 971. – P. 1-8.
3. *Греков Э.Л., Шелихов Е.С.* Решение задач автоматизированного управления перемещением тетрапода. Научно-технический вестник Поволжья, 2020. – № 8. – С. 21-24.

05.13.06

М.П. Данилаев д-р техн. наук, С.А. Карандашов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева-КАИ,
Казань, seregak2005@yandex.ru

ПОЛИСИЛОКСАНОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Основными требованиями, предъявляемыми к нагревательным элементам интегральной противобледенительной системы, являются одновременное обеспечение высокой стойкости к истиранию, адгезии к подложке в широком диапазоне температур от -50°C до $+100^{\circ}\text{C}$, а также высокая гидрофобность покрытия. В работе проводится сопоставительный анализ нескольких образцов полисилоксановых покрытий с исследованием их физико-технических свойств. Показано, что введение в состав базового полисилоксанового лака модифицирующих добавок содержащих винильный или октильный радикалы повышает гидрофобность (увеличивает угол смачиваемости) поверхности, незначительно улучшает адгезию и твердость покрытия.

Ключевые слова: полисилоксановые покрытия, интегральная противобледенительная система.

1. Введение

Одним из перспективных направлений развития электротепловых противобледенительных систем (ПОС) является разработка интегральных ПОС [1,2,3]. Особенностью ИПОС является возможность работы в двух режимах, за счет чего достигается выигрыш в КПД по сравнению с типовыми электротепловыми ПОС [2,4,5]. В пассивном режиме используется гидрофобность поверхности нагревательных элементов, а нагрев этих элементов используется только в активном режиме. Причем сами нагревательные элементы располагаются на защищаемой поверхности. Поэтому, к нагревательным элементам интегральной ПОС предъявляется целый ряд дополнительных требований, основными из которых являются стойкость к истиранию и хорошая адгезия к защищаемой поверхности в широком диапазоне температур $[-50; +100]^{\circ}\text{C}$. Требуемую стойкость к истиранию возможно обеспечить за счет использования полисилоксановой основы при создании таких нагревательных элементов [2]. Полисилоксановые покрытия отличаются не только высокой стойкостью к истиранию, но и достаточно высокой твердостью и жесткостью. Последнее может способствовать разрушению покрытия в случае, когда температурные коэффициенты расширения покрытия и субстрата, на которое оно нанесено отличаются. Таким образом, целью данной работы является разработка полисилоксановой основы нагревательных элементов, обладающих высокой адгезией к материалу защищаемой поверхности в широком диапазоне температур.

2. Методика исследований

Полисилоксановая основа нагревательных элементов создавалась с использованием соответствующего лака с его последующей полимеризацией на поверхности защищаемых элементов. Полимерную основу лака получали реакцией гидролиза метилтриметоксисилана в кислой среде при $\text{pH } 3\div 4$. В качестве растворителя использовали абсолютированный изопропиловый спирт. Полисилоксановая основа нагревательных элементов должна обеспечивать гидрофобность поверхности. Поэтому при ее разработке в образцы такового покрытия вводились соответствующие функциональные группы [2]. Для улучшения адгезии и физико-механических свойств полисилоксанового покрытия при синтезе лака

использовали силаны с различными функциональными группами (октил и винильные радикалы), а так же наноразмерный оксид кремния. В полученный лак добавляли пропиленгликоль для снижения скорости испарения смеси растворителей. Это способствовало получению хорошо сшитой структуры, обеспечивающей высокую стойкость к истиранию. Были подготовлены пять образца полисилоксанового лака:

- Образец 1: базовый лак: содержит смесь линейных $\text{CH}_3[\text{Si}(\text{CH}_3)(\text{OCH}_3)]_n\text{OSiCH}_3$ и циклических $[\text{Si}(\text{CH}_3)(\text{OCH}_3)_2\text{O}]_m$ метилметоксиполисилоксанов;
- Образец 2: базовый лак +(5% октил содержащие группы);
- Образец 3: базовый лак, содержащий 10 % винильных групп;
- Образец 4: базовый лак с частично неполным гидролизом метилтриметоксисилана;
- Образец 5: базовый лак с содержанием 0.5% субмикронных частиц SiO_2 размером 10нм, производства ООО НТЦ «Компас».

Полученный лак с содержанием сухого остатка 26% наносили на заранее подготовленные очищенные и обезжиренные алюминиевые пластины размером 50x50мм и толщиной 3мм методом полива. После нанесения лака, для формирования полимерной пленки пластины помещали в сушильный шкаф, нагревали до 150°C и выдерживали ~3 часов с последующим естественным остыванием до комнатной температуры (22±3°C). Толщину покрытия измеряли зондовым профилометром DektakXT® с точностью 10 нм. В подготовленных образцах на алюминиевых пластинах толщина покрытия составила порядка 20 мкм ± 1 мкм.

После формирования полисилоксанового покрытия исследовались следующие физико-технические свойства образцов:

- адгезия к подложке в диапазоне температур после воздействия низкой температуры - 50°C и высокой температуры +150°C;
- твердость покрытия;
- гидрофобность покрытия.

3. Результаты экспериментов и их обсуждение

Исследование адгезии полисилоксанового покрытия к подложке при низкой температуре проводили путем охлаждения образцов в парах жидкого азота до температуры -50°C с выдержкой образца при этой температуре не менее 20±5 мин. После чего, исследование на адгезию проводили методом решетчатого надреза по ГОСТ 31149-2014 с использованием адгезиметра РН-101. Следует отметить, что перед проведением этих исследований образцы выдерживали при комнатной температуре не менее 60±5 мин и насухо вытирали. Проведение исследований адгезии при повышенных температурах проводили путем выдержки образцов в климатической камере при температуре 150°C в течении 20±2 мин. Перед проведением испытаний на адгезию образцы остужали до комнатной температуры (22±3)°C естественным образом. Результаты испытаний представлены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты испытания адгезии.

№ Образца	1	2	3	4	5
Стойкость к истиранию после воздействия низкой температуры, баллы	1	1	0	1	1
Стойкость к истиранию после воздействия высокой температуры, баллы	1	1	1	1	1

Испытания покрытия показали, что адгезионная стойкость образцов полисилоксанового покрытия не хуже 1 балла, что соответствуют лишь незначительным отслоениям краев надрезов (рис.1). Типовая структура надрезов была получена путем фотографирования поверхности образцов с разрешением не ниже x10.

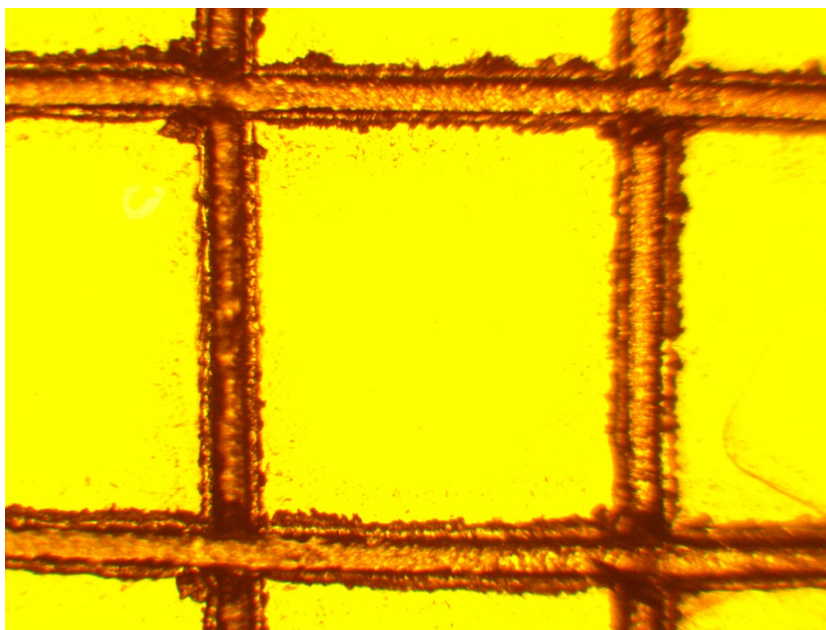
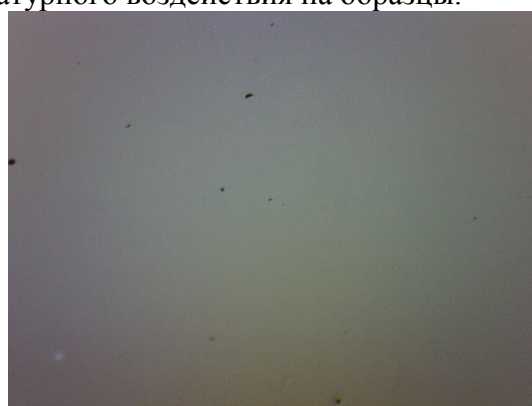


Рис. 1 – Типовая структура надрезов после испытаний на адгезию по ГОСТ 31149-2014

Испытания на абразивную стойкость образцов полисилоксанового покрытия проводили на машине МИ-2 для испытания на истирание при скольжении. В качестве абразивного материала использовалась ткань Батист по ГОСТ 29298-2005. Усилие прижима 200 Гр. Скорость скольжения $0,3 \pm 0,05$ м/сек. Число оборотов рабочего диска 40 ± 5 . Диаметр рабочего диска 136 мм. Время воздействия 60 сек. Испытывали образцы до и после воздействия низких и высоких температур. На рис.1 приведены типовые фотографии поверхности до (рис.2а) и после (рис.2б) температурного воздействия на образцы.



а)



б)

Рис. 2 – Типовые фотографии поверхности образцов (Образец 3)

Для всех исследуемых образцов достигнута высокая стойкость к их истиранию.

Твердость покрытия оценивали с помощью маятникового твердомера МТ1 по ГОСТ Р 52166-2003 после соответствующих температурных воздействий на образцы.

Таблица 2 – Результаты твердости образцов покрытий.

№ Образца	1	2	3	4	5
Твердость покрытия по стеклу	0.4	0.46	0.5	0.42	0.45

Погрешность измерений твердости не превышала 10%. Следует отметить, что с учетом такой погрешности твердость рассматриваемых образцов полисилоксанового покрытия незначительно зависит от их состава: наблюдается незначительное повышение твердости при

использовании винильных функциональных групп. По всей видимости, слабая зависимость твердости от используемых модификаторов обусловлена малым количеством функциональных групп, добавляемых в базовый лак. При таких количествах добавок структура исходной полимерной сетки изменяется незначительно.

Гидрофобность образцов полисилоксанового покрытия оценивали с помощью сравнения угла краевого смачивания на приборе Катетометре КМ-8 с погрешностью не более 10%. Средние значения угла краевого смачивания по результатам не менее 10 независимых измерений для каждого из образцов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты определения краевого угла смачивания.

№ Образца	1	2	3	4	5
Краевой угол, град	71	83	89	77	76

Добавление винильных и октил содержащих групп повышает гидрофобность полисилоксанового покрытия с одновременным сохранением, как высокой адгезии к подложке в большом диапазоне температур, так и стойкости к истиранию.

Проведенные исследования показали стабильность физико-технических характеристик всех образцов покрытий в широком диапазоне температур от -50°C до 150°C. Использование наноразмерных частиц оксида кремния не оказывает существенного влияния на свойства композиций. Установлено, что введение в состав базового полисилоксанового лака модифицирующих добавок содержащих винильный или октильный радикалы повышает гидрофобность (увеличивает угол смачиваемости) поверхности, незначительно улучшает адгезию и твердость покрытия. Таким образом, соответствующие полисилоксановые композиции могут быть рекомендованы для использования в качестве основы при создании нагревательных элементов интегральной ПОС.

Работа выполнена при поддержке гранта российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ № 18-48-160024).

Список литературы

1. Богослов Е.А., Данилаев М.П., Михайлов С.А., Польский Ю.Е. Энергетическая эффективность интегральной противообледенительной системы на основе фторопластовых пленок // Инженерно-физический журнал. - 2016.- Т.89. №4. С.812-817.
2. Danilaev M.P., Bogoslov E.A., Dorogov N.V., Klabukov M.A., Bobina E.A. // Icing intensity of passive organosilicon anti-icing coatings russian aeronautics. 2019. т. 62. № 1. с. 129-133.
3. Arianpour, F., et al., Hydrophobic and ice-retarding properties of doped silicone rubber coatings. Applied Surface Science. - 2013.- 265: 546-552.
4. Данилаев М.П., Дорогов Н.В., Куклин В.А., Бобина Е.А. Эффективность интегральной противообледенительной системы в режиме удаления наледи при циклическом управлении нагревательным элементом // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 9. С. 23-27.
5. Гринац Э.С., Миллер А.Б., Потапов Ю.Ф., Стасенко А.Л. Экспериментальные и теоретические исследования процессов обледенения наномодифицированных супергидрофобных и обычных поверхностей. // Вестник МГОУ. Сер. «Физика - Математика». 2013.- № 3. С.84-92.

05.13.06

Р.С. Дремин, В.С. Тынченко канд. техн. наук, Ю.С. Бец, Д.В. Рогова, Я.А. Тынченко

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,
кафедра информационно-управляющих систем,
Красноярск, roman-dremin@mail.ru

МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ

В данной статье рассмотрен метод организации диагностики и дистанционного мониторинга установки индукционной пайки. Построена модель взаимодействия предлагаемого программного приложения с системой управления установкой индукционной пайки.

Ключевые слова: аэрокосмическая промышленность, пайка, индукционный нагрев, дистанционный мониторинг, автоматизация.

Введение

Индукционная пайка применяется в аэрокосмической промышленности для спаивания деталей припоем путем нагрева их под воздействием электромагнитного поля [1]. Применение данного способа пайки позволяет паять волноводные трубы с толщиной стенки от 0,5 мм с фланцами толщиной до 7 мм, муфтами и уголками [2]. Однако, индукционная пайка – это сложный технологический процесс, требующий постоянного контроля и своевременной корректировки всех технологических параметров пайки [3]. Исходя из этих требований появилась необходимость в создании автоматизированной системы, которая бы сама управляла процессом пайки. Такие системы были разработаны, они позволяли управлять процессом нагрева паяемого изделия путем изменения мощности, подаваемой на индуктор, на основе полученных данных о температуре измеренной в зоне пайки. Эти системы позволили повысить качество пайки, сократить влияние человеческого фактора и улучшить условия труда персонала, но они не позволяют работать с ними дистанционно [4].

Однако в условиях производства управленцы среднего и высшего звена редко могут присутствовать на участке пайки, что затрудняет принятие своевременных решений по управлению технологическим процессом индукционной пайки [2]. Создание системы дистанционного мониторинга и диагностики оборудования установки индукционной пайки позволит технологу и главному сварщику как производить мониторинг рассматриваемого технологического процесса, так и вносить коррективы в его параметры.

Проектирование программного обеспечения

В качестве программного средства разработки системы дистанционного мониторинга и диагностики оборудования установки индукционной пайки выбрана система QtCreator.

Проектируемое приложение имеет клиент-серверную архитектуру. Все данные сервиса надежно хранятся на сервере. Доступ к программе пользователь может получить только имея идентификационные данные и пройдя процесс авторизации.

Возможные варианты использования программы представлены на рисунке 1. Пользователь вводит свои идентификационные данные, сервис подтверждает, что пользователь с такими данными существует и разрешает доступ к приложению. Затем, пользователь совершает необходимые ему манипуляции. По завершению работы, сервис автоматически выводит и передает его в базу данных сервера и на экран пользователя сервиса.

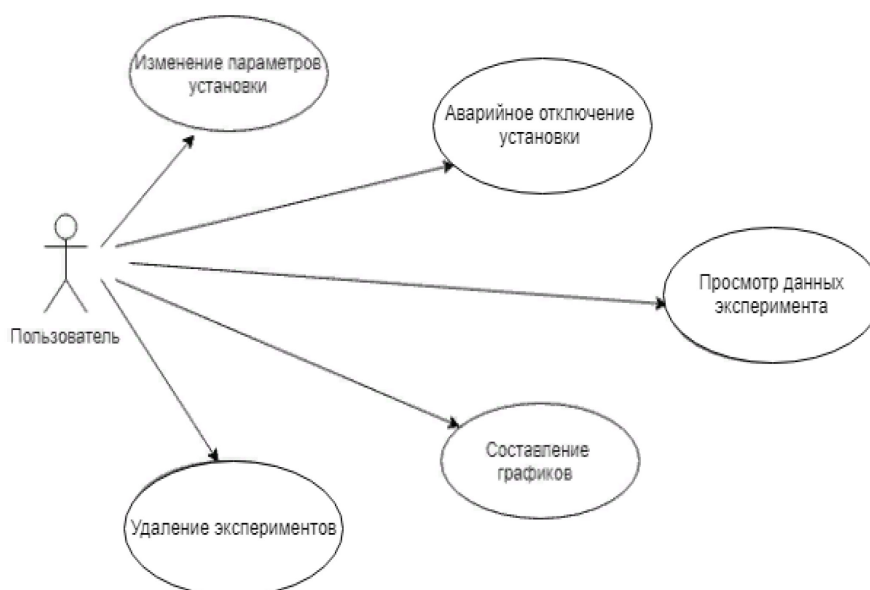


Рис. 1 – Диаграмма вариантов использования

Блок–схема процедуры вывода данных эксперимента представлена на рисунке 2.

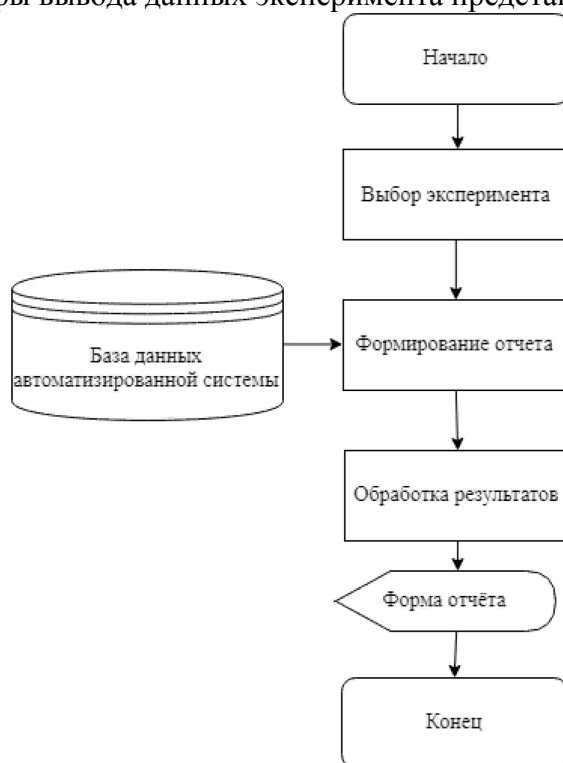


Рис. 2 – Блок–схема процедуры вывода данных эксперимента

Процедура начинается с выбора эксперимента. Далее происходит формирование запроса БД и после получения ответа, отчет выводится на экран.

Разработка интерфейса системы

Программный продукт предназначен для дистанционного мониторинга и диагностики оборудования установки индукционной пайки. Для этого в программе существуют следующие функциональные возможности:

- отображение списка экспериментов;
- отображение данных экспериментов;
- построение графиков.

Для того, чтобы начать работу программы, позволяющей проводить работу непосредственно со складом, необходимо запустить файл Project1.exe. После чего откроется главная страница, представленное на Рис. 3.

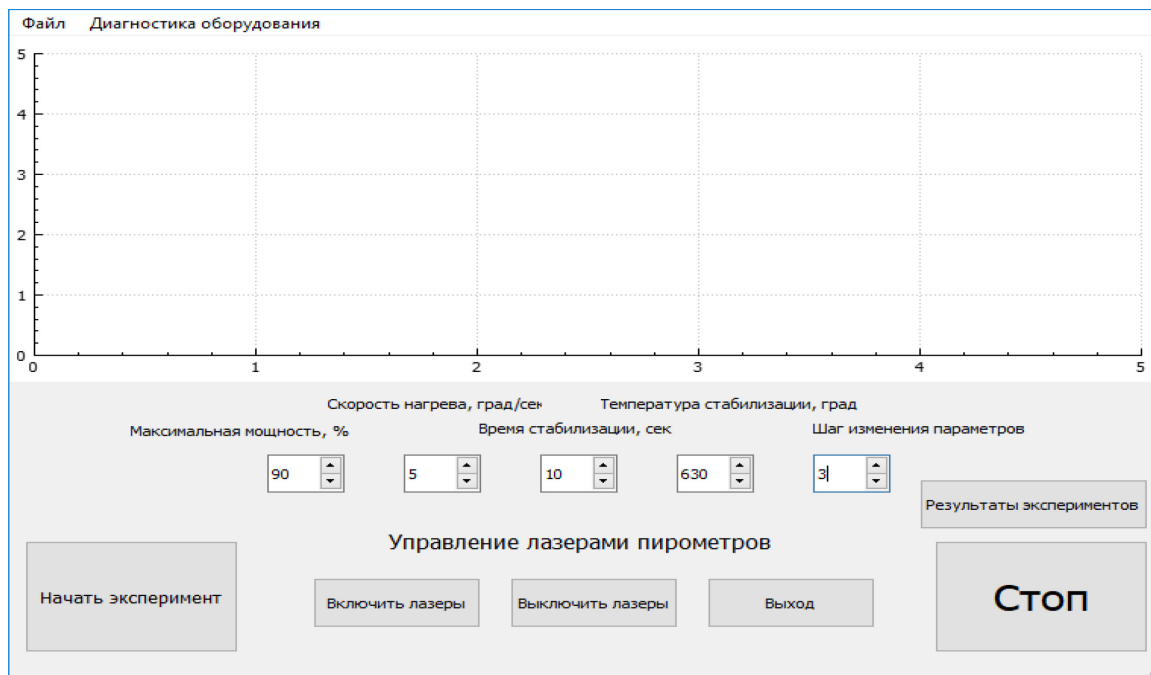


Рис. 3 – Интерфейс программы

Главная страница представляет собой форму с набором кнопок, позволяющий перейти на форму «Результаты экспериментов». Кнопками увеличения/уменьшения в счетчиках можно изменять параметры эксперимента. С помощью графика на главной форме можно наблюдать изменение температуры за время прохождения эксперимента.

Файл Диагностика оборудования						
	Дата и время чала эксперимента	Дата и время чания эксперим	Максимальная мощность	Скорость нагрева	Время стабилизации	Температура стабилизации
Эксперимент 1	01.01.2020 17:00	01.01.2020 17:10	100	5	10	630
Эксперимент 2	01.01.2020 15:00	01.01.2020 15:10	80	7	8	600
Эксперимент 3	01.01.2020 15:30	01.01.2020 15:40	90	10	9	590
Эксперимент 4	01.01.2020 16:00	01.01.2020 16:10	70	8	10	580
Эксперимент 5	02.01.2020 17:00	02.01.2020 17:10	50	6	8	570
Эксперимент 6	02.01.2020 17:30	02.01.2020 17:40	40	4	10	620
Эксперимент 7	02.01.2020 16:00	02.01.2020 16:10	60	9	9	610
Эксперимент 8	02.01.2020 18:00	02.01.2020 18:10	30	5	9	560

Анализ достоверности

Корреляционный анализ

Регрессионный анализ

Рис. 4 – Интерфейс программы

При переходе по кнопке «Результаты экспериментов» появляется форма, показанная на Рис. 4, содержащая таблицу, в которой отображается информация об экспериментах. Так же имеется возможность осуществлять различный анализ данных экспериментов.

Заключение

В ходе выполнения исследования был разработан алгоритм работы системы который описывает работу приложения. Для работы системы были выбраны определенные таблицы из базы данных установки.

В качестве программного средства разработки системы дистанционного мониторинга и диагностики оборудования установки индукционной пайки выбрана система QtCreator.

В результате было реализовано программное приложение, позволяющее накапливать данные об экспериментах, осуществлять составление, построение и печать разнообразных отчетов и графиков.

Список литературы

1. *Lanin V.L.* Sizing up the efficiency of induction heating systems for soldering electronic modules //Surface Engineering and Applied Electrochemistry: A. –2018. 54(4) 401-6.
2. *Tynchenko V.S., Murygin A.V., Petrenko V.E., Seregin Y.N. and Emilova O.A.* A control algorithm for waveguide path induction soldering with product positioning //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: A. –2017. 255(1) 012018.
3. *Detty R.* Induction heating for brazing, soldering and joining //Technical papers-society of manufacturing engineers: A. –1999. 184-9.
4. *Xu H, Li M, Fu Y, Wang L and Kim J* Local melt process of solder bumping by induction heating reflow //Soldering & Surface Mount Technology: A. –2009. 21(4) 45-54.

05.13.06

М.З. Искандаров, Р.М. Хисамутдинов д-р техн. наук

Набережночелнинский институт Казанский (приволжский) федеральный университет,
отделение информационных технологий и энергетических систем,
кафедра автоматизации и управления,
Набережные Челны, musaiskandarov@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРОЧНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЕЙ

Основной целью данной статьи является демонстрация возможностей использования имитационного моделирования производственных и логистических процессов машиностроения. Моделирование является инструментом, которое позволяет создавать цифровые модели логистических систем производства и воспроизводить отдельные события в виртуальной среде, с целью оптимизации работы логистических процессов производственных линий или предприятия в целом. В статье приведена часть теоретической базы темы и практический пример использования моделей. В качестве практического исследования разработана и изучена имитационная модель сборочной системы автомобилей для подбора оптимальных параметров поставки комплектующих изделий (например, вид поставки или объём партии) и предотвращения образования дефицита при выполнении технологических операций. Для практического исследования использовались программное обеспечение и библиотеки объектов. Будущие исследования авторов будут направлены на моделирование производственных и логистических процессов и их оптимизацию с использованием нейронных сетей или элементов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимизационная модель, моделирование сборочных систем, логистические процессы, сборочная система.

В современном, динамично меняющемся мире доступ к производственным данным в реальной жизни необходим для правильного планирования, работы и контроля производства. Компании, работающие в разных секторах экономики, все чаще используют ИТ-решения для оптимизации сборочных систем и логистических процессов за счет улучшения параметров производительности и сокращения потерь. Под компьютерным моделированием следует понимать методы и инструменты, наиболее часто используемые в широком понимании производства, логистики или промышленном проектировании.

Наряду с техническим прогрессом в области информационных технологий и очень быстрым наращиванием вычислительной мощности растет и популярность методов, основанных на компьютерном моделировании. Кроме того, чтобы следить за технологическими и экономическими изменениями и динамично развивающимися глобальными тенденциями, компании должны реагировать экономически эффективным, надежным и быстрым способом. Чтобы оставаться конкурентоспособными, компании должны разрабатывать производственные системы, которые не только производят высококачественную продукцию при низких затратах, но и позволяют быстро реагировать на изменения рынка и потребности потребителей.

Выявление ошибок на этапе планирования для компании намного дешевле, чем после запуска проекта или его полной реализации. Выполнение моделирования позволяет оценить, правильно ли проект был разработан и выполняются ли установленные параметры. Моделирование обеспечивает всестороннее восприятие изучаемого процесса или продукта, позволяет проводить многокритериальный анализ и тестировать множество сценариев, поэтому компьютерные системы становятся необходимыми инструментами, поддерживающими проектирование и улучшение бизнес-процессов на производстве.

Термины «моделирование» и «модель» часто используются в работе, поэтому необходимо дать их определения. Моделирование представляет собой отображение реальной системы, включающая ее динамические процессы в цифровой модели. В более широком смысле моделирование означает подготовку, проведение и анализ конкретных экспериментов с использованием имитационной модели. Моделью является упрощенная копия планируемой или реальной системы, включая ее процессы. [1]

Что касается процедуры моделирования, рекомендуется применять методологию, представленную на рисунке 1.

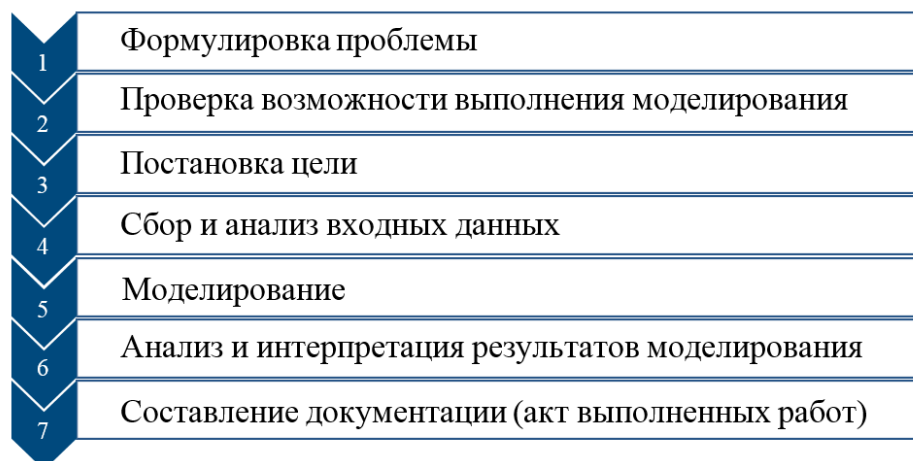


Рис. 1 – Методика проведения моделирования

Таким образом, под моделированием следует понимать методы, которые позволяют тестировать запланированные решения в цифровой виртуальной модели, прежде чем они будут реализованы на реальном производстве. Программы для моделирования, в настоящее время, все чаще используются на промышленных предприятиях [2].

По мнению современных авторов, основными задачами моделирования являются:

- Поддержка принятия решений при проектировании и эксплуатации системы
- Анализ и оптимизация
- Прогнозирование и взгляд в будущее
- Замена реальной системы (обучение, тестирование, опасность и т. д.) [3].

Для моделирования сборочной системы и анализа логистических процессов нами использовалось программное обеспечение Tecnomatix Plant Simulation, в котором интегрированы аналитические инструменты для оптимизации производительности и минимизации ошибок, возникающих на производстве во время опытно-промышленной эксплуатации.

Tecnomatix Plant Simulation объектно-ориентированная 3D-программа, используемая для моделирования отдельных событий, которая позволяет быстро и интуитивно создавать реалистичные цифровые системы (например, логистические) и таким образом, тестировать свойства систем и оптимизировать их производительность. Приложение разработано компанией Siemens PLM Software, которая является поставщиком программного обеспечения для PLM (Product Lifecycle Management) и MOM (Manufacturing Operations Management). Решения, предоставляемые Siemens в рамках портфеля интеллектуальных инноваций, помогают производственным компаниям оптимизировать цифровые предприятия и внедрять инновации. Цифровые модели позволяют проводить эксперименты и тестировать сценарии «что если», не нарушая работу производственных систем или в случае планирования, задолго до их реализации. Наличие стандартных библиотек производственных и логистических объектов позволяет создавать имитационные модели в интерактивном режиме [4].

Расширенные аналитические инструменты, такие как анализ узких мест, статистика и диаграммы, могут использоваться для оценки различных производственных сценариев и показателей. Результаты обеспечивают информацию, необходимую для быстрого принятия

правильных решений на ранних этапах планирования и подготовки производства. Таким образом, можно оптимизировать материальные потоки, использование ресурсов и логистику на каждом уровне планирования - начиная с отдельных линий до глобальных производственных мощностей предприятия.

Очень важной особенностью программы является возможность моделировать процессы, следуя парадигмам объектно-ориентированного программирования. Необходимо упомянуть особенности такого программирования:

- наследование - можно создавать новые классы на основе существующих;
- полиморфизм - классы и методы могут быть переопределены, что позволяет быстро и просто строить сложные модели с очень прозрачной структурой;
- иерархия - сложные модели могут быть разработаны на нескольких логически связанных уровнях. Это свойство позволяет реализовать две наиболее популярные стратегии, используемые при обработке информации: «сверху-вниз» и «снизу-вверх» [1].

Tecnomatix Plant Simulation предоставляет эффективные и простые аналитические инструменты, которые позволяют обнаруживать узкие места (Анализатор узких мест), отслеживать поток материала (диаграмма Санкей) и определять избыток ресурсов (мастер таблица). Очень важным преимуществом этой программы с точки зрения научного интереса автора является то, что она предоставляет интегрированные инструменты оптимизации. К ним относятся в основном:

- GA Wizard - оптимизирующая имитационная модель с использованием генетических алгоритмов;
- Layout Optimizer - который позволяет минимизировать транспортные расходы с использованием генетических алгоритмов;
- нейронная сеть - которая позволяет идентифицировать связи между входными и выходными параметрами, которая обеспечивает проекции с использованием искусственных нейронных сетей;
- Диспетчер эксперимента - используется для создания сценариев или оценки отношений между двумя входными параметрами.

Tecnomatix Plant Simulation также позволяет выполнять статистический анализ данных (например, изучение зависимости, регрессия, подбор данных и т.д.). Кроме того, можно импортировать данные из других программ или баз данных, например, Access, Oracle, Excel, SAP, AutoCAD. Очень важным преимуществом программы является также инструмент, используемый для оригинальных алгоритмов и сценариев программирования (Метод). Для этой цели используется встроенный язык SimTalk с синтаксисом, основанным на Basic [5].

На практике любое промышленное предприятие как объект моделирования является исключительно сложной системой [6]. Использование современных методов моделирования предоставляет большие возможности для выполнения комплексного анализа деятельности предприятий в части совершенствования их организационной структуры и эффективного распределения труда. Моделирование сборочных систем на рабочих местах помогает в планировании новых и улучшении существующих систем [7].

Моделирование сборочных участков в настоящее время используется на роботизированных позициях или в зоне сборочных конвейеров [8].

Выбор модели был обусловлен многофакторностью решаемой задачи и условиями системы сборки. Рассмотрим пример производственной линии, разработанной нами в программном обеспечении Tecnomatix Plant Simulation, показанной на рисунке 2. Это цифровая модель сборочной системы, представляющая процесс сборки автомобилей, состоящей из конвейера и рабочих мест. Для непрерывной работы рабочих мест, необходимо обеспечить поставку комплектующих изделий к месту их потребления, т.е. к месту установки на собираемый автомобиль. В модели это реализуется с помощью стандартного объекта TableFile (файл таблица) в которую заполняются логистические параметры, такие как: вид поставки, объем партии, количество списания комплектующих на автомобиль, время повторной поставки при образовании дефицита и т.д.

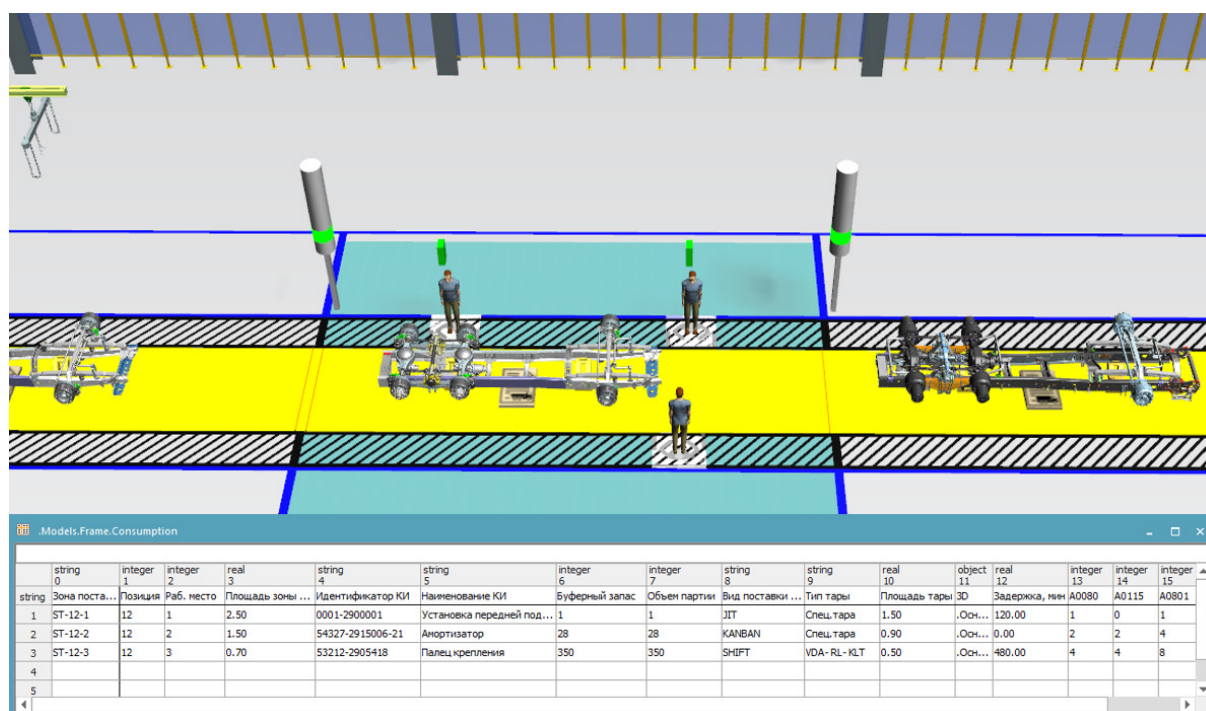
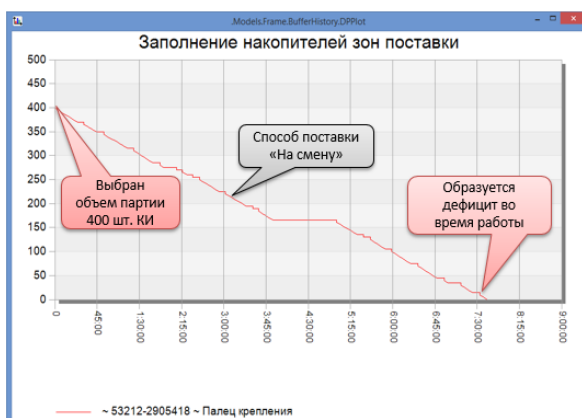


Рис. 2 – 3d модель сборочной системы с таблицей логистических параметров

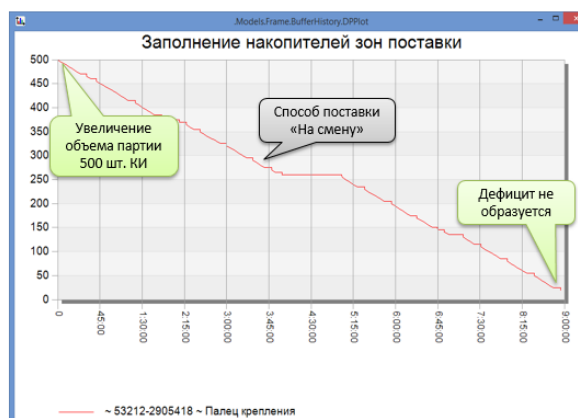
В ходе анализа результатов моделирования поставки комплектующих изделий на позицию для выполнения технологических операций установлено, что образуется дефицит. Изменение статистики потребления/расхода комплектующих изделий, до и после настройки представлена на рисунке 3. Из левой диаграммы можно увидеть, что 400 комплектующих изделий, поставленных на всю смену, расходуются в рабочее время, вследствие чего образуется дефицит и остановка конвейера. Для безостановочной работы, увеличен объем партии поставки комплектующих изделий до 500 шт., что позволило обеспечить рабочее место комплектующими изделиями до конца смены и предотвратить возникновение простоя сборочной линии. Вследствие чего, выпуск готовой продукции увеличен на 6 автомобилей на одну смену.

Вариант №1: Объем поставки пальца крепления 400 шт.



Случаи возникновения дефицита: 20 раз
Суммарное время простоя из-за дефицита : 27 мин 00 сек

Вариант №2: Объем поставки пальца крепления 500 шт.



Случаи возникновения дефицита: 0
Суммарное время простоя из-за дефицита : 0

Собрано: 101 а/м

Собрано: 107 а/м

Рис. 3 – Варианты поставки комплектующих изделий.
Базовая модель (слева), доработанная модель (справа)

Результаты и выводы

1. Моделирование сборочных процессов, отслеживание и анализ выходных результатов в виде графиков с последующей корректировкой параметров позволило увеличить пропускную способность сборочной системы, что свидетельствует о возможности оптимизации производственных процессов сборочной системы.

2. В процессе реализации практического примера был выявлен ряд преимуществ оптимизационной модели.

3. При разработке модели были использованы стандартные объекты и библиотеки, что сокращает время проектирования сборочной системы.

4. Работа в виртуальной среде и сохранение промежуточных результатов позволили провести тестирование ряда версий сборочной системы и выбрать наиболее оптимально-сбалансированную версию.

5. По итогам моделирования и последующего анализа результатов следует, что предложенный подход позволяет устранить организационные ошибки перед вводом сборочных процессов в эксплуатацию.

Список литературы

1. *Steffen Bangsow*. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk / Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010. Р– 6.
2. *Гречишников В.А., Чемборисов Н.А., Хисамутдинов Р.М., Егорова Е.И.* Моделирование систем инструментального обеспечения машиностроительного производства // Старый Оскол:ТНТ.- 2011. - 208 с.
3. *Искандаров М.З., Хисамутдинов Р.М.* Оптимизационная модель производственных процессов сборочной системы автомобилей // Научно-технический вестник Поволжья. №6 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 126 с.
4. Обзор продукта «Tecnomatix Plant Simulation» URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html> (дата обращения 21.11.2020).
5. *Смелов В.Г., Кокарева В.В., Шитарев И.Л.* Имитационное моделирование производственных процессов в рамках концепции «бережливого производства» // Вестник СГАУ, 2015. - №3(34) - 131 с.
6. *Шаранов И.М., Петрова Е.С.* Имитационное моделирование управленческих процессов в производственных системах // Вестник ВУиТ, 2011. - №18. 5-10 с.
7. *Iskandarov M., Khisamutdinov R.*, Simulation as a tool for supporting assembly systems // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering - 2019. -570 с.
8. *Хисамутдинов Р.М., Хисамутдинов М.Р.*, Моделирование обмена данными между разноплатформенными информационными системами для решения задач подготовки производства // Национальная Ассоциация Ученых. - 2015. - № 6-2 (11). - 72-75 с.

05.13.06

¹А.А. Капитонов, ²К.В. Ключкова канд. техн. наук, ³Л.А. Симонова д-р техн. наук

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
¹кафедра автомобилей, автомобильных двигателей и дизайна
²кафедра машиностроения,
³кафедра автоматизации и управления,
kvsimonova@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НАДСТРОЙКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В статье представлена структурная модель и принцип работы интеллектуальной надстройки автоматизированной системы, предназначенной для поиска причин неисправностей при диагностике двигателя внутреннего сгорания. Решено систему поддержки принятия решений реализовать в виде многоагентной системы с организацией блока прогнозирования.

Ключевые слова: *интеллектуальная надстройка, автоматизированная система, диагностика двигателя внутреннего сгорания, неисправности двигателей, экспертная система.*

Постоянное развитие технологий производства двигателей, а также ремонта требует адаптацию ремонтных производств к новым условиям, изменять технологию ремонта, применение современных средств ремонта и диагностирования двигателей.

На сегодняшний день созданы различные стенды и комплексы для диагностирования двигателей внутреннего сгорания. В существующих стендах диагностики двигателей применяют в основном органолептические, функциональные методы. Шумы, вибрации, цвет выхлопных газов, протечка газов из двигателя возлагается в основном на оператора. Остальные же параметры ДВС как, например, расход топлива, расход воздуха, температуры охлаждающей жидкости и масла-смазки, давление воздуха в турбонаддувочной системе контролируются исключительно с помощью датчиков и технического оборудования, связанных со стендом.

Разработка методик проведения испытаний для определения неисправности двигателей заключается не только в поэтапной смене типов нагрузки. Для получения наиболее точной оценки состояния двигателя, а также определения неисправности следует в процессе диагностики ДВС дополнительно производить диагностику отдельных его узлов. Это сформировало предпосылки к созданию автоматизированных систем на основе математического моделирования, элементов искусственного интеллекта и принципов CALS-технологий. Разработке инструментальных средств поддержки принятия решений и методик диагностики ДВС посвящены статьи [1-4]. В рамках исследования был рассмотрен ряд инструментальных средств поддержки принятия решений для экспертизы технического состояния двигателей. Проанализированные инструментальные средства поддержки принятия решений способны диагностировать неисправности, однако они предназначены для популярных разновидностей ДВС, которые присутствуют на рынке в течение длительного времени. В случае применения новой модели ДВС рассмотренные системы не дадут результата, так как в них отсутствует возможность моделирования поведения нового механизма, как следствие отсутствие возможности выдать автоматически логическое заключение о причинах неисправностей. Эту проблему можно решить путем создания цифрового двойника ДВС и разбиения его на систему механизмов, описываемых с помощью математических моделей.

При разработке систем для диагностирования состояния ДВС необходимо, чтобы в них были отражены опыт и знания, которыми владеют специалисты-эксперты, а также информация, накопленная за годы эксплуатации двигателя. Это подразумевает обработку большого количества информации, которую необходимо систематизировать и кластеризовать для повышения точности и адекватности получаемых результатов, а также снижения трудоемкости при обработке информацией системой.

Решение состоит в применении базы знаний и базы правил при организации системы. Кроме того, наличие этих элементов искусственного интеллекта в структуре системы позволит формировать логические заключения и порождать правила на основе новых данных. Также применение элементов искусственного интеллекта позволит произвести интеллектуальный анализ данных, который необходим для выявления скрытых, нетривиальных закономерностей и возможности отражения многоаспектных взаимосвязей параметров, что недоступно при применении традиционной математической статистики.

Структурная модель разработанной интеллектуальной надстройки автоматизированной системы диагностики ДВС представлена на рисунке 1.

Работа системы заключается в поиске неисправности двигателя. Система оперирует данными, полученными с датчиков стенда и бортового компьютера. Организован блок получения данных от экспертов, которые необходимы для получения информации о внешних воздействиях и характера их влияния на элементы ДВС, для последующего формирования матрицы соответствия и весовых коэффициентов.

Систему поддержки принятия решений предложено реализовать в виде многоагентной системы (МАС). Это позволяет разделить диагностирование каждого узла обследуемого объекта на отдельные модули.

Таким образом, можно проводить диагностирование, как отдельных систем объекта, так и в целом всего объекта. Такой подход позволяет логично организовывать дальнейшее развитие диагностической системы, модернизируя каждый ее элемент, независимо друг от друга. В таких системах возможно реализовывать сложные диагностические алгоритмы, позволяющие получать исчерпывающую диагностическую информацию о состоянии объекта диагностирования.

Как и любая система, МАС может быть представлена следующей шестеркой:

$MAC = \{Ind, Prp, Atr, Inp, Out, Str\}$.

Здесь Ind—наименование системы; Prp — цели системы; ^—общесистемные характеристики; Inp — вход системы; Out — выход системы; Str — структура системы; $Str = \{E, R\}$, где E — компонент системы; R — связи компонентов.

В данном случае система представлена следующими агентами:

Агент ТНВД (Топливный насос высокого давления).

Агент ТКР (Турбокомпрессор).

Агент ГРМ (Газораспределительный механизм).

Агент ЦПГ (Цилиндропоршневая группа).

Агент КШМ (Кривошипно-шатунный механизм).

Агент — координатор, который выполняет функцию предварительной фильтрации (сортировки) данных, поступающих на вход блока прогнозирования, а также функцию распределения задач, поиска и оценки решений.

Внимание сфокусировано на ТНВД, ТКР, ГРМ, ЦПГ и КШМ, так как данные механизмы несут основную нагрузку при работе ДВС, следовательно контроль их состояния позволит получить оценку причин неисправности.

Функциональная часть СППР представлена блоком прогнозирования, в который входят: блок нечеткого вывода и каскадная нейронная сеть.

Работа блока нечеткого вывода основана на методе представления с помощью нечетких знаний, для принятия решений в тех случаях, когда происходит наложение параметров и невозможно четко определить границы их состояния.

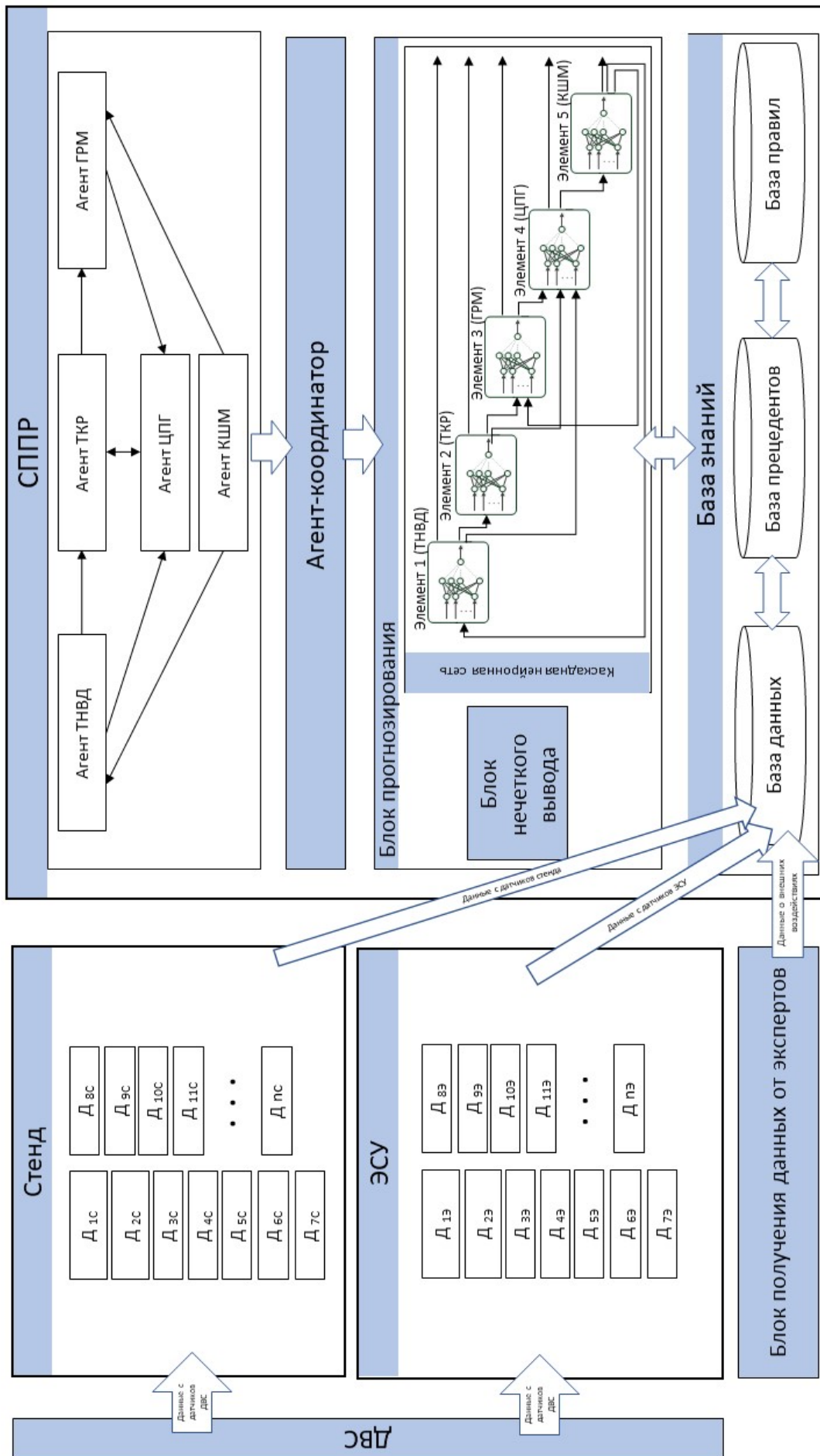


Рис. 1 – Структурная модель интеллектуальной надстройки автоматизированной системы диагностики ДВС

Обращение к каскадной нейронной сети производится при отсутствии идентичных образов решений в базе прецедентов и необходимости моделирования значений параметров. Формирование структуры нейронной сети каждого каскада производится согласно данным, необходимым для описания состояния механизмов ДВС. Каждому механизму соответствует своя нейронная сеть.

Для корректной работы интеллектуальной надстройки в первую очередь необходимо реализовать базу знаний, которая содержит базу данных, базу прецедентов и базу правил. База данных хранит в себе эталонные значения (диапазоны) для каждого параметра на каждом этапе соответствующего испытания для сравнения со значениями датчиков при чтении их системой. База прецедентов содержит сведения о результатах испытаний и условиях их проведения. Каждый прецедент хранит в себе отклонившиеся параметры, причину возникновения неисправности и коэффициент встречаемости, который необходим для ранжирования подходящих прецедентов. База правил содержит в себе правила, необходимые для функционирования и взаимодействия всех элементов системы. Правила представлены с помощью продукционных и фреймовых моделей.

Данное представление модели интеллектуальной надстройки автоматизированной системы диагностики ДВС предусматривает обеспечение обработки данных, полученных с бортовых компьютеров автомобилей, находящихся в эксплуатации и уточнять цифровую модель двигателя с учетом внешних изменяющихся условий, корректировать базу знаний, что позволит при переходе на другие модели ДВС адаптировать прогнозные модели под новые изменения.

Список литературы

1. *Ольшевский С.Н.* Экспертная система обнаружения неисправностей – интеллектуальный инструмент обеспечения работоспособности двигателей / С.Н. Ольшевский, О.Ф. Савченко, И.Г. Гребенникова // Достижения науки и техники АПК. – 2006. - №11. – С. 22-24.
2. *Савченко О.Ф.* Автоматизированный технологический комплекс экспертизы ДВС на базе CALS – технологий / О.Ф. Савченко // Достижения науки и техники АПК. – 2006. - №11. – С. 20-22.
3. *Добролюбов И.П.* Моделирование процесса оптимального определения параметров состояния двигателя внутреннего сгорания измерительной экспертной системой / И.П. Добролюбов, О.Ф. Савченко, В.В. Альт, С.Н. Ольшевский, Д.Н. Клименко // Вычислительные технологии. – 2015. – Т. 20. - № 6. – С. 22-35.
4. *Альт В.В., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н., Гребенникова И.Г.* Экспертная система «Обнаружение неисправностей дизелей»: Св-во № 2006611386 об официальной регистрации программы для ЭВМ. – М.: ФИПС, 2006. – 1с.

05.13.06

Л.И. Медведева канд. техн. наук, А.А. Лескин, К.Г. Рыльский, А.А. Замков

Волжский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»,
Волжский, lyumed@yandex.ru, leskin.al@yandex.ru,
kirill.rylskij96@mail.ru, zamkow1@rambler.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЖИЖЕНИЯ ГАЗА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТОПЛИВА

В статье рассмотрены основные методы сжижения природного газа и приведены технологические особенности метода с использованием смешанных компонентов. В качестве объекта для математического моделирования выбран теплообменник для предварительного охлаждения.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, математическая модель теплообменника, альтернативные виды топлива.

Дефицит жидкого топлива нефтяного происхождения, а также достаточно большое количество вредных веществ в ОГ при его использовании способствуют поиску альтернативных видов топлива. С учетом специфики автомобильного транспорта сформулированы пять основных условий перспективности новых видов топлива: наличие достаточных энерго-сырьевых ресурсов, возможность массового производства, технологическая и энергетическая совместимость с транспортными силовыми установками, приемлемые токсические и экологические показатели процесса энергоиспользования, безопасность и безвредность эксплуатации. По мнению специалистов, в наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют углеводородные газы естественного происхождения и синтетические топлива-спирты. В ряде работ в качестве перспективных видов топлива назван водород [1].

Сжиженный природный газ (СПГ) представляет собой обычный природный газ, приведенный в жидкое состояние методом охлаждения его до $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$. В таком состоянии это жидкость без запаха и цвета, плотность которой в два раза меньше плотности воды. Сжиженный газ не токсичен, кипит при температуре $-158\ldots-163\text{ }^{\circ}\text{C}$, состоит на 95 % из метана, а в остальные 5 % входят этан, пропан, бутан, азот. При сжатии и охлаждении СПГ уменьшается в объеме почти в 600 раз и в таком виде его легче и дешевле транспортировать в тех случаях, когда постройка газопроводов не рентабельна, или не возможна в виду климатических, географических или иных условий. Процесс этот сложный, многоступенчатый, и очень энерго-затратный – расходы на сжижение могут составлять около 25% энергии, содержащейся в конечном продукте.

В работе технологических установок могут применяться разные по своему принципу системы охлаждения газа. В промышленной реализации различают три основных метода сжижения:

- **каскадный** – газ последовательно проходит через ряд теплообменников подключенных к системам охлаждения с разными температурами кипения хладагента. В результате газ конденсируется и поступает в накопительный резервуар.

- **смешанных хладагентов** – газ поступает в теплообменник, туда же поступает смесь жидких хладагентов с разными температурами кипения, которые закипая последовательно, снижают температуру поступающего газа.

- **турбо-расширения** – отличается от вышеописанных методов тем, что используется адиабатное расширение газа. В классических установках температура снижается за счет кипения хладагента и использования теплообменников, то тут тепловая энергия газа расходуется на работу турбины [2].

Метод использования смешанных компонентов изображен на рисунке 1. Очищенный природный газ после нагнетания при температуре около 30 °С и давлении 4 МПа направляется в холодильную систему и проходит через предварительный охлаждающий теплообменник и промежуточный теплообменник для охлаждения. Когда температура достигает около -35 °С, сырьевой газ направляется в сепаратор, углеводороды смешанного строения отделяются и направляются в резервуар для хранения, а сухой газ снова поступает в криогенный теплообменник для сжижения и переохлаждения до -145 °С, дросселируется до 0,15 МПа. СПГ с температурой около -153 °С, выходящий из холодильной системы, направляется в резервуар.

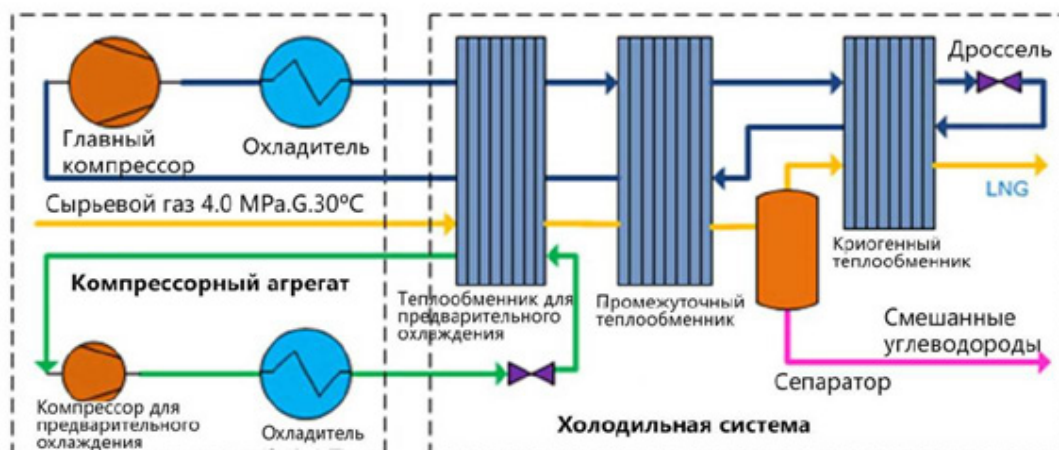


Рис. 1 – Объединенный процесс сжижения углеводородов смешанного строения

Принцип работы заключается в использовании скрытой теплоты испарения жидкого хладагента обратного потока для поглощения тепла сырьевого природного газа и хладагента прямого потока, таким образом, установка осуществляет сжижение газа [3].

Основным оборудованием в процессе является охлаждающий теплообменный аппарат (рис. 2), для которого была разработана математическая модель с учетом его конструктивных и технических особенностей (таблица 1).

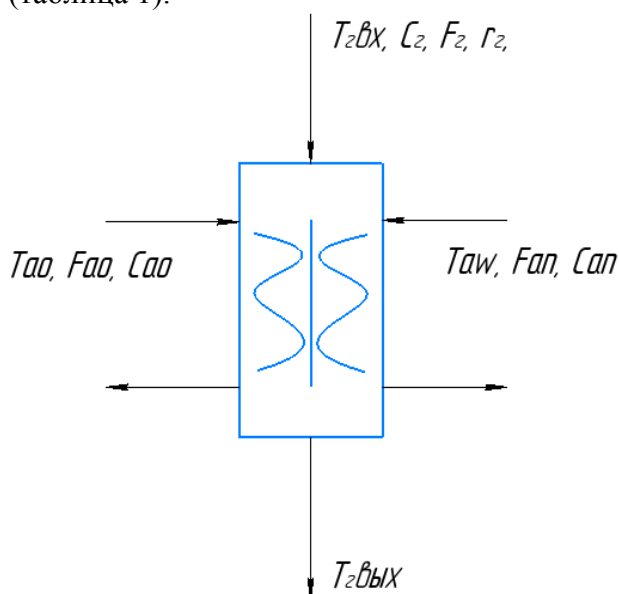


Рис. 2 – Теплообменник предварительного охлаждения

($T_{г\text{ вх}}$ - температура природного газа на входе, $T_{г\text{ вых}}$ - температура природного газа на выходе, $C_{г}$ - удельная теплоёмкость природного газа, $F_{г}$ - расход природного газа, $r_{г}$ - теплота фазового перехода, $T_{ав}$ - температура газа (азота), $F_{ав}$ - расход газа (азота), $C_{ав}$ - удельная теплоёмкость газа (азота), $T_{ао}$ - температура газа (азота))

Таблица 1 – Конструктивные характеристики теплообменника

Технические характеристики теплообменника	
Тип	горизонтальный с предварительным охлаждением
$A = 345,8 \text{ м}^2$	площадь теплообменника
$n = 90$	число панелей
$d = 3,14 \text{ м}$	диаметр теплообменника
$\delta = 2 \cdot 10^{-3}$	толщина стенок труб
$L = 5,4 \text{ м}$	длина труб
Физические характеристики охлаждаемого СПГ, охладитель азот, материала стенок теплообменных труб	
Охлаждаемый СПГ	газ
$T_{\text{ГВХ}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	номинальная температура входящего СПГ
$T_{\text{ГВЫХ}} = -150 \text{ }^\circ\text{C}$	температура выходящего СПГ
$F_{\text{Г}} = 2,5 \text{ кг/с}$	номинальный массовый расход СПГ
$F_{\text{ан}}, F_{\text{ао}} = 15,5 \text{ кг/с}$	номинальное значение расхода азота
$\rho_{\text{Г}} = 420 \text{ кг/м}^3$	плотность СПГ
$\rho_{\text{ст}} = 7800 \text{ кг/м}^3$	плотность материала труб (Al)
$C_{\text{Г}} = 1863 \text{ Ж/(кг*К)}$	удельная теплоемкость СПГ
$C_{\text{ст}} = 897 \text{ Ж/(кг*К)}$	удельная теплоемкость Al

Используя данные из таблицы 1, рассчитываются масса стенок труб:

$$M_{\text{ст}} = n \cdot 3,14 \cdot L \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \left[\frac{d^2}{4} - \frac{(d-2\delta)^2}{4} \right], M_{\text{ст}} = 4160 \text{ кг}$$

и масса жидкости в трубах:

$$M_{\text{Г}} = 3,14 \cdot (d-2\delta)^2 / 4 \cdot L \cdot \rho_{\text{Г}} \cdot n, M_{\text{Г}} = 1,5 \text{ кг.}$$

Из уравнения теплового баланса для жидкости (статика) следует:

$$\alpha \cdot A \cdot (T_{\text{СТ}} - T_{\text{Г}}) = F_{\text{Г}} \cdot C_{\text{Г}} \cdot (T_{\text{ГВХ}} - T_{\text{ГВЫХ}}) \quad (1)$$

Температура стенки принимается равной температуре СПГ при его рабочем давлении: $T_{\text{СТ}} = -150 \text{ }^\circ\text{C}$. Тогда из уравнения (1) выражается коэффициент теплоотдачи от стенок к охлажденному газу:

$$\alpha = \frac{F_{\text{Г}} \cdot C_{\text{Г}} \cdot (T_{\text{ГВХ}} - T_{\text{ГВЫХ}})}{A \cdot (T_{\text{СТ}} - T_{\text{Г}})}, \alpha = -8,08 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

Искомые постоянные времени объекта для дифференциального уравнения $T_1^2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot y + T_2 \cdot \frac{d}{dt} \cdot y + y = k \cdot x$ находятся по формулам:

$$T_1 = \sqrt{\frac{M_{\text{СТ}} \cdot c_{\text{СТ}} \cdot M_{\text{Г}}}{\alpha \cdot A \cdot F_{\text{Г}}}} \quad T_2 = \frac{M_{\text{СТ}} \cdot c_{\text{СТ}}}{\alpha \cdot A} + \frac{M_{\text{СТ}} \cdot c_{\text{СТ}}}{F_{\text{Г}} \cdot c_{\text{Г}}} + \frac{M_{\text{Г}}}{F_{\text{Г}}}, T_1 = 801,3 \text{ с}; T_2 = 2027,9 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления объекта:

$$k = \frac{T_{\text{ГВХ}} - T'_{\text{ГВЫХ}}}{T_{\text{СТ}}}, k = -0,45.$$

Переведя вычисления в частотную область, получим объект второго порядка:

$$W(p) = - \frac{0,45}{801,3^2 p^2 + 2027,9 p + 1}$$

Визуализация переходного процесса реализована в программном средстве VisSim (рис. 3).

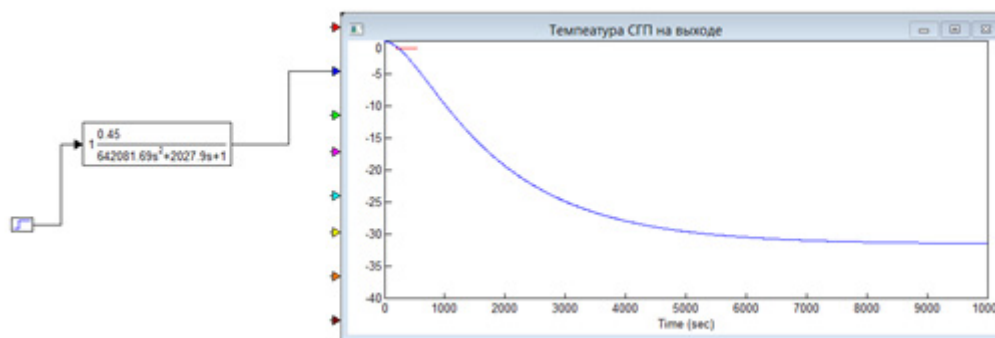


Рис. 3 – Изменение температуры газа на выходе из теплообменника

Природный газ это заслуженно один из самых эффективных источников энергии и в сравнении с другими видами топлива обладает преимуществами. Во-первых, стоимость добычи ниже, а производительность труда намного выше, чем при добычах угля и нефти. Во-вторых, продукты горения газа, выбрасываемые в окружающую среду, содержат минимальное количество вредных веществ. В-третьих, это высокий коэффициент использования и возможность автоматизации процесса горения. В-четвертых, благодаря высокой температуре, возникающей в процессе горения, и удельной теплоте сгорания, газ эффективно используется как энергоноситель и топливо.

Список литературы

1. Avtonov. Журнал для автолюбителей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avtonov.info/alternativnoe-toplivo>. свободный – (13.11.2020).
2. Студенческая библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/2500602/tovarovvedenie/tehnologiya_proizvodstva_szhizhennogo_prirodnogo_gaza. свободный – (04.12.2020).
3. Сайт new-eastgeo.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new-eastgeo.ru/wp-content/uploads/2018/04/Использование-попутного-газа-1.docx.pdf>. свободный – (16.11.2020).

05.13.06

Н.А. Новгородов, М.С. Гринкруг канд. техн. наук, Ю.И. Ткачева канд. техн. наук

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра общей физики,

Комсомольск-на-Амуре, nikitakms@yandex.ru, grin@knastu.ru, tkacheva.u@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ НА КОММУТАЦИЮ ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 6(10)/0.4 кВ

В работе представлены результаты исследований переходных процессов включения понижающих трансформаторов 6(10)/0.4кВ на нагрузку при изменении параметров нагрузки, характеристик самих трансформаторов и коммутирующих устройств; выявлены основные критерии, позволяющие снизить негативное влияние переходных процессов, происходящих при коммутации нагрузки и повысить энергоэффективность работы понижающих трансформаторов.

Ключевые слова: понижающий трансформатор, нагрузка, коммутация, переходный процесс.

Одним из основных элементов системы электроснабжения является понижающая трансформаторная подстанция (ТПП) 6(10)/0.4 кВ. В настоящий момент коммутация нагрузок к понижающим трансформаторам (ПТ) подстанций в основном производится с использованием трехполюсных силовых выключателей. При включении полюсов выключателей возникают переходные процессы тока (броски тока), а при отключении – переходные процессы напряжения (перенапряжения). Переходные процессы, протекающие при коммутации полюсов выключателей, оказывают негативное влияние на работу выключателей и трансформаторов: снижается срок службы полюсных наконечников, происходит снижение электрической прочности изоляции, уменьшается ресурс оборудования и т.д.

Одним из известных способов снижения амплитуд тока и напряжения переходных процессов является осуществление коммутации в нужный момент времени (когда мгновенное значение напряжения или тока на осциллограмме переходит через ноль). Для большинства выключателей реализация таких коммутаций возможна за счет прогнозирования величины суммарного времени от момента подачи сигнала на включение или отключение управляющим устройством, до момента непосредственного замыкания или размыкания полюсов выключателя.

Исследования, приведенные в [1] показали, что наиболее эффективно использовать включение или отключение каждого из полюсов выключателя в отдельности. Данную функцию можно осуществить за счет: изменения конструкции существующих выключателей, использования синхронных выключателей (с возможностью управления каждым полюсом в отдельности) или применения трех однополюсных выключателей вместо одного трехполюсного. Все эти способы должны включать использование микропроцессорных устройств для управления выключателем(-ями) и контроля параметров. Поэтому, актуальной является разработка алгоритмов и схемных решений систем управления работой выключателей и выявление условий, при которых должна осуществляться коммутация.

На рисунке 1 показана разработанная модель для исследования переходных процессов при коммутации нагрузок к однотрансформаторной понижающей подстанции 6/0.4 кВ.

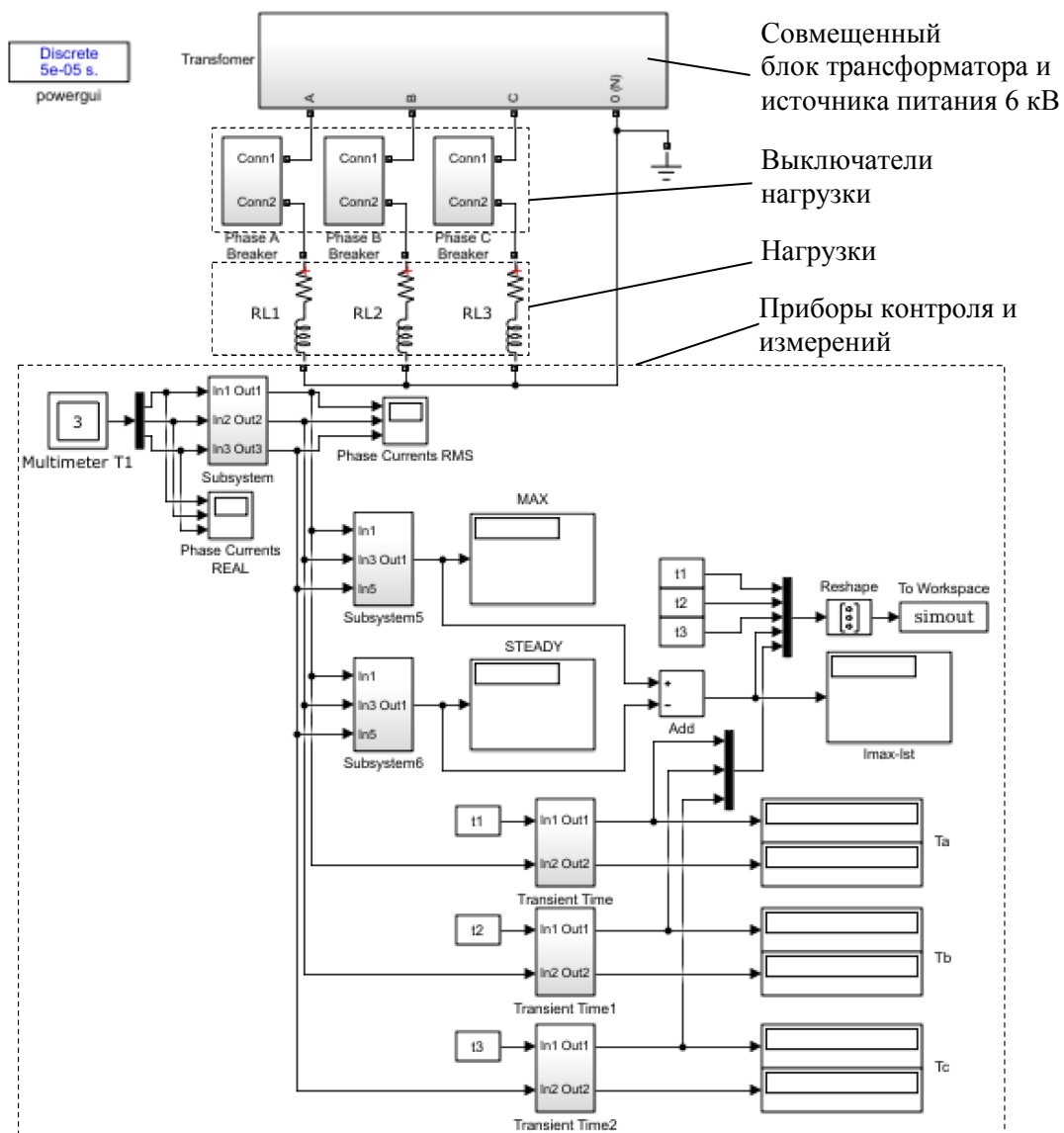


Рис. 1 – Модель исследования переходных процессов

Входными данными модели являются:

1) Схема соединения обмоток трансформатора – «звезда-звезда с нулем» (Y-Yn) или «треугольник-звезда с нулем» (Δ-Yn).

2) Номинальная мощность трансформатора 6/0.4 кВ $S_{ном} = 160, 250, 400, 630$ кВА.

3) Коэффициент загрузки трансформатора β – отношение текущей мощности нагрузки к номинальной мощности трансформатора – диапазон значений 0.1–1 с шагом 0.1.

4) Коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi$ – диапазон значений 0.5–0.9 с шагом 0.05.

5) Коэффициент несимметрии токов нагрузки $\varepsilon_I = \frac{I_{\phi,max} - I_{\phi,ср}}{I_{\phi,ср}}$, изменяющийся в диапазоне 0...2 с шагом 0.05, где $I_{\phi,max}$ – максимальное значение тока среди всех отходящих фаз ПТ; $I_{\phi,ср}$ – среднее арифметическое значение тока среди всех отходящих фаз ПТ.

6) Время коммутации полюсов выключателей t_k – от момента подачи сигнала на коммутацию до непосредственной коммутации выключателя – диапазон 0.1–0.11 (с) с шагом 0.001 с.

Выходные данные модели следующие:

1) Время переходного процесса τ – время от момента непосредственного замыкания контактов выключателя до момента времени, при котором значение тока в фазе равно установившемуся значению. Установившееся значение тока определяется согласно неравенству: $I_{уст} = \frac{I_i - I_{i-1}}{I_{i-1}} \leq 0.01$, где I_i – текущее значение мгновенного тока в фазе, А;

I_{i-1} – предыдущее значение мгновенного тока в фазе за время одной итерации программы управления, А.

2) Значение суммарных бросков токов переходных процессов по всем фазам ПТ – $\Delta I_{\Sigma} = \Delta I_A + \Delta I_B + \Delta I_C$, А (см. рисунок 2).

В ходе работы проводилось исследование влияния изменения входных параметров модели на величину ΔI_{Σ} и τ . Влияние момента включения полюсов выключателя на переходный процесс рассматривалось за счет перебора 121-й комбинации значений моментов включения выключателя по фазам ПТ ($t_1 = 0.1$ с; $t_2 = (0.1 - 0.11)$ с; $t_3 = (0.1 - 0.11)$ с).

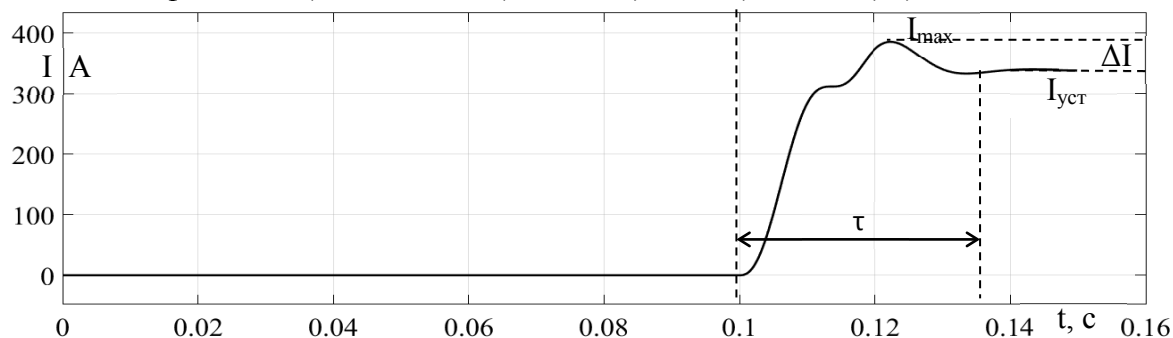


Рис. 2 – Осциллограмма среднеквадратичного значения фазного тока при включении выключателя нагрузки

На рисунке 3, в качестве примера, приведена диаграмма изменения суммарных бросков тока ΔI_{Σ} при различных комбинациях моментов включения выключателей t_k для разных схем соединения обмоток ПТ мощностью 400 кВА (симметричный режим нагружения, $\beta = 1$, $\cos\varphi = 0.8$).

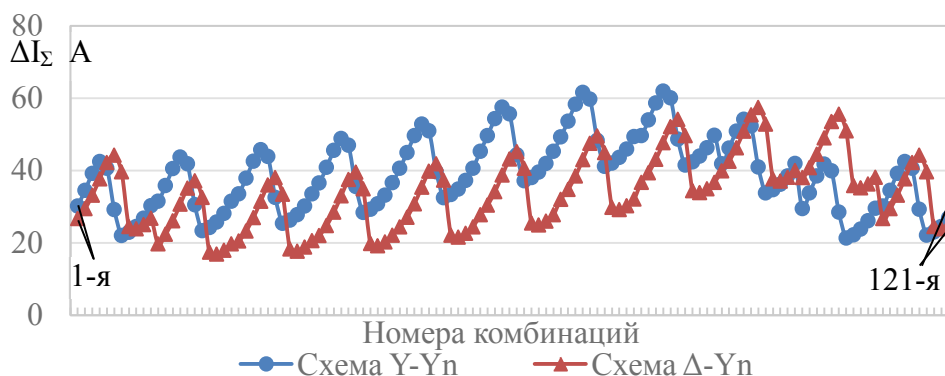


Рис. 3 – Диаграмма изменения значения ΔI_{Σ} в зависимости от комбинаций моментов включения выключателей ПТ

Диаграмма подтверждает, что за счет правильного выбора моментов t_k можно получить минимальное значение величины суммарных бросков тока ΔI_{Σ} . Из рис. 3 видно, что значения ΔI_{Σ} большинства (около 70%) комбинаций моментов времени t_k для ПТ со схемой соединения обмоток Δ -Yn ниже, чем для ПТ со схемой соединения обмоток Y-Yn в среднем в 1.4 раза. По этой причине предпочтительно использовать ПТ со схемой соединения обмоток Δ -Yn. Значение времени переходного процесса τ для каждого из исследований при изменении входных параметров (пункты 2 – 6), перечисленных выше, остается практически постоянным и равным 0.032 с.

Исследование влияния уровня несимметрии токов нагрузки на переходные процессы включения выключателей производилось для трех режимов несимметричного нагружения ПТ [2, 3]. Расчеты показали, что для всех случаев изменения входных параметров (пункты 1 – 4) с ростом уровня несимметрии нагрузки растет и величина максимальных значений ΔI_{Σ} .

Исследование влияния уровня загрузки ПТ на переходные процессы включения выключателей показало, что рост максимальных значений $\Delta I_{\Sigma max}$ по отношению к номинальному току ПТ может лежать в диапазоне (4 – 41) %, а минимальных значений

$\Delta I_{\Sigma \min} - (1 - 15) \%$.

Результаты исследования влияния коэффициента мощности нагрузки ПТ на переходные процессы включения выключателей показали, что при увеличении уровня реактивной нагрузки (в диапазоне изменения $\cos\varphi=0.5-0.9$) наибольшие значения параметра $\Delta I_{\Sigma \min}$ могут превышать наименьшие в 10–14 раз. Причем с уменьшением номинальной мощности ПТ это различие возрастает.

При изменении номинальной мощности ПТ возрастает и его номинальный ток. Исследования показали, что пропорционально изменению мощности ПТ возрастает и величина ΔI_{Σ} при включении выключателей. По сравнению со значениями при мощности ПТ 160 кВА, величина ΔI_{Σ} возрастает для ПТ 250 кВА в 1.6 раза, 400 кВА – в 2.6 раза, 630 кВА – в 4 раза.

По результатам анализа расчетных данных, полученных из модели исследования был сформулирован критерий осуществления эффективного включения выключателей нагрузки. В его основу положена аппроксимация кривой переходного процесса тока нагрузки прямоугольным треугольником с основанием, равным τ и высотой, равной ΔI . Тогда критерий осуществления эффективного включения выключателей нагрузки сводится к минимизации площади аппроксимирующего треугольника, т.е. $\frac{\tau \cdot \Delta I_{\Sigma}}{2} \rightarrow \min$. Причем, поскольку величина времени переходного процесса τ в ходе данного исследования оставалась практически постоянной, то критерий можно упростить и свести к следующему выражению: $\Delta I_{\Sigma} \rightarrow \min$.

Список литературы

1. Новгородов Н.А., Гринкруг М.С., Ткачева Ю.И. Управление работой элементов электрических сетей низкого напряжения – LAMBERT, 2016. – 117 с.
2. Новгородов Н.А., Митин А.И., Гринкруг М.С. Исследование влияния несимметрии нагрузок на показатели работы трансформатора с соединением «Звезда-звезда с нулем». Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 39-й научно-технической конференции аспирантов и студентов, г.Комсомольск-на-Амуре, 2009г., в 3ч. Ч.1, 299 с. С.261–263.
3. Новгородов Н.А., Гринкруг М.С., Ткачева Ю.И. Повышение надежности работы элементов электрических распределительных сетей низкого напряжения при коммутации нагрузок, г. Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012г., С.179–185.

05.13.06

Л.В. Павлова, Н.К. Андреева, А.Д. Припадчев д-р техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Оренбургский государственный университет»,
Аэрокосмический институт,
кафедра летательных аппаратов,
Оренбург, nadia_andreeva_93@mail.ru

**ВЫБОР ПОКРЫТИЯ КОНЦЕВЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ,
С ПАРАМЕТРАМИ СКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ,
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВТ20**

В работе представлены виды и процессы нанесения покрытий на концевые твёрдосплавные фрезы, с параметрами скругления режущей кромки, предназначенных для обработки деталей из титанового сплава ВТ20. Проведены сравнительные исследования концевых твёрдосплавных фрез с покрытиями $AlTiCrN^3$, $AlCo^3$ и без покрытия в процессе эксплуатации, дана оценка работоспособности.

Ключевые слова: покрытие, $AlTiCrN^3$, $AlCo^3$, концевые твёрдосплавных фрезы, титановые сплавы, ВТ20, работоспособность.

Вопросы механической обработки титановых сплавов в настоящее время приобрели особую актуальность в связи с расширением их области применения. Обработка титановых сплавов имеет ряд особенностей, которые связаны со строгим подбором инструментального материала, характеристик режимов резания и точным регламентом работы режущего инструмента. Титановые сплавы плохо поддаются обработке резанием, налипание на режущей кромке быстро приводит к износу инструмента. Кроме того, низкая теплопроводность данных сплавов мешает вывести тепло из зоны реза, что способствует налипанию и дальнейшему повышению сил резания и трения, а также росту температуры. В результате, при обработке вся нагрузка распределяется на очень малом участке острия лезвия, что, впоследствии, приводит к снижению стойкости инструмента и быстрому разрушению его режущей кромки. Большую долю обработки деталей из титановых сплавов для ракетостроения приходится на концевые фрезы, в связи со сложной конфигурацией деталей (наличием глубокие карманы, труднодоступные для обработки профиля, тонкостенность деталей и другое). Поэтому повышение стойкости и производительности концевых фрез в процессе эксплуатации является актуальной проблемой. Для концевой фрезерования титановых сплавов рекомендуется главным образом инструмент с покрытиями на основе нитридов титана или титана-алюминия.

Одним из эффективных методов повышения работоспособности режущего инструмента является нанесение на его рабочие поверхности покрытий – как однослойных, так и многослойных [1]. Экономическую эффективность работоспособности такого инструмента можно оценить лишь на основе проводимых экспериментальных исследований. Покрытие должно обеспечивать хорошую твердость и стойкость, для того чтобы в течение длительного времени сохранять режущие свойства инструмента. Для решения поставленной задачи рассмотрим методы и виды покрытий, которые применялись для упрочнения режущего инструмента.

В мире технологии по упрочнению представлены двумя метода: метод химического осаждения (Chemical Vapour Deposition — CVD) и метод физического осаждения покрытий (Physical Vapour Deposition — PVD) [3]. Методы физического осаждения покрытий универсальны с точки зрения получения гаммы однослойных и многослойных покрытий практически любого состава, в том числе с алмазоподобной и наноразмерной структурой, что позволяет реализовывать процессы нанесения покрытий при температурах 500...600 °С и обеспечивает возможность их применения для твердых сплавов [5, 6].

Для проведения сравнительных испытаний, на установке ANCA, были изготовлены три концевые фрезы диаметром 16 из твердого сплава 6WH10F. В качестве объекта сравнения покрытий для режущего инструмента использовались многослойные наноструктурированные покрытия, такие как AlTiCrN^3 , nAlCo^3 .

Покрытие (AlTiCrN^3) на основе поликристаллических алмазов, в состав покрытия входят – алюминий, титан, хром. Наносится данное покрытие как однослойное, так и многослойное, в связи с этим является практически идеальным для инструмента, выполняющего операции высокой обработки без применения СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость), а также твердой обработки [4]. Повышение доли алюминия в AlTiCrN^3 увеличивает способность покрытия выдерживать высокие термические нагрузки, характеризуется превосходной прочностью, износостойкостью, а также термической стабильностью и устойчивостью к коррозии, которая, в сочетании с применением азотирования обработанной поверхности основного материала, допускает его использование при более высоких температурах [5].

Нанокompозитные покрытия nAlCo^3 (в состав покрытия входят – титан, алюминий) – это высокотехнологичное твердое покрытие, состоящее из наночастиц, пребывающих в связующей аморфной матрице. Покрытие уникально благодаря сочетанию физически взаимоисключающих параметров: нанокompозитное покрытие обладает очень высокой твердостью – при увеличении твердости одновременно увеличивается его эластичность [6]. В результате покрытие одинаково хорошо работает и при высокопроизводительной обработке, и в обычных условиях.

Перед тем, как на концевые фрезы нанести покрытия AlTiCrN^3 и nAlCo^3 , была произведена галтовка – для обеспечения скругления режущих кромок, во избежание сколов на инструменте (до 14-15 мкм.), на установке Otec (Германия).

Осаждения данных покрытий на инструмент производилось физическим способом (PVD) на установке фирмы Platin π 411 с вертикальными близко расположенными катодами. Покрытия AlTiCrN^3 и nAlCo^3 наносилось на твердосплавные концевые фрезы диаметром 16, с углом подъема винтовой канавки – 45° , путем ионного распыления титана и его сплавов. Каждое из покрытий состоит из 13 слоев: первый слой базовый – подложка, которая состоит из TiN далее идут слои, которые заложены в рецепте установки по каждому из покрытий, последний слой, закрепляющий для каждого покрытия. Следует отметить, что понятие «многослойные» во многих случаях весьма условно, поскольку методы напыления позволяют добиться отсутствия четко выраженных межфазных границ между слоями, а также между покрытием и подложкой [2]. После нанесения покрытий шероховатость поверхностей увеличилась, для уменьшения её концевые фрезы подвергались «сухому» полированию, на установке фирмы Otec.

В качестве обрабатываемого сплава использовался титановый сплав BT20. Для того, чтобы определить эффективность покрытий нами был проведен ряд испытаний на фрезерном станке с ЧПУ. В таблице 1 – показаны результаты проводимых испытаний.

Таблица 1 – Результаты испытаний

№ п/п	Наименование	Материал фрезы	Покрытие	Режимы обработки	Машинное время (среднее)
1	Фреза Ø16 Lp=35	6WH10F	nAlCo^3 – 2,9 мкм.	F _(подача) =160 мм/мин. S _(вращ.шпинделя) =500 об/мин. A _{p(глубина)} =3мм A _{e(ширина)} =12мм	T _{маш.} =5ч 45'
2	Фреза Ø16 Lp=35	6WH10F	AlTiCrN^3 – 2,9 мкм.		T _{маш.} =8ч 10'
3	Фреза Ø16 Lp=35	6WH10F	Без покрытия		T _{маш.} =2ч 3'

Целью данных испытаний – повысить производительность концевой фрезеровки титановых сплавов путем применения инструмента с многослойно-композиционным покрытием с наноструктурированным износостойким слоем на базе – Al и Ti, а также определить наиболее качественной высокопроизводительное покрытие концевых фрез, для

наилучших показателей в обработке титанового сплава BT20, при заданных режимах: $F_{\text{(подача)}}=160$, $S_{\text{(вращ.шпинделя)}}=500$ об/мин, $A_{\text{p(глубина)}}=3$ мм, $A_{\text{e(ширина)}}=12$ мм.

В качестве объекта сравнения был рассмотрен инструмент из твердого сплава: фреза концевая диаметром 16 с покрытием AlTiCrN^3 – толщина покрытия 2,9 микрон, фреза концевая диаметром 16 с покрытием nAsCo^3 – толщина покрытия 2,9 микрон и фреза концевая диаметром 16 без покрытия. Проведенные испытания показали, что покрытия AlTiCrN^3 и nAsCo^3 обладают высокими микротвердостью и критическим усилием разрушения. При этом наибольшей микротвердостью обладало покрытие AlTiCrN^3 . Режущие свойства инструмента при подаче 160 - мм/мин, скорости вращения шпинделя - 500 об/мин., глубины резания - 3 мм, ширине - 12 мм, с использованием смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) показали, что среднее время работы концевой фрезы с покрытием nAsCo^3 больше в 2,5 раза, а концевой фрезы с покрытием AlTiCrN^3 в 4 раза больше, по сравнению с концевой фрезой без покрытия. При этом концевая фреза с покрытием AlTiCrN^3 показала лучший период стойкости при повышенной скорости резания, чем концевая фреза с покрытием nAsCo^3 и концевая фреза без покрытия.

Сопоставление данных испытания позволяют сделать следующие выводы, что при заданных режимах обработки попутного фрезерования - у концевой фрезы диаметром 16 без покрытия существенно снижается период стойкости, в связи с этим использование данной фрезы становится нецелесообразным, а стойкость концевой фрезы с покрытием nAsCo^3 снижается менее интенсивно, однако ее эксплуатация при заявленных режимах работы также нецелесообразна в связи с низким периодом стойкости. Наименьшее снижение периода стойкости показала концевая фреза с покрытием AlTiCrN^3 , что можно объяснить хорошей теплостойкостью, а также стойкостью к ударным нагрузкам данного покрытия. Проведенные исследования показали ряд существенных различий, частности, для концевой фрезы без покрытия взаимодействие режущей кромкой с материалом привело к образованию проточин. Для концевой фрезы с покрытием nAsCo^3 характерны разрушение покрытия на передней поверхности с вырывами фрагментов покрытия, а для концевой фрезы с покрытием AlTiCrN^3 характерен сбалансированный механизм изнашивания, на передней поверхности покрытие практически сохраняет свою целостность. Из этого следует, что применение твердосплавных концевых фрез с покрытием AlTiCrN^3 для обработки изделий из титанового сплава (BT20), позволяет нам повысить работоспособность режущего инструмента, увеличить износостойкость рабочей поверхности, что положительно сказывается, как на экономических показателях, так и на повышении производительности концевой фрезерования BT20.

Список литературы

1. *Верещагин В.Ю.* Методология выбора эффективного покрытия на основе моделирования напряжений в режущем инструменте: науч.журнал / Ю.В. Верещагин, Б.Я.Мокрицкий, А.С. Верещагина // Санкт-Петербург: Изд-во Политехника — 2018. – С. 19-22.
2. *Давлетбаев, Р.Р.* Покрытие для режущего инструмента // Молодой ученый. - 2017. - №2. - С. 98-101
3. *Табаков, В.П.* Работоспособность торцовых фрез с многослойными износостойкими покрытиями / В.П. Табаков, В.П. Батаков, М.Ю. Смирнов, А.В. Циркин - Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Ульяновский гос. технический ун-т. - Ульяновск : УлГТУ, 2005. - 151 с.
4. *Елкин, М.С.* Исследование влияния износостойких покрытий режущего инструмента на параметры качества обработанной поверхности при фрезеровании концевыми фрезами лопаток и моноколес ГТД : дис. канд. кехн. наук. - Рыбинск, 2015. - 14 с.
5. *Баранчиков, В.И.* Справочник конструктора-инструментальщика / В.И. Баранчиков; под общ. ред. В. А. Гречишникова и С. В. Кирсанова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2006. - 50 с.
6. *Солодков, В.А.* Физические основы контактных процессов при прерывистом резании. - Волгоград : ВолгГТУ, 2018. – 7 с.

05.13.06

¹Т.А. Парникова, ¹В.С. Трофимова, ¹Дь.А. Соколов, ²М.К. Охлопкова¹Арктический государственный агротехнологический университет,
Якутск, west_55@inbox.ru,²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Якутск, omk1268@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ И ЕЕ СТАНДАРТЫ КАЧЕСТВА

В настоящее время во всем мире большое внимание уделяется биоэнергетике, одной из разновидностей возобновляемых источников энергии. Биотопливо успешно используется для декарбонизации в теплоснабжении, транспорте и электрогенерации. Пеллеты должны гарантировать качество на протяжении всей цепочки снабжения - от добычи сырья до поставки твердого биотоплива конечному потребителю и обеспечить уверенность в том, что установленные требования к их качеству выполнены.

Ключевые слова: пеллеты, стандарты, производство.

В Республике Саха (Якутия) перспективным биоэнергетическим ресурсом являются древесные отходы лесопромышленных и деревообрабатывающих предприятий, а также сельскохозяйственные отходы растительного и животного происхождения. Это подтверждает распоряжение правительства Якутии от 27 марта 2020 года N 296-р «Об утверждении Стратегии развития лесопромышленного комплекса Республики Саха (Якутия) на 2020 - 2024 годы», где описаны перспективные инвестиционные проекты в лесопромышленном комплексе, которые включают упор на производство топливных пеллет [1].

В лесопромышленных или деревообрабатывающих предприятиях при обработке леса, по статистике, остаётся 20% отходов, который в основном состоит из древесной щепы, опилок, обрезков, стружки. Отходы древесной биомассы зачастую вывозятся на свалку или же продаются фермам, в качестве подстилок для животных. Для предотвращения нерационального использования древесной биомассы, применяют один из перспективных направлений альтернативных источников энергии на сегодняшний день – переработка отходов биомассы, т.е. изготовление топливных пеллет.

Сырьем для изготовления пеллет может служить сено, лузга подсолнечника, камыша, рисовой шелухи и других сельскохозяйственных отходов. Менее популярными являются пеллеты торфяные и изделия из куриного помета, которые при нарушении технологии изготовления могут быть вредны или токсичны. На рисунках 1,2 показаны схемы прессования пеллет, сушки сырья, производства пеллет из различных видов биомассы – лузги подсолнечника, древесной опилки сухой, древесной опилки влажной, древесной щепы, обрезков древесины и нетоварной древесины, древесных бревен, а также из соломы [2-4].

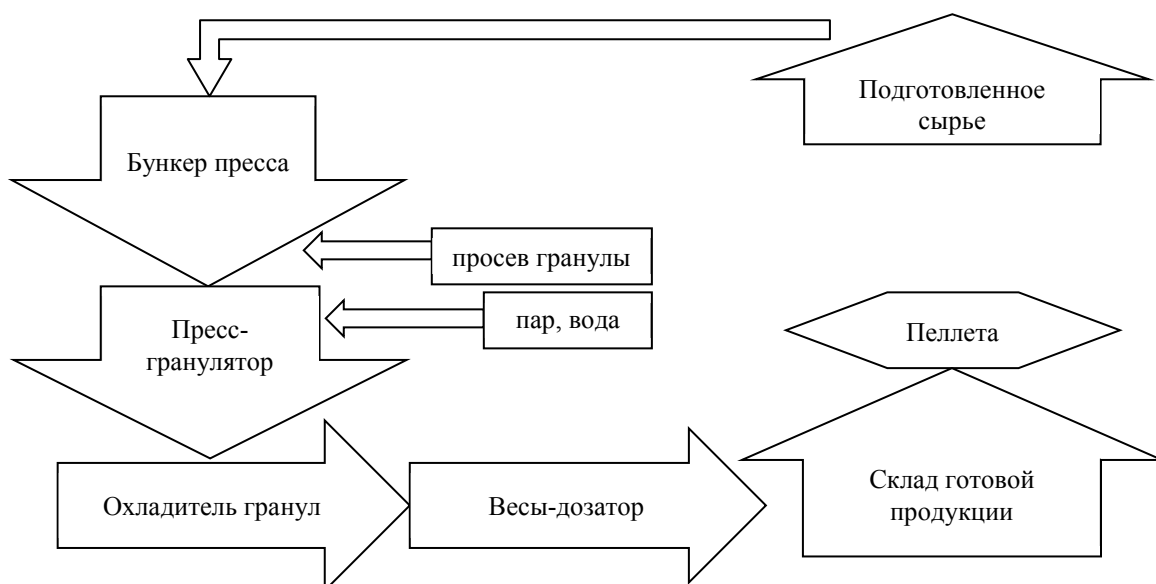


Рис. 1 – Прессование пеллетов

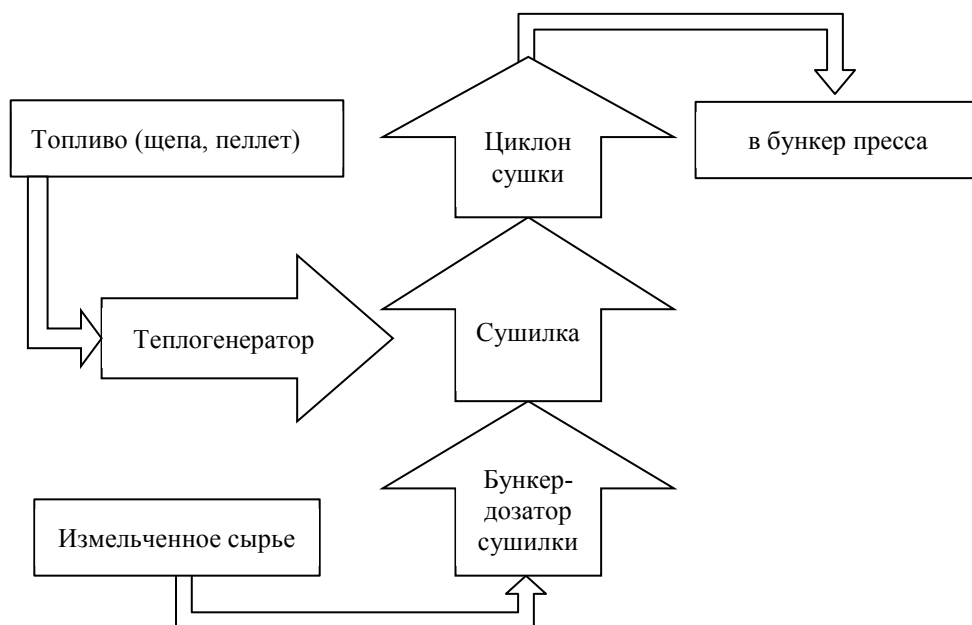


Рис. 2 – Сушка влажного сырья

В большинстве европейских стран существуют свои стандарты качества пеллет, а если в некоторых странах, в числе которых и Россия, нет своих стандартов, то они пользуются общепринятыми стандартами. Стандарты регламентируют теплотемкость, применяемое сырье, процент зольности и содержания определенных химических элементов в составе пеллет [1,5].

На сегодня все производители пеллет в Европе придерживаются данной единой системой стандартов, в том числе и Российские производители, которые ориентируются на этот стандарт, поскольку заинтересованы в экспорте пеллет за рубеж. Единый стандарт «ENPlus: требования к пеллетам и сырью» выделяет 3 класса качества для топливных пеллет, которые основаны на классах стандарта ISO 17225-2:

- EN Plus A1–премиальный сегмент, применяется для отопления частных домохозяйств, имеют максимально допустимую зольность 0,5% (хвойные породы) и 0,7% (лиственные породы);
- EN Plus A2–стандартное качество, применяется в промышленности, котельных, изготавливаются из смешанных пород древесины, зольность может достигать до 1,5%;
- ENPlusB – применяется в крупных промышленных котлах, могут иметь зольность до 3%.

В таблице 1 указаны пороговые значения наиболее важных параметров пеллет, основанные на стандарте ENPlus.

Таблица 1 – Пороговые значения наиболее важных параметров пеллет

Характеристики	Единица измерения	ENplus-A1	ENplus-A2	ENplus-B	Стандарт тестирования
Диаметр	мм	6 ± 1 или 8 ± 1			ISO 17829
Длина	мм	$3,15 < L < 40$			ISO 17829
Насыпная масса	кг/м ³	$600 < \text{масса} < 750$			ISO 17828
Энергетическая ценность	кВт/кг	$4,6 <$			ISO 18125
Содержание воды	%	< 10			ISO 18134
Объем пыли	%	$< 0,5 - 1$			ISO 18846
Механическая прочность	%	> 98	$> 97,5$		
Зольность	%	$< 0,7$	$< 1,2$	< 2	ISO 18122
Температура пеллет	°C	40			
Количество примесей	%	< 2	< 2	< 2	
Температура плавления золы	°C	> 1200	> 1100		CEN/TC 15370-1
Хлор	мг/кг	$< 0,02$		$< 0,03$	ISO 16994
Сера	мг/кг	$< 0,04$	$< 0,05$		ISO 16994
Азот	мг/кг	$< 0,3$	$< 0,5$	< 1	ISO 16948
Свинец	мг/кг	< 10			ISO 16968
Хром	мг/кг	< 10			ISO 16968
Мышьяк	мг/кг	< 1			ISO 16968
Кадмий	мг/кг	$< 0,5$			ISO 16968
Ртуть	мг/кг	$< 0,1$			ISO 16968
Медь	мг/кг	< 10			ISO 16968
Никель	мг/кг	< 10			ISO 16968
Цинк	мг/кг	< 100			ISO 16968

При производстве пеллет допускается добавление примесей для улучшения качества биотоплива, снижения объема выбросов в окружающую среду, повышения эффективности производства, а также для нанесения собственного знака на пеллетах. Рекомендуемый объем добавления примесей – 2 % от общей массы пеллет. Количество примесей при производстве ограничивается 1,8% от общей массы, в то время как количество примесей, внесенных после производства должно ограничиваться 0,2%. В таблице 2 описаны требования для изготовления древесных пеллет согласно стандарту ISO 17225-2.

Таблица 2 – Требования к сырью для изготовления пеллет

EN Plus A1	EN Plus A2	EN Plus B
Стволовая древесина	Дерево целиком без корней	Лес, насаждения и другие виды первичной древесины
Химически не обработанные побочные продукты и отходы деревообработки	Стволовая древесина	Химически не обработанные побочные продукты и отходы деревообработки
	Отходы лесозаготовок	Химически не обработанная древесина, бывшая в употреблении
	Химически не обработанные побочные продукты и отходы деревообработки	

Несмотря на значительное число работ, вопросы комплексной оценки промышленного пеллетирования и моделирования производства древесных пеллет рассмотрены не в полной мере. Необходим комплексный анализ процесса производства древесных пеллет, учитывающий, как технологические особенности промышленных грануляторов, так и характеристики используемого сырья.

Список литературы

1. *Васильев, Н.И.* Пеллеты и топливные брикеты - прогрессивные виды твердого биотоплива / Н. И. Васильев // Энергосбережение. - 2011. - № 4.
2. *Гомонай, М.В.* Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технология, режимы работы: учеб. пособие / М.В. Гомонай. - М.: МГУЛ, 2006.
3. Распоряжение Правительства РС(Я) от 27.03.2020 N 296-р "Об утверждении Стратегии развития лесопромышленного комплекса Республики Саха (Якутия) на 2020 - 2024 годы" – Доступ из справ.-правовой системы Консультант Плюс. – Текст: электронный.
4. *Рязанцев, А.А.* О вопросе изготовления топливных гранул из отходов сельскохозяйственного производства / А.А. Рязанцев, А.Е. Попов // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2018.
5. ENplus, Часть 3 - Требования к качеству гранул, классы качества ENplus®, требования к добавкам, требования к древесному сырью / Версия 3.0, Август 2015

05.13.06

М.В. Слепцова, В.С. ТрофимоваАрктический государственный агротехнологический университет,
Якутск**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЛИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Одна из глобальных проблем человечества на данный момент – истощение природных ресурсов, ведь они не бесконечны, их запас во всем мире ограничен. Растущий дефицит и удорожание топливно-энергетических ресурсов обусловили необходимость проведения первоочередных работ, направленных на их экономию. Затраты на обогрев сооружений достигает 45...55% себестоимости продукции. Основной резерв снижения этих расходов в южных районах страны – активное использование солнечной энергии - гелиоэнергетики. Данная проблема также напрямую касается Якутии, несмотря на его обширные и богатые земли. Так как, в резко-континентальных условиях Республики Саха (Якутия) затрачивается огромное количество теплоэнергии и сжигаемых природных ресурсов на одно лишь отопление, электроэнергию.

В работе представлены основные направления альтернативных источников энергии, более подробно разобрано направление – гелиоэнергетика: потенциал, развитие в мире и РС (Я), ее способы получения. Разработана концепция комбинированной гелиоэлектрической системы тепло- электроснабжения и ГВС, предложен метод повышения ее эффективности.

Ключевые слова: гелиоэлектрическая система, электро- теплоснабжение, горячее водоснабжение, электромагнитный подогреватель, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), гелиоэнергетика, топливно-энергетические ресурсы, ресурсосбережение.

В отличие от механизации полевых работ, осуществляемой, главным образом на базе тракторной энергетики, рациональной основой для механизации стационарных работ на фермах может служить только электроэнергетика. Дальнейшее развитие животноводство немыслимо без комплексной электрификации производственных процессов на фермах, которая характеризуется наиболее полным использованием во всех производственных процессах электроэнергии в рациональном сочетании с теплофикацией и тракторной энергетикой. Применением системы машин, организацией технологического процесса по поточному методу, широкой автоматизацией производственных процессов. Экономическими показателями эффективности комплексной электрификации являются: уменьшение затрат труда на единицу продукции, снижение себестоимости, повышение эффективности техники и систем, улучшение качества сельскохозяйственной продукции.

Одно из перспективных направлений возобновляемой энергетики – солнечная энергетика, которая основана на непосредственном использовании солнечного излучения с целью получения энергии для отопления, электроснабжения и горячего водоснабжения. Такой интерес к солнечной энергетике или же гелиоэнергетике обуславливается тем, что та является неисчерпаемым, экологически безопасным и доступным источником энергии. Ведь солнечная энергия будет дешеветь и уже через несколько лет составит весомую конкуренцию нефти и газу [1].

По данным SolarPowerEurope на 2020 год, солнечная энергетика стала крупнейшим сектором мировой электроэнергетики по объёмам ежегодно привлекаемых инвестиций и вводимых мощностей (табл.1; рис.1). В 2019 году в мире прирост мощностей фотоэлектрической солнечной энергетике был в 2,5 раза выше, чем угольных и газовых вместе взятых. К концу 2019 года глобальная установленная мощность солнечной энергетике превысила 630 ГВт. Доля энергии солнца в выработке мировой электроэнергии составляет сегодня примерно 2,6%[2].

Таблица 1 – Чистый прирост мощностей электроэнергетики по секторам

№	Сектор мировой электроэнергетики	Чистый прирост мощностей, ГВт
1	Солнечная энергетика	117
2	Ветроэнергетика	61
3	Газ	30
4	Уголь	18
5	ГЭС	15
6	Остальные ВИЭ	5
	В общем	246

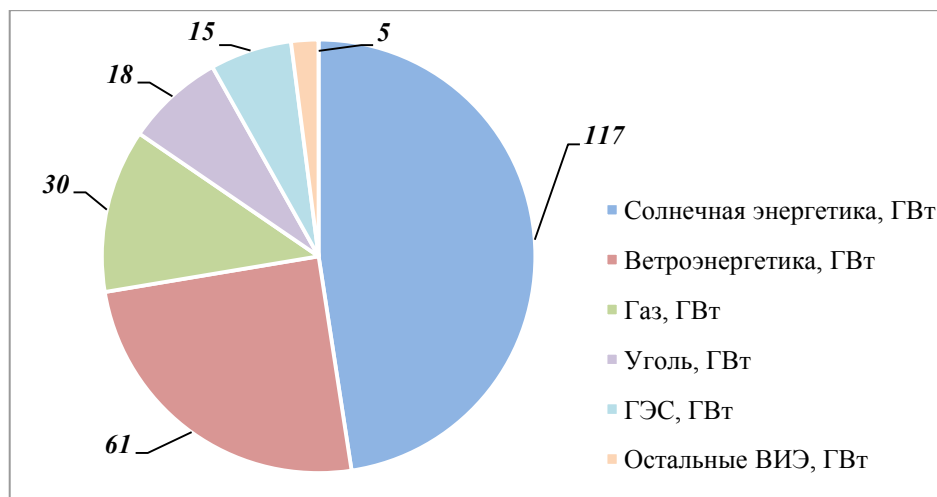


Рис.1 – Чистый прирост мощностей электроэнергетики с мире в 2020 году (ГВт)

Республика Саха (Якутия) также не осталась в стороне от всего этого и постепенно начинает внедрять солнечную энергетику в повседневный быт жителей поселков и деревень. Ведь в Якутии, несмотря на мнения скептиков, солнечная энергетика имеет место быть, так как она находится в выгодном инсоляционном положении. Солнечных дней в году больше 200.

Главным инициатором развития солнечной энергетики в республике является АО «Сахаэнерго». По данным на 2018 год организацией была введена 21 СЭС, общей мощностью 1 616 кВт. Начиная с 2011 года по 2017 год экономия от работающих в этот период СЭС составила 353 тонн дизтоплива, а экономический эффект – 17 484 рублей (без учета СЭС в с. Батагай, мощностью 1 МВт). В 2016 году генерирующее на ВИЭ предприятие РАО ЭС Востока — СЭС в поселке Батагай (Республика Саха) — занесена в книгу Guinness World Records, как самая крупная северная солнечная электростанция в мире. Данная станция была запущенная в режим промышленной эксплуатации второго декабря 2015 года. СЭС села Батагай состоит из трех тысяч трехсот шестидесяти поликристаллических панелей, расположенных в составе поликристаллического массива, насчитывающего одиннадцать рядов на площади в один гектар. Таким образом, Якутия стала единственным на планете регионом, использующим СЭС мощностью в один мегаватт за границей Северного полярного круга.

Для преобразования электрического тока в переменный используют инвертор, а для накопления постоянного тока — аккумулятор, перезарядится или разрядится раньше времени которого не позволяет прибор — контроллер. Принцип действия индуктивно-кондуктивного нагревателя заключается в том, что, переменный ток, проходя по обмотке катушки, образует вокруг нее электромагнитное поле. Если ввести в центр индукционного элемента сердечник из магнитящего металла, то он станет нагреваться от возникающих под воздействием поля вихревых токов. Сам нагревательный элемент носит название индуктора

и является главной частью установки. В отопительных котлах он представляет собой стальную трубу с протекающим внутри теплоносителем.

На рисунке 2 показано схематичное изображение индуктивно-кондуктивного нагревателя и плотность тока в стенках цилиндрической камеры нагрева из алюминия.

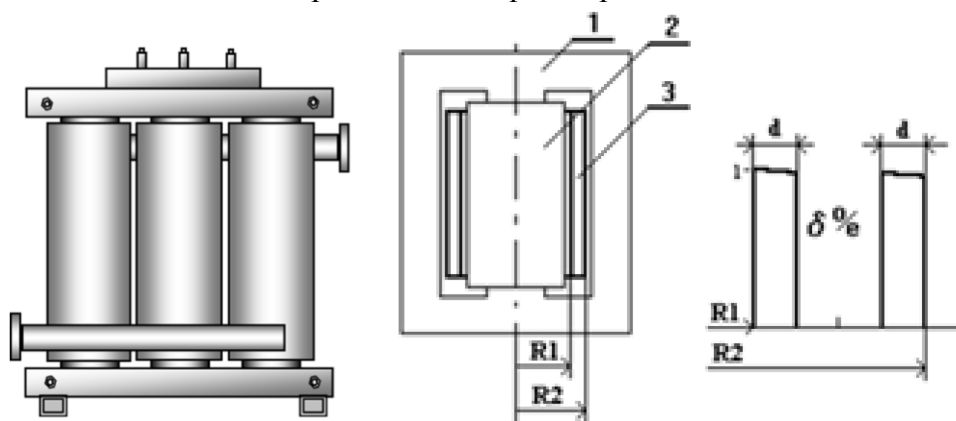


Рис. 2 – Схематичное изображение индуктивно-кондуктивного нагревателя и плотность тока в стенках цилиндрической камеры нагрева из алюминия:

- 1 - сердечник магнитопровода; 2 - первичная обмотка; 3 - цилиндрический камера нагрева;
R1 - внутренний размер; R2 - наружный размер цилиндрической камеры нагрева;
d - толщина стенок

Индуктивно-кондуктивные нагреватели имеют ряд преимуществ перед ТЭНовыми, это – развитая поверхность камеры нагрева, коэффициент мощности устройств на уровне 0,97 – 1,0, сниженная материалоемкость изделия, повышенная надежность функционирования, срок службы соответствует сроку службы обычного трансформатора и достигает 100 000 ч. (это почти в 10 раз больше, чем у ТЭНовых), 2 класс электробезопасности, низкий уровень теплового потока 0,5 - 2 Вт/см² и напряжение прикосновения не более 2 В[3].

Получаемая электроэнергия от солнечных панелей используется в домашнем быту (телевизор, подзарядка техник и т.д.) или накапливается для применения в ночное время (уличное освещение, светильники и т.д.). С индуктивно-кондуктивным нагревателем в комплект идет контроллер, в котором задается желаемая температура в помещении. При обнаружении разницы температур в коллекторе и баке-аккумуляторе контроллер включает циркуляционный насос. Расширительный бак выравнивает давления в системе, колеблющегося вследствие резких перепадов температур.

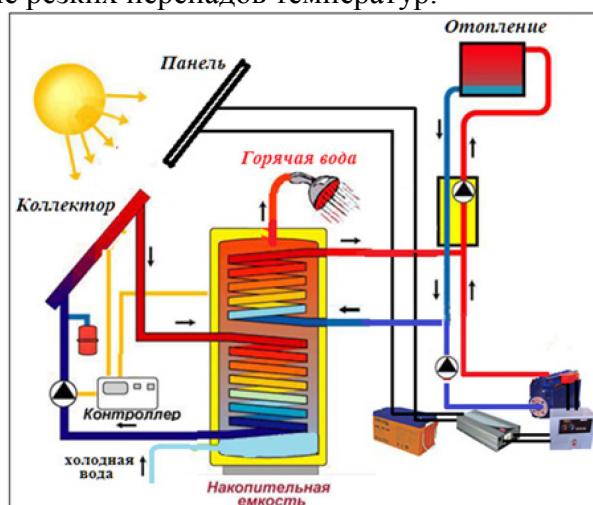


Рис. 3 – Комбинированная гелиоэлектрическая система с индуктивно-кондуктивным нагревателем

Таким образом была повышена эффективность классической гелиоустановки, что дает более значимую экономию на затраты топливно-энергетических ресурсов.

Применение гелиоэлектрической системы отопления – это лишь малая часть энергии Солнца. Но и эта малая часть может сэкономить значительное число топлива и электроэнергии, которые могут иссякнуть в ближайшем будущем.

Список литературы:

1. *Дьяков А.Ф.* Малая энергетика России: проблемы и перспективы. М.: «Энергопрогресс: энергетика», 2003. 128 с.
2. GlobalMarketOutlook 2020-2024 // SolarPowerEurope, 2020
3. *Елишин А.И., Татауров Р.В.* Характеристики индуктивно-кондуктивного нагревателя с составным теплообменником // Сб.: Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: материалы трудов третьей международной научно-технической конференции. – Ч. 2.- Омск: Изд-во Иртышский филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ», 2017. С. 208-209
4. *Виссарионова В.И.* Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов, М.: изд. Дом МЭИ, 2008.
5. *Подосенова О.О.* ВИЭ в Якутии: рушим стереотипы// ООО «Экологический правовой центр «БЕЛЛОНА», 2018
6. *Коноплев П.В.* Модель ветроэнергетической установки / П.В. Коноплев // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве 76 научно-практическая конференция электроэнергетического факультета СтГАУ, 2012. - С. 56-64

05.13.06

¹Н.А. Соловьев д-р техн. наук, ²С.А. Климачев

Оренбургский государственный университет,
¹факультет математики и информационных технологий,
 кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
²Аэрокосмический институт,
 кафедра систем автоматизации производства,
 Оренбург, povtas@mail.osu.ru, sersh-nick@mail.ru

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ УСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА

В работе представлены результаты разработки инструментальных средств исследования закономерностей устранения поверхностных дефектов в процессе производства тонколистового проката при изменении оператором задающих параметров технологического процесса.

Ключевые слова: тонколистовой прокат, поверхностные дефекты, закономерности устранения, задающие параметры.

Развитие технологии холодной обработки цветных металлов давлением определяется повышением требований к готовой продукции, одним из которых становится толщина полосы проката, величина которой превышает потенциальные возможности, заложенные на этапе проектирования стана. В результате этого на поверхности проката вследствие физико-технических свойств цветных металлов возникают дефекты, что влечет за собой рекламации на качество готовой продукции. В [1,2] предложены технические решения по идентификации и распознаванию поверхностных дефектов тонколистового проката цветных металлов на основе средств компьютерного зрения – оптикоэлектронной информационно-измерительной системы (ОЭИИС), которая информирует оператора стана о количестве и типе возникающих дефектов в процессе производства (см. рис. 1).

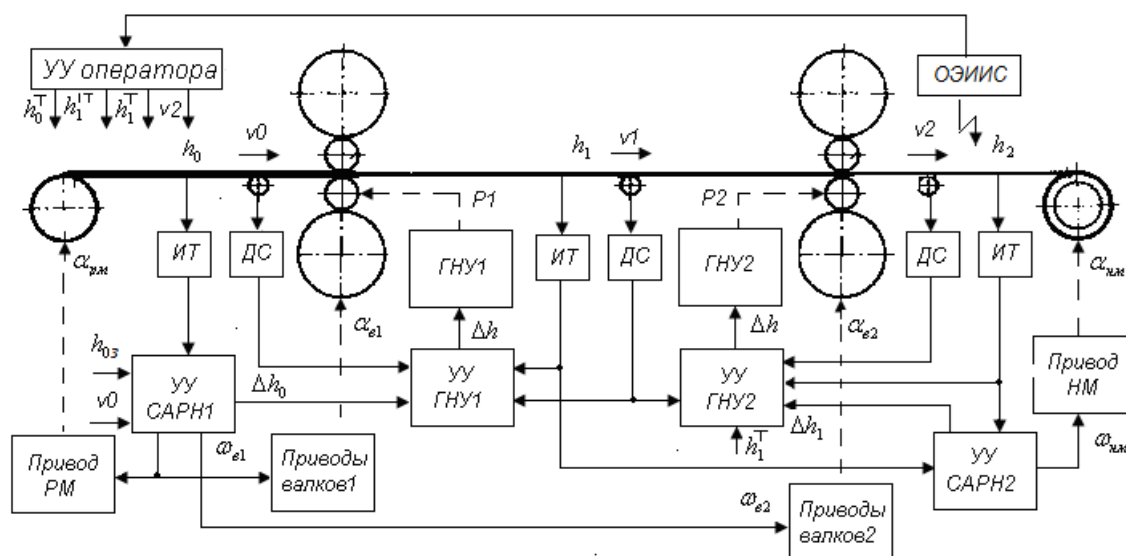


Рис. 1 – АСУТП двухклетового прокатного стана

Оператор с пульта устройства управления (УУ) изменяет задающие параметры технологического процесса проката с учетом результатов выявления дефектов проката ОЭИИС. Однако, изменение регулируемых оператором параметров АСУТП проката оказывает различное влияние на устранение поверхностных дефектов в процессе производства при реверсных прогонах полосы. Возникает задача установить закономерности

устранения поверхностных дефектов в процессе производства при изменении оператором задающих параметров технологического процесса металлопроката. Выдвинута гипотеза, что решение этой задачи возможно на основе моделирования технологического процесса тонколистового проката при возникновении различных типов устранимых дефектов.

Основой АСУТП прокатного стана является система автоматического регулирования толщины (САРТ) полосы, обеспечивающая минимальную продольную разнотолщинность проката за счет изменения раствора валков, скорости полосы и регулирования межклетевых натяжений полосы. Качество работы САРТ определяется отклонением выходной толщины прокатной полосы от заданной. Двухклетевой прокатный стан [3,4] имеет две САРТ с тремя контурами регулирования.

Первый контур регулирования натяжения полосы состоит (см. рис. 1) из измерителя толщины (ИТ) полосы на входе в клеть, устройства управления системой авторегулирования натяжения (УУ САРН), привода первой моталки и приводов валков обеих клеток. Используя в качестве входного сигнала отклонение $\Delta h_0 = h_{0з} - h_0$ толщины полосы на входе в клеть от заданной величины, контур определяет изменение положения нажимных валков через систему управления гидронажимным устройством (УУ ГНУ) первой клетки и созданию необходимого натяжения полосы. Натяжение перед входной клетью регулируется сигналом управления $\omega_{в1}$, воздействующим на привод разматывающей моталки (РМ) и приводы валков входной клетки, которые определяют скорость движения полосы. Натяжение после первой клетки создается приводами валков второй клетки.

Второй контур регулирует толщину по постоянству секундного объема полосы проката на входе и выходе из клетки $v_0 h_0 = v_1 h_1 = v_2 h_2$ с учетом незначительного отклонения ширины полосы.

Контур состоит (см. рис. 1) из датчиков скорости (ДС), установленных на измерительных роликах по обе стороны клетки, и УУ ГНУ. Показания ДС используются для измерения действительного обжатия полосы. Исходя из входной толщины полосы и действительного обжатия, рассчитывается выходная толщина. При отклонении полученного значения выходной толщины от заданного формируется выходной сигнал на перемещение ГНУ с целью компенсации возникшего рассогласования.

Исходя из того, что выходная скорость v_2 и толщина проката h_2 – заданные величины, скорость в остальных клетях рассчитывается:

$$v_0 = v_2 h_2 / h_0, v_1 = v_2 h_2 / h_1. \quad (1)$$

Для перехода к скоростям валков по клетям выражение (1) можно привести к виду (2), используя определение опережения $s = \frac{v-v_0}{v_0}$ [3,4], где v_0 – круговая скорость валков, v – скорость выхода полосы из валков.

$$h_1 v_{в1} (1 + s_1) = h_2 v_{в2} (1 + s_2). \quad (2)$$

Третий контур регулирует толщину полосы по отклонению, стабилизируя усилия проката пропорционально средней составляющей требуемого обжатия. Входным сигналом является значение толщины полосы на выходе первой клетки h_1 . В случае отклонения измеренного значения от заданного формируется сигнал коррекции регулятору, устраняющему рассогласование с помощью электромеханического нажимного устройства (ЭНУ).

Модель САРТ прокатного стана формируется из моделей рассмотренных контуров регулирования. В качестве входных данных для построения модели контура регулирования натяжения используется толщина заготовки полосы проката h_0 , линейная скорость полосы v_2 и толщина полосы h_2 на выходе второй клетки, относительный коэффициент обжатия по одной из клеток $K_{об_i}$ и передаточные функции контуров.

Контур регулирования скорости можно представить инерционным звеном с передаточной функций $W_{пв_i}(p) = \frac{v_{iп}}{v_i} = \frac{K_{пв_i}}{T_{пв_i} p + 1}$, где $K_{пв_i}$, $T_{пв_i}$ – коэффициенты передачи и постоянные времени контура регулирования скоростей i -ой клетки, $v_{iп}$ – скорость движения полосы в i -й клетки, v_i – скорость движения полосы до i -й клетки.

Учитывая динамику приводов валков и нажимных устройств, аналитическую связь между толщиной полосы проката после первой клетки и задающими параметрами УУ оператора, а также параметрами клетки можно выразить, представив толщину полосы h_{1n} в виде суммы постоянной h_{1c} и переменной Δh_1 составляющих [3,4]. При этом h_{1c} складывается из текущего значения раствора валков S_0 и отношения силы P воздействия ЭНУ к модулю жесткости клетки M_k вида $h_{1c} = S_0 + \frac{P}{M_k}$.

Переменная составляющая Δh_1 рассчитывается из разности $\Delta S = S_0 - S_{0_3}$ текущей (3) и заданной ширины (4) раствора валков и отношения силы ΔP воздействия ГНУ к модулю жесткости клетки M_k - $\Delta h_1 = \Delta S + \frac{\Delta P}{M_k}$.

$$S_0 = h_1 K_s - h_0 \cdot \frac{M_{\Pi}}{M_k}, \quad (3)$$

где K_s – передаточный коэффициент, определяющий связь между перемещением валков и изменением конечной толщины полосы; M_{Π} – модуль жесткости полосы.

$$S_{0_3} = h_1 K_s - h_{0_3} \cdot \frac{M_{\Pi}}{M_k}. \quad (4)$$

Тогда силу воздействия ЭНУ P и ГНУ ΔP можно представить выражениями (5) и (6) соответственно.

$$P = (h_1 - S_0) M_k W_{\text{ЭНУ}}(p), \quad (5)$$

где передаточная функция ЭНУ $W_{\text{ЭНУ}}(p) = \frac{K_{\text{ЭНУ}}}{p(T_{\text{ЭНУ}}p + 1)}$.

$$\Delta P = (\Delta h_1 - \Delta S) M_k W_{\text{ГНУ}}(p), \quad (6)$$

где передаточная функция ГНУ $W_{\text{ГНУ}}(p) = \frac{K_{\text{ГНУ}}}{p(T_{\text{ГНУ}}p + 1)}$.

Модель подката (заготовки) предлагается имитировать колебательным процессом $h_{0_3} = h_0 + \Delta h_0 \cdot (\sin(\omega_1 l + \varphi_1) + \sin(\omega_2 l + \varphi_2))$.

На рисунке 2 представлен инструментарий моделирования для определения закономерностей управления прокатным станом в условиях возникновения поверхностных дефектов.

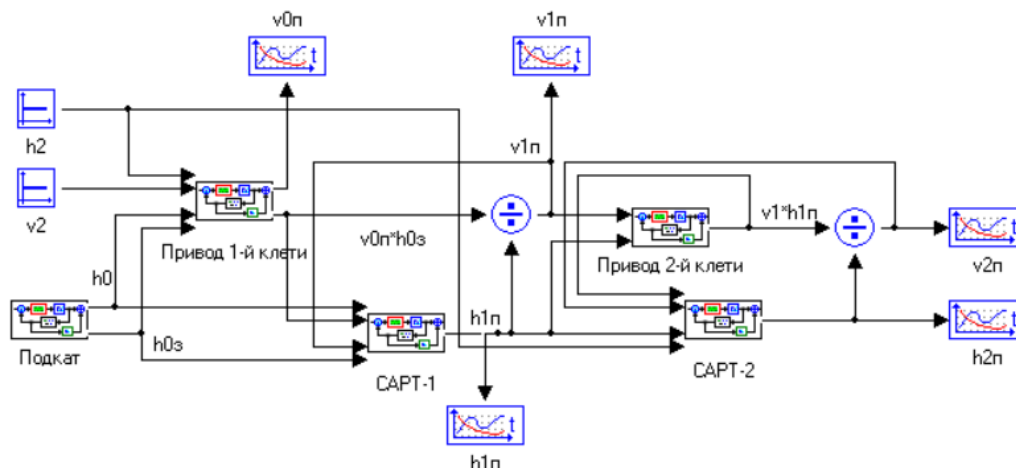


Рис. 2 – Модель технологических процессов двухклеточного стана

Таким образом, предложенный моделирующий аппарат позволяет исследовать закономерности устранения поверхностных дефектов в процессе производства при изменении задающих параметров технологического процесса металлопроката. Результаты исследований становятся основой для построения средств поддержки принятия решений оператора прокатного стана в условиях возникновения поверхностных дефектов при переходе к тонколистовому прокату.

Список литературы

1. Бугаев, Д.П. Развитие АСУТП прокатного стана на основе выявления поверхностных дефектов металла методом вейвлет-преобразований видеоизображений /Д.П. Бугаев, Н.А. Соловьев //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. – С. 180-184.
2. Kuzmin M.I. System of Computer Vision for Cold-Rolled Metal Quality Control / V. I. Batischev, M. I. Kuzmin, A. M. Pischukhin, N. A. Solovyov //International Review of Automatic Control – 2016. – Vol. 9, no. 4. – P. 259-263.
3. Рудской, А.И. Теория и технология прокатного производства: Учеб. пособие / А.И. Рудской, В.А. Лунев – СПб.: Наука, 2008. – 527 с.
4. Питкин, А.Н. Автоматизированная система управления технологическим процессом реверсивного стана «КВАРТО 400 ŠKODA» /С.М. Браун, С.М. Вахрушев, А.Н., Питкин // Цветные металлы, 2004, №3, 85-88.

05.13.06

¹В.В. Черкашин, ¹Т.А. Петрова, ²И.И. Саввинов¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Арктический государственный институт культуры и искусств,²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Арктический государственный агротехнологический университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ТРАДИЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ОБУЧЕНИЕМ

Рассматривается понятие «электронное обучение», его особенности и отличия от традиционного обучения. Также анализируется понятие неявного знания, и оно выступает в качестве параметра, который определяет возможность замены традиционного обучения электронным. Рассматриваются следующие типы электронного обучения в качестве альтернативы традиционному: локальное электронное обучение (электронное самообучение или самоуправляемое онлайн обучение), два вида дистанционного электронного обучения, управляемого преподавателем асинхронно, дистанционное электронное обучение в режиме реального времени и электронное обучение с использованием различных ресурсов в интернете и образовательных платформах.

Ключевые слова: электронное обучение, виды электронного обучения, традиционное обучение, система образования, информатизация.

Актуальность использования дистанционных технологий в системе образования отражает потребности социума в совершенствовании форм обучения, прежде всего, заочного, реализации современных методов обучения с опорой на самостоятельность обучающегося, предоставлении вариативных образовательных услуг и определяется необходимостью разработки и описания педагогических требований к организации дистанционного образования. Умение работать в цифровой среде в ближайшем будущем будет столь же востребовано, как способность писать и читать. Цифровая грамотность помогает создавать, понимать и использовать информацию, это набор знаний, умений и навыков, которые необходимы для жизни в современном мире. Благодаря развитию электронных технологий сейчас можно получить знания, не выходя из дома. Использование информационных средств обучения помогает учителям рационально организовывать процесс обучения, освобождает их от механических операций по разработке учебного материала, упрощает процедуру контроля учащихся. Введение технологий дистанционного обучения в учебный процесс поможет решить проблему оперативного использования новых знаний, повысить информационную обеспеченность учебного процесса, дать учащимся доступ к общению с выдающимися учеными, позволить виртуальный выход в музеи, библиотеки, парки и другие ранее недоступные или малодоступные места.

Новые стандарты ФГОС предписывают вузу иметь электронную информационно-образовательную среду, а именно в приказе Минобрнауки России от 12.11.2015 N 1169 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлениям подготовки». Каждый студент в течение всего срока обучения должен быть обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к одной или нескольким электронно-библиотечным системам (ЭБС) и к электронной информационно-образовательной среде организации (ЭИОС)[1]. Согласно стандарту, ЭИОС должна обеспечивать доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин, практик, к изданиям электронных библиотечных систем (ЭБС) и электронным образовательным ресурсам (Moodle и т.д.), указанным в рабочих программах; хранение и систематизацию оценок или же электронный табель, полученных обучающимися за все время обучения;

проведение всех видов занятий, процедур оценки результатов обучения, реализация которых предусмотрена с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий; формирование электронного портфолио достижений обучающегося; возможность общения между студентами и преподавателями в рамках электронной информационно-образовательной среды [2]. Целью разработки и внедрения ЭУМК является формирование единой электронной информационно-образовательной среды через систему и совокупность всех учебных, учебно-методических и других материалов, авторских наработок преподавателей и сотрудников Университета, а также поддержка учебного процесса с использованием дистанционных образовательных технологий по всем формам получения образования, в том числе для повышения квалификации специалистов по дополнительным профессиональным образовательным программам.

Реализация ЭУМК позволит решить следующие задачи:

- обеспечение учебного процесса учебными, учебно-методическими, справочными и другими материалами, повышающими качество подготовки специалистов, их систематизация и каталогизация, включение в учебный процесс;
- реализация требований ФГОС ВПО;
- повышение эффективности управления самостоятельной работой студентов;
- реализация балльно-рейтинговой системы оценки результатов обучения студентов;
- создание условий для внедрения в образовательный процесс и использования ДОТ, формирования системы электронного тестирования в Университете;
- создание условий по совершенствованию учебно-методической базы Университета в электронном каталоге библиотеки Университета.

В Положении определены требования к соблюдению авторских прав, структуре, требованиям к содержанию, технической реализации и размещению компонентов ЭУМК, а также процедура разработки, утверждения, регистрации и изменения, ответственность сторон. ЭУМК по учебной дисциплине в полной мере может решить задачу формирования активной, творчески направленной личности специалиста, если преподаватель при его разработке не просто систематизирует содержание учебного материала в качестве «электронной книги» или лекции, а смоделирует электронную образовательную среду, смещая акцент с изучения конкретного материала к предоставлению обучающимся права выбора того, что и как изучать. Тем самым, усиливается мотивация освоения будущей профессии, создаются условия для развития способности самостоятельно принимать решения, справляться с ситуацией, формируются качества ответственности и самоорганизации. Использование системы Moodle в образовательном процессе позволяет формировать у обучающихся способность к самостоятельному поиску, к постоянному, непрерывному самообразованию, стремление к творческому использованию знаний на практике, что обеспечивает более высокое качество освоения содержания учебной дисциплины при более рациональном использовании времени обучающегося. Таким образом, систему Moodle можно рассматривать как специально организованную учебную деятельность, способствующую развитию компетенций обучающихся, прежде всего, развитие аналитических, проектировочных, коммуникативных способностей (готовность к поиску, созданию и применению новшеств в образовательном процессе, способность осуществлять взаимодействие в интерактивном режиме, применять индивидуализированные, деятельностно и личностно ориентированные технологии и методики обучения и др.) [3].

Как отмечают сами студенты, сочетание аудиторных занятий с дистанционными в системе Moodle при изучении учебной дисциплины «Информатика» позволяет им более комфортно чувствовать себя («можно выполнить задание в удобное время»), более ответственно относиться к выполнению учебной работы («можно заработать дополнительные баллы для рейтинга»), проявлять активность в приобретении новых знаний («интересно самому поискать ответы и сравнить их с ответами сокурсников»), испытывать успех и удовольствие от работы и общения с сокурсниками («результат и оценка видны сразу», «можно поработать над ошибками самому или с друзьями») [2-4].

Таким образом, конкуренцию традиционному обучению могут составить первый вид дистанционного асинхронно управляемого обучения и дистанционное электронное обучение в режиме реального времени. В таких видах электронного обучения происходит взаимодействие между преподавателем и студентами, и существует канал передачи неявного знания.

Список литературы

1. Андреев А.А., Кинелев В.Г., Краснова Г.А. и др. Преподавание в сети Интернет: Учеб. пособие / Отв. ред. В.И.Солдаткин. – М.: Высшая школа, 2004. – 516с.
2. Бичева И.Б., Китов А.Г. О готовности преподавателей к инновационным преобразованиям в учебно-профессиональной деятельности. Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/> Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь.
3. Бичева И.Б. Использование системы Moodle как средства повышения эффективности образовательной деятельности // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 5. Ч. 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/05/46485> (дата обращения: 13.09.2020).
4. Беспалько, В.П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия) / В.П. Беспалько. М.: Изд-во МПСИ, – 2008. – 352 с.
5. Ваганова О.И., Хижная А.В., Костылева Е.А., Костылев Д.С. Портфолио как инструмент оценки достижений студентов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4 (часть 4)

05.13.06

Т.А. Чуваткина, О.Ю. Коваленко, Ю.А. Дашкина, В.С. Русайкин, А.В. Казаков

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»,
институт электроники и светотехники,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
Саранск, tanya.alex.ch@gmail.com, dashkinayua@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП

В данной работе приведен метод измерения потока излучения бактерицидных ламп и его основные недостатки. Представлены результаты измерения потока излучения ламп с целью выявления наличия систематической погрешности результатов измерения. Для исключения большинства недостатков и с целью автоматизации процесса контроля параметров бактерицидных ламп, была разработана измерительная установка, блок-схема и основные компоненты которой представлены в работе.

Ключевые слова: бактерицидная лампа, поток излучения, метод измерения, измерительная установка, автоматизация.

Бактерицидные лампы одни из самых распространённых средств обеззараживания поверхностей, воздуха помещений, а также других сред. Основными эксплуатационными параметрами данных ламп являются: ток и напряжение на лампе, потребляемая мощность комплекта лампы с ЭПРА; поток излучения. В ходе производства и выпуска в продажу перечисленные выше параметры контролируются в обязательном порядке.

В настоящее время, измерение потока излучения проводятся по методу, описанному в [1]. Данный метод измерения имеет ряд существенных недостатков, таких как: может быть применен только для линейных ламп; не учитывает пространственное распределение потока излучения [2]; необходимость в помещении, обеспечивающем расположение лампы от приемника с учетом закона квадратов расстояний; наличие систематической составляющей погрешности измерения от влияния рассеянного излучения [3]; наличие систематической составляющей погрешности измерения от влияния спектральной чувствительности радиометра.

Для подтверждения наличие систематической составляющей погрешности измерения от влияния спектральной чувствительности радиометра были проведены измерения потока излучения бактерицидных ламп TUV PL-L 95 W HO/4P мощностью 95 Вт по методу [1]. В качестве средств измерения были использованы следующие: ТКА ПКМ (13), ILT 1700, RM-12.

При измерениях соблюдались условия: расстояние от лампы до приемника излучения 1 м; положение ламп цоколем вниз; время стабилизации лампы 15 минут. Результаты измерения представлены в таблице 1. Отклонения результатов измерений ТКА ПКМ (13) от ILT 1700 и RM-12 представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты измерения параметров ламп

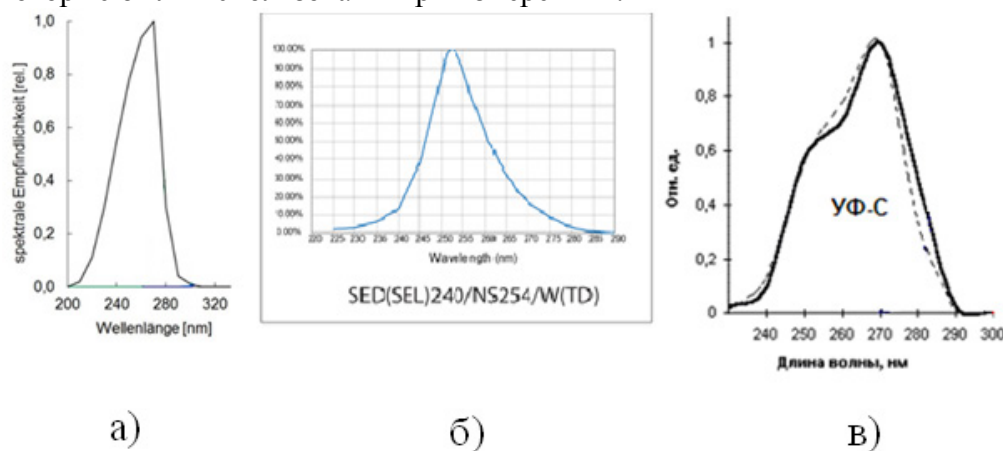
Наименование параметра	Значения								
	ТКА ПКМ (13)			ILT 1700			RM-12		
	№-№ ламп								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Поток излучения, Вт	24,25	20,86	26,71	27,02	23,22	29,39	27,74	23,63	29,80

Таблица 2 – Отклонения результатов измерений ТКА ПКМ (13) от ILT 1700 и RM-12

№-№ ламп	Отклонение результатов измерений ILT 1700 и RM-12 от результатов измерений ТКА ПКМ (13), %	
	RM-12	ILT 1700
1	+ 14,4	+ 11,4
2	+ 13,3	+ 11,3
3	+ 11,6	+ 10,0

Проанализировав данные можно сделать вывод о том, что при измерении параметров ламп ТКА ПКМ (13) происходит занижение параметров в среднем на 12 %. Связанно это скорее всего с относительной спектральной чувствительностью данного прибора в области УФ – С.

На рис. 1 представлены относительные спектральные чувствительности средств измерений, которые были использованы при измерениях.



а) радиометра RM-12; б) радиометра ILT 1700;
в) радиометр ТКА ПКМ (13)

Рис. 1 – Относительная спектральная чувствительность

Из них видно, что радиометры ILT 1700 и RM-12 имеют максимум в длине волны 254 нм, которая и является основной для измеряемых объектов. В связи с чем, можно сделать вывод о возможности расчета и внесения поправки с целью исключения систематической составляющей погрешности измерения и повышения уровня точности измерений.

На практике измерение потока излучения проводится на измерительных схемах, включающих в себя измерители электрических параметров и оптическую часть для измерения потока излучения. Такие схемы являются не автоматизированными и требуют дополнительных операций по обработке результатов измерения - расчетов потока излучения. Для исключения большинства вышеописанных недостатков и с целью автоматизации процесса контроля параметров бактерицидных ламп, была разработана измерительная установка блок-схема, которой приведена на рис. 2.

Так как поток излучения зависит от электрических параметров лампы, то в качестве системы питания был выбран стабилизированный источник переменного тока IT7326H с нестабильностью выходных параметров менее 0,5 % и встроенным коммуникационным интерфейсом связи RS-232 и USB.

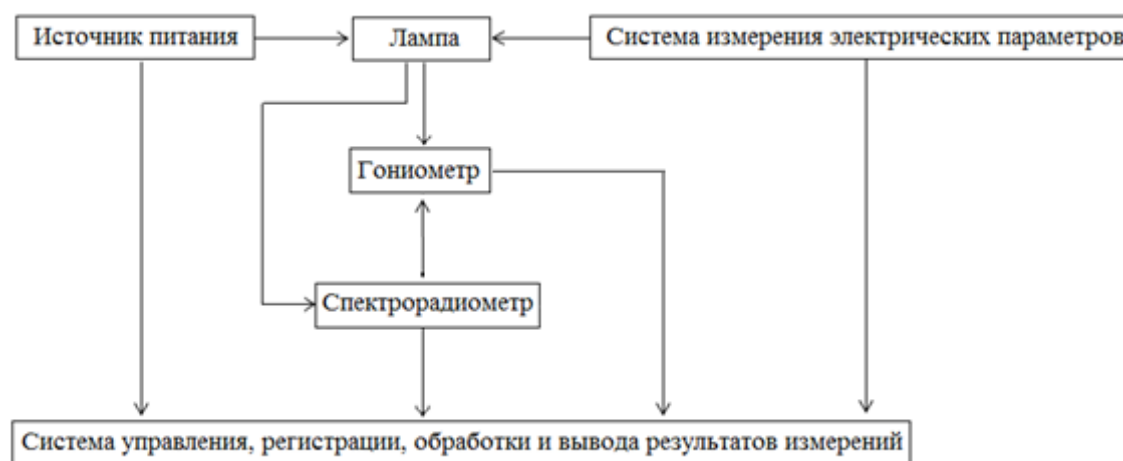


Рис. 2 – Блок-схема измерительной установки

Система измерения электрических параметров представлена: измерителем электрической мощности GPM-8212, анализатором мощности YOKOGAWA PZ4000, токовыми клещами Chauvin Arnoux C 160.

Измеритель электрической мощности GPM-8212 используется для измерения потребляющей мощности комплекта лампы с ЭПРА. Анализатор мощности YOKOGAWA PZ4000 используется для оценки напряжения и тока исследуемых ламп на требуемой частоте. Прямое измерение силы тока лампы невозможно, так как с выходных контактов ЭПРА стекает сумма разрядного тока лампы и тока накала электрода, поэтому для измерения тока разряда используются токовые клещи Chauvin Arnoux C 160. Токовые клещи подсоединяются к анализатору мощности и сквозь них пропускают два провода, ведущих к одному из электродов лампы. При таком подключении наведенное напряжение на токовых клещах зависит от разности токов, по одному из которых течет ток накала электрода, по другому - суммарный ток, и пропорционально току лампы. Напряжение лампы измеряется подключением электродов лампы ко входам анализатора мощности.

Исследуемая лампа устанавливается на гониометр с учетом требований к юстировке при измерении параметров гониофотометрическим методом. В качестве типа гониометра был выбран ближнепольный с системой фотометрирования C, γ . Так как при изменении положения лампы от рабочего происходит изменение пространственного распределение потока излучения, то данный тип гониометра является наиболее предпочтительным для измерения потока излучения. По азимутальной плоскости γ вращение производится от 0 до 360°, а по полярной плоскости C – от 0 до 180°. Минимальный угловой шаг вращения составляет 0,5°.

В качестве приемника излучения на одну из рам гониометра установлен спектро радиометр Specbos 1211 UV-2 со спектральным диапазоном от 230 до 1000 нм.

Система управления регистрации, обработки и вывода результатов измерения представлена персональным компьютером (далее ПК) с программным обеспечением. К ПК через коммуникационные интерфейсы связи подключаются источник питания, СИ электрических параметров, гониометр и спектро радиометр. Управление, регистрация, обработка и вывод результатов осуществляется через среду разработки LabVIEW. При этом реализовано задание напряжения питания комплекта лампы с ЭПРА, углов в плоскостях C, γ и спектрального диапазона спектро радиометра, расчет потока излучения и формирование протокола измерений с включением электрических параметров, потока излучения и пространственного распределения излучения.

Расчет потока излучения осуществляется по формуле:

$$\Phi_e = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi E_{ei} l^2 \sin\gamma d\gamma dC \quad (1)$$

где E_{ei} – средняя энергетическая освещенность пояса;

l – расстояние от источника излучения до приемника излучения;

γ, C – углы в системе фотометрирования C, γ .

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод о том, что предложенная измерительная установка позволяет учесть пространственное распределение потока излучения и увеличить точность измерения. Кроме того, данная измерительная установка позволяет исключить непосредственное вредное воздействие излучения на оператора.

Список литературы

1. Lawal O. et al., Proposed Method for Measurement of Output of Monochromatic (254 nm) Low Pressure UV Lamps/ Lawal O. // IUVA News. – 2008. – V.10. №1. – P. 14-17.
2. Chuvatkina T.A. About Correct Measurement of Bactericidal Lamp Radiation Flow / Chuvatkina T. A., Kazakov A. V., Ashryatov A. A. // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. – 2019. - V.16. № 7. – P. 2835 – 2838.
3. Чуваткина Т.А. Особенности измерения потока излучения бактерицидных ламп / Чуваткина Т.А. // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань. - 2015. – № 3. – С. 235-237.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)**

05.13.11

¹И.К. Алайцев, ²Т.В. Данилова канд. физ.-мат. наук,
³А.О. Мантуров канд. физ.-мат. наук, ⁴Г.О. Мареев д-р мед. наук

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,

¹Институт электронной техники и приборостроения,
кафедра системотехника и управление в технических системах,

²Институт прикладных информационных технологий,
кафедра информационная безопасность автоматизированных систем,

³Поволжский институт управления имени П.А. Столыпина,
факультет государственного и муниципального управления,

кафедра прикладной информатики и информационных технологий в управлении,

⁴Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского,
факультет стоматологии, кафедра оториноларингологии,

alaitsev@gmail.com, tvdan521@gmail.com, manturovao@gmail.com, drmareev@mail.ru

СИМУЛЯЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭПИДУРАЛЬНОГО ПРОКОЛА

При выполнении эпидуральной пункции необходимо умение точно контролировать движение иглы. Для безопасной отработки этого навыка можно использовать виртуальные обучающие тренажеры, симулирующие не только визуальную сцену пункции, но и сопутствующие тактильные ощущения. В статье представлена методика симуляции тактильных ощущений, сопровождающих выполнение эпидурального прокола.

Ключевые слова: *виртуальная реальность, эпидуральная пункция, анатомия, симуляционное обучение, тактильная обратная связь.*

Симуляционное обучение является эффективным методом подготовки медицинских кадров, позволяющим отрабатывать практические навыки манипуляций на тренажерах без участия пациентов. Такой подход наиболее актуален в том случае, когда речь идет о сложных травмоопасных манипуляциях, таких как эпидуральный прокол [1].

Современные технологии виртуальной реальности позволяют разработать высокореалистичные симуляторы виртуального прокола, которые воссоздают для обучаемого не только визуальную картину выполнения манипуляции, но также соответствующие тактильные ощущения. Обычно такие симуляторы состоят из гаптик-устройства, связанного с реальным инструментом (иглой) и создающего тактильную обратную связь, и экрана, визуализирующего сцену манипуляции (спины и пункционной иглы). Гаптик-устройство и экран объединены управляющим компьютером [2]. Качество симуляции в таких системах существенно зависит от компьютерного моделирования симулируемых биологических структур и процессов. В данной работе описано моделирование силы обратной связи при выполнении эпидурального прокола.

Следует отметить, что участок спины для которого выполняется эпидуральный прокол рассматривается в данной работе как некоторая многослойная структура, в которой каждый из слоев симулирует некоторую биологическую ткань (кожу, мышцы, жировую ткань и т.д.). Параметры каждого слоя влияют на то, как происходит взаимодействие со всей моделью. Подробное описание этой анатомической модели участка спины для эпидурального симулятора представлено в [3].

В качестве основы для моделирования тактильной обратной связи – силы сопротивления тканей при проколе, были использованы модели, представленные в [4, 5]. Согласно им, сила обратной связи в каждый момент времени состоит из нескольких компонентов:

- силы сопротивления слоя, на поверхности которого находится игла (без его прокола);
- силы резания прокола текущего слоя, через который проходит игла, но который ещё не пройден насквозь;
- силы трения между иглой и проткнутыми насквозь слоями тканей.

Важным аспектом является увеличение сопротивления по мере углубления в прокалываемый объект.

Работа с гапстик-устройствами и базовый гапстик-рендеринг реализованы с использованием программной библиотеки Chai3D. Поскольку Chai3D не позволяет создавать многослойные объекты, для корректного моделирования биологических структур спины были разработаны следующие классы:

- Класс многослойного инструмента `MultiLayerTool`, являющийся базовым для конкретных типов многослойных инструментов, реализующий логику работы инструмента, справедливую для взаимодействия с обычными однослойными объектами.
- Класс `MultiLayerObject`, являющийся базовым для реализации многослойных объектов.

На рис.1 показана соответствующая UML-диаграмма классов.

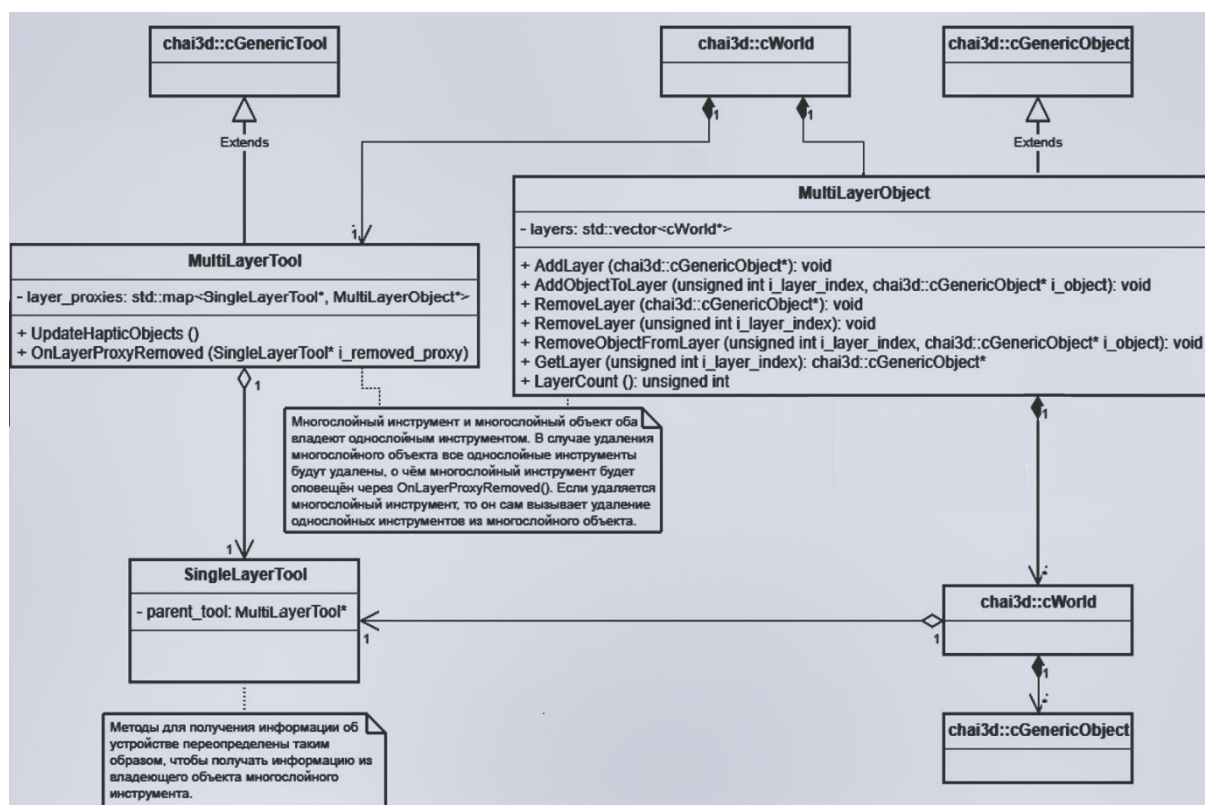


Рис. 1 – Концептуальная UML диаграмма классов реализации многослойных объектов

При имитации прокола необходимо учитывать несколько параметров:

- жёсткость каждого слоя для гаптик-рендеринга поверхности;
- силу прокола каждого слоя для определения момента вхождения иглы в данный слой;
- силу резания прокола для создания усилия во время прохождения иглы через слой;
- силу сопротивления прохождения иглы для учёта на всех этапах прохождения иглы через слой.

Помимо создания силовой обратной связи, необходимо ограничивать изменение ориентации иглы и её тангенциальное смещение после вхождения её в виртуальную анатомическую модель. Схематически применённое решение изображено на рис. 2.

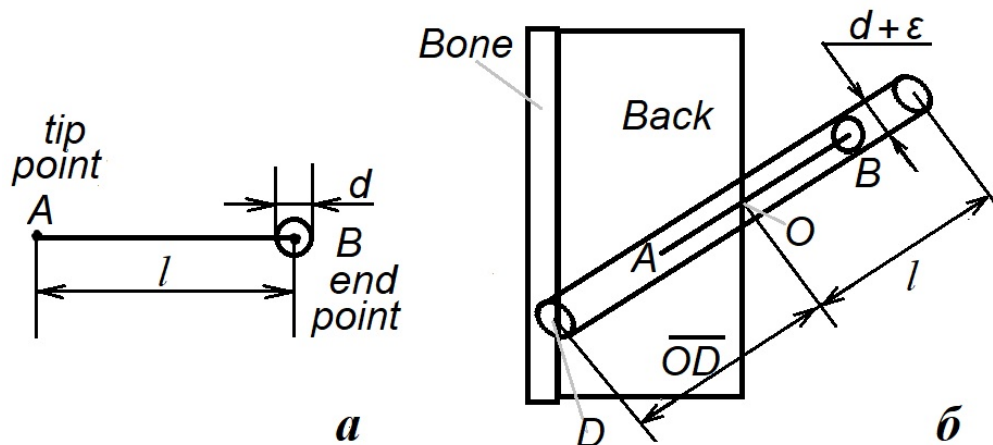


Рис. 2 – Схема ограничения подвижности иглы при выполнении прокола

Игла длиной l и диаметром d "моделируется" при помощи 2 гаптик-точек (рис. 3а):

- острое иглы (*tip point*, A) - точка с нулевым, либо крайне малым (десять доли миллиметра) диаметром;
- конец иглы противоположный острию (*end point*, B) – сфера диаметр которой – d , равен диаметру иглы.

На рис. 3б показана схема прокола участка спины, состоящего из мягких тканей – *Back* и костной структуры – *Bone*. В исходный момент прокалывания верхнего слоя мягких тканей необходимо создать значительное трение между иглой и кожей до тех пор, пока кожа не проколота. При этом, перемещать иглу можно, но чем сильнее она прижата, тем сложнее это делать.

После прокалывания кожи фиксируется точка выполнения прокола – O , и определяется точка, в которой игла упрется в костную структуру, если будет перемещаться в заданном направлении – D .

Вокруг иглы размещается цилиндр, диаметр которого чуть больше диаметра иглы – $d + \epsilon$. Небольшая разница необходима для того, чтобы можно было перемещать иглу вдоль оси цилиндра. Длина цилиндра равна сумме длины иглы – l и модуля вектора OD . Длина может быть несколько меньше, если необходимо позволить изменение ориентации иглы при некоторой минимальной глубине прокола (например, если проколота только кожа).

Жёсткость цилиндра такова, что он ограничивает перемещение и изменение ориентации иглы после выполнения прокола, но не слишком велика, чтобы не возникало перерегулирования. Жёсткость цилиндра может изменяться по мере углубления.

Точки входа в каждый слой также фиксируются для определения глубины в пределах данного слоя. Поскольку угол иглы фиксирован, имеется возможность вычислить все точки пересечения один раз, в момент выполнения прокола. Вычисление точек производится следующим образом:

1. В момент прокола первого слоя фиксируется точка входа в него и направление иглы.
2. Выполняется расчёт столкновений полигонов модели с отрезком прямой, заданной точкой входа в первый слой и вектором направления иглы. Концевые точки вычислены как (положение конца иглы $\pm$ удвоенная длина иглы). Такая формула позволяет гарантировать пересечение со всеми слоями объекта.
3. Обнаружение столкновений производится 2 раза: один раз в прямом, второй раз в обратном направлении. Это позволяет определить точки входа и выхода в каждом слое модели.

В процессе выполнения прокола для каждого из слоёв отслеживается текущая глубина прокола данного слоя. Это позволяет имитировать силу резания прокола только тогда, когда фактически происходит рассечение тканей. Если отвести иглу назад, не вынимая её из модели, пользователь будет ощущать только трение иглы о стенки канала введения иглы.

Если после этого продолжить введение иглы, то до тех пор, пока игла не пройдет ранее пройденный в данном слое путь, будет ощущаться лишь трение, после же достижения прежней глубины вновь будет активирована имитация силы резания прокола. Если игла полностью извлечена, то вся информация о прогрессе выполнения прокола удаляется.

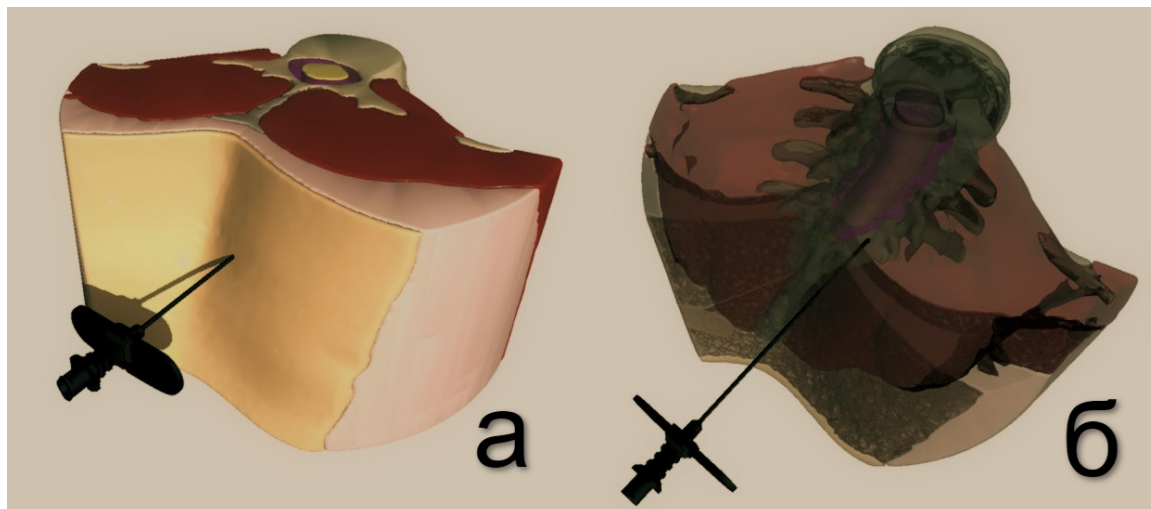


Рис. 3 – Визуализация эпидурального прокола: а - обычный режим, б - исследовательский режим

На рис. 3 показана визуализация эпидурального прокола. Система поддерживает два режима визуализации модели: обычный (рис. 3а), в котором все части анатомической модели непрозрачны, и исследовательский (рис 3б), в котором все слои модели полупрозрачны для обеспечения возможности изучения траектории прохождения иглы.

Для оценки корректности моделирования обратной связи при симуляции эпидурального прокола, в созданной системе был выполнен прокол, в ходе которого записывались значения силы обратной связи и соответствующая глубина погружения иглы в модель. Графики зависимостей указанных значений от времени показаны на рис. 4: оранжевым цветом – глубина погружения, синим – модуль силы.

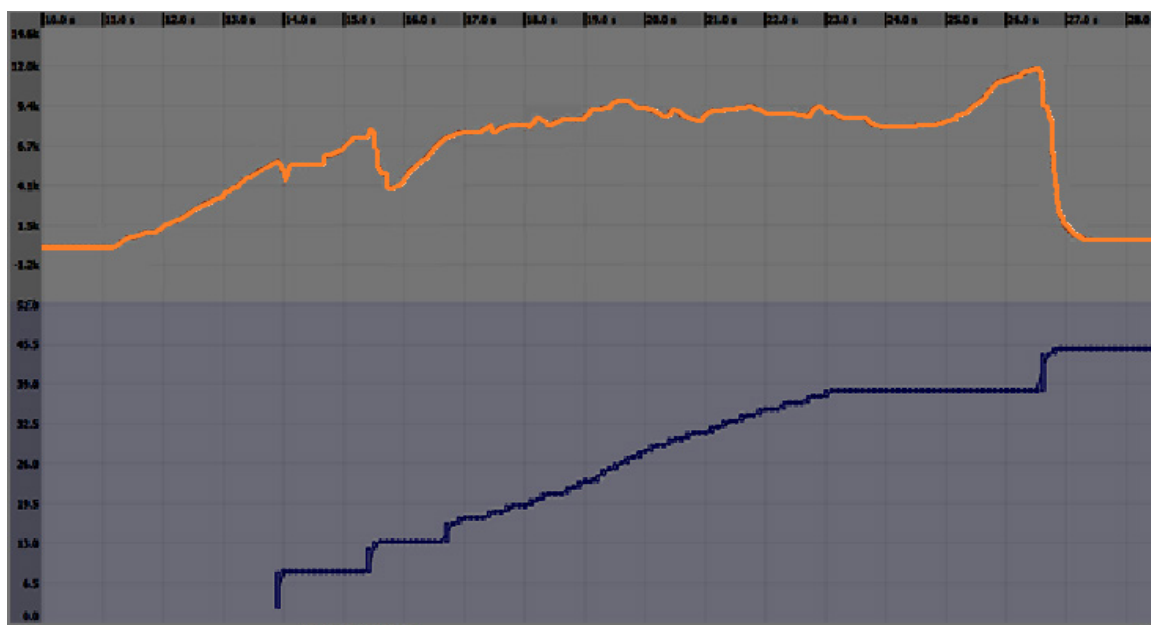


Рис. 4 – Зависимости силы обратной связи (синяя) и глубины погружения иглы в модель (оранжевая) от времени

Для сравнения на рис. 5 показана зависимость, описанная в [6], – силовой профиль эпидурального прокола свиной туши.



Рис. 5 – Силовой профиль эпидурального прокола свиной туши

Следует отметить, что общий профиль графиков в значительной степени похожи. После начального соприкосновения с кожей происходят следующие процессы:

- нарастание силы сопротивления;
- небольшое падение после прокола текущего слоя тканей;
- постепенное нарастание сопротивления по мере углубления.

Такая картина наблюдается на каждой границе слоёв тканей. Можно видеть ключевые пики – пронзание межпозвонковой связки вблизи начала графика и жёлтой связки в конце графика, после которого происходит резкое падение давления.

Список литературы

1. Kopacz D.J., Neal J.M., Pollock J.E. The regional anesthesia «learning curve». What is the minimum number of epidural and spinal blocks to reach consistency? // *Reg Anesth.* 1996. Т. 21. № 3. С. 182–190.
2. Vaughan N., Dubey V.N., Wee M.Y.K., and Isaacs R. A review of epidural simulators: Where are we today? // *Medical Engineering & Physics.* 2013. Т. 35. № 9. С. 1235–1250.
3. Алайцев И.К., Данилова Т.В., Мантуров А.О., Мареев Г.О., Создание анатомической модели участка спины на основе компьютерной томограммы для эпидурального симулятора // *Научно-технический вестник Поволжья.* 2020. № 11. С. 59-62.
4. Barnett A.C., Lee Y.-S., Moore J.Z. Fracture Mechanics Model of Needle Cutting Tissue // *Journal of Manufacturing Science and Engineering.* 2015. Т. 138. № 1. С. 011005.
5. Gerovich O., Marayong P., Okamura A.M. The effect of visual and haptic feedback on computer-assisted needle insertion // *Computer Aided Surgery.* 2004. Т. 9. № 6. С. 243–249.
6. Vaughan N., Dubey V.N., Wee M., Isaacs R. Haptic Interface on Measured Data for Epidural Simulation // *Volume 2: 32nd Computers and Information in Engineering Conference, Parts A and B. ASME,* 2012. С. 13–17.

05.13.11

¹А.В. Бадеев канд. физ.-мат. наук, ¹А.К. Мордовской канд. физ.-мат. наук,
²Д.Д. Рыбдылова канд. педагог. наук

Бурятский государственный университет имени Д. Банзарова,
¹Институт математики и информатики,
 кафедра алгебры, дискретной математики и прикладной информатики,
²Педагогический институт,
 кафедра технологического образования и профессионального обучения,
 Улан-Удэ, badeev@mail.ru, mak13@mail.ru, rybddd@mail.ru

О ТОЖДЕСТВАХ НЕКОТОРЫХ МНОГООБРАЗИЙ РАЗРЕШИМЫХ КОММУТАТИВНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ АЛГЕБР

В этой работе изучаются многообразия коммутативных альтернативных алгебр над полем характеристики 3. Построена вспомогательная разрешимая ненильпотентная коммутативная альтернативная алгебра. Причем эта алгебра строится как грассманова оболочка конечномерной супералгебры. Приведены базисы тождеств свободных алгебр некоторых многообразий. Описана решетка подмногообразий многообразия центрально-метабелевых алгебр.

Ключевые слова: коммутативная альтернативная алгебра, тождество, базис тождеств, свободная алгебра, многообразие алгебр.

Введение

В силу специфики неассоциативных многообразий, тождества там играют особую роль. Многообразие альтернативных алгебр одно из самых близких к многообразию ассоциативных алгебр. Эта близость проявляется теоремой Артина, утверждающей, что во всякой альтернативной алгебре подалгебры, порожденные двумя элементами, ассоциативны. Заметим, что в силу тождества $[xy, z] + [yz, x] + [zx, y] = 3(x, y, z)$, справедливого во всякой альтернативной алгебре [1], неассоциативные коммутативные альтернативные алгебры существуют только над полем характеристики 3. Изучению тождеств разрешимых коммутативных альтернативных алгебр над полем характеристики 3 посвящена эта работа. Ранее одним из авторов изучались вопросы конечной базирруемости многообразий таких алгебр [2].

Обозначим, MA - многообразие метабелевых алгебр, т.е. алгебр с тождеством $(x_1x_2)(x_3x_4) = 0$, CMA - многообразие центрально-метабелевых алгебр, то есть алгебр с тождеством $[(x_1x_2)(x_3x_4)]x_5 = 0$, D - многообразие алгебр A с соотношением $(A^2)^3 = 0$. Далее, пусть $F(M)$ - свободная алгебра многообразия M от счетного множества порождающих $X = \{x_1, \dots, x_n, \dots\}$ упорядоченного по возрастанию индексов.

1. Построение вспомогательных алгебр

Метод построения вспомогательной альтернативной алгебры основан на построении соответствующей конечномерной супералгебры. Разнообразные возможности применения супералгебр для построения контрпримеров были продемонстрированы И.П.Шестаковым [3].

Построим вспомогательную конечномерную супералгебру B . Положим, $E_0 = \{a, a^2\}$,

$$E_1 = \{h, ah, a^2h\}, \quad E = E_0 \cup E_1, \quad B = \Phi(E_0) + \Phi(E_1).$$

Назовем четными элементы пространства $\Phi(E_0)$, нечетными - элементы пространства $\Phi(E_1)$. Положим, что умножение суперкоммутативно, т.е. выполняется супертождество $x_i \cdot y_j = (-1)^{ij} y_j \cdot x_i$, где $x_i, y_i \in E_i$.

Определим умножение на базисных элементах следующим образом:

$$a \cdot a = a^2, \quad a \cdot h = ah, \quad a^2 \cdot h = ah \cdot a = a^2h, \quad ah \cdot h = a, \quad a^2h \cdot h = -a^2.$$

Остальные произведения полагаем нулевыми. Легко видеть, что $(B^2)^3 = 0$.

Покажем, что в супералгебре B выполняется супертождество

$$(z \cdot x_i) \cdot y_j + (-1)^{ij}(z \cdot y_j) \cdot x_i + z \cdot (x_i \cdot y_j) = 0, \text{ где } x_i, y_i \in E_i.$$

Достаточно проверить это супертождество на базисных элементах. Как легко заметить, для $x_i = y_j = h, ah \in E_1$ супертождество тривиально. Таким образом, учитывая соотношение $(B^2)^3 = 0$, остается проверить супертождество для следующих троек базисных элементов: $\{a, a, h\}, \{ah, a, h\}$. В первом случае $(a \cdot a) \cdot h + (a \cdot h) \cdot a + a \cdot (a \cdot h) = 3a^2h = 0$. Во втором случае $(ah \cdot a) \cdot h + (ah \cdot h) \cdot a + ah \cdot (a \cdot h) = -a^2 + a^2 = 0$. Супертождество проверено. Таким образом, B - альтернативная супералгебра. Теперь можем заключить, что грассманова оболочка $A = G(B)$ - коммутативная альтернативная алгебра с соотношениями $x^3 = 0, (A^2)^3 = 0$.

Ввиду соотношения $A^{(2)} \neq 0$ существует центрально-метабелева коммутативная альтернативная алгебра A_0 с соотношением $A_0^{(2)} \neq 0$. Пусть $A_1 = A_0 \times Nil_4$, $A_2 = A_0 \times Nil_5$, где Nil_n - однопорожденная ассоциативная ниль-алгебра индекса n над Φ . Ясно, что A_1, A_2 - центрально-метабелевы, коммутативны и альтернативны. В алгебре A_1 выполняются соотношения $x^4 = 0, x^3 \neq 0$, в A_2 выполняется $x^4 \neq 0$. Рассмотрим ассоциативно коммутативную алгебру B_3 от двух порождающих $\{c, d\}$ над полем Φ с определяющими соотношениями $c^2 + d^2 = 0, c^4 = d^4 = 0$. Обозначим через A_3 прямое произведение $A_1 \times B_3$. Очевидно, что A_3 коммутативна, альтернативна и в ней выполняются соотношения $x^4 = 0, x^3y \neq 0$.

2. Базис свободной метабелевой алгебры

Лемма 1. Нильпотентность многообразия M центрально-метабелевых алгебр равносильна нильпотентности многообразия $M \cap MA$ метабелевых алгебр.

Доказательство. Пусть $M \subseteq CMA$. Если $M \cap MA$ нильпотентно, то $x_1x_2 \dots x_n \in F^{(2)}(M)$. Отсюда в силу центральной метабелевости справедливо равенство $x_1x_2 \dots x_nx_{n+1} = 0$ в алгебре $F(M)$. Лемма доказана.

Лемма 2. Пусть $F = F(MA)$ - свободная алгебра многообразия MA метабелевых алгебр. Тогда множество полилинейных одночленов вида

$$x_jx_{i_1}x_{i_2} \dots x_{i_{n-1}}, \text{ где } i_1 < i_2 < \dots < i_{n-1}, j > i_1.$$

образуют базис пространства $U(F)$.

Лемма 3. Пусть $M \subset MA$ - ненильпотентное собственное подмногообразие. Тогда $M = MA \cap \text{Var}(x^3)$.

Доказательство. Вспомогательная алгебра A ненильпотентна и удовлетворяет тождеству $x^3 = 0$. Следовательно, существует ненильпотентная алгебра, принадлежащая многообразию $MA \cap \text{Var}(x^3)$. Далее, легко заметить, что любой одночлен f степени 2 по переменной x можно представить в виде $f = u \cdot x$. Тогда для одночленов f степени 3 по переменной x , таких, что $d(f) > 3$, получим $f = u \cdot x = (v \cdot x) \cdot x = v \cdot x^2 = 0$. Т.е. одночлены степени 3 по одной переменной либо тривиальны, либо эквивалентны x^3 в метабелевой алгебре. Ясно, что тогда B однородно. Над полем характеристики 3 любое однородное нетривиальное соотношение степени 2 по одной переменной эквивалентно полилинейному и ввиду леммы 2 влечет нильпотентность. Лемма доказана.

3. Построение базиса свободной центрально-метабелевой алгебры

Заметим, что все подмногообразия многообразия D однородны.

Пусть A - свободная алгебра от множества порождающих X , I - идеал A . Обозначим через $P(I)$ пространство полилинейных многочленов алгебры A содержащихся в идеале I ; $P_n(I) \subseteq P(I)$ - подпространство полилинейных многочленов от множества порождающих X_n длины n .

Обозначим $Z_n = \{1, 2, \dots, n\}$, $n \geq 4$, $\varphi_{i,j} = x'_{i_1} \dots x'_{i_{n-4}}$ - операторное слово длины $n - 4$, где $\{i_1, \dots, i_{n-4}\} = Z_n \setminus \{1, 2, i, j\}$, $i_1 < \dots < i_{n-4}$.

Лемма 4.

1) Базис пространства $P_n(F^{(2)}(CMA))$ при $n = 4t$ или $n = 4t + 3$, составляют полилинейные одночлены вида

$$а) x_1 x_i \varphi_{i,j}(x_2 x_j), \quad 2 < i < j, \quad б) x_1 x_i \varphi_{i,3}(x_2 x_3), \quad i > 3,$$

2) при $n = 4t + 1$ или $n = 4t + 2$ базис пространства $P_n(F^{(2)}(CMA))$ составляют элементы типа а) и б) и полилинейный одночлен

$$в) x_1 x_5 \varphi_{5,4}(x_2 x_4).$$

4. Решетка многообразий центрально-метабелевых коммутативных альтернативных алгебр

Теорема. Пусть M некоторое многообразие центрально-метабелевых коммутативных альтернативных алгебр над произвольным полем характеристики 3, $f_n = (x_1 \dots x_{n-2})(x_{n-1} x_n)$, $C_n = CMA \cap \text{Var}(f_n)$, $C_n^m = C_n \cap \text{Var}(x^m)$, $C_n^{3,1} = C_n \cap \text{Var}(x^3 y)$.

а) Если $\Phi \supset Z_3$, то для подходящего $n \geq 4$ выполняется одно из следующих соотношений:

- 1) $M = CMA \cap \text{Var}(x^3)$, 2) $M = CMA \cap \text{Var}(x^4)$,
- 3) $M = CMA$; 4) $C_n^3 \subseteq M \subset C_{n+2}^3$; 5) $C_n^4 \subset M \subset C_{n+2}^4$; 6) $C_n \subseteq M \subset C_{n+2}$;
- 7) M нильпотентно;

б) Если же $\Phi = Z_3$, то дополнительно выполнено одно из соотношений:

- 8) $M = CMA \cap \text{Var}(x^3 y)$; 9) $C_n^{3,1} \subset M \subset C_{n+2}^{3,1}$.

Доказательство. Пусть $F = F(CMA)$. Многообразие M можно задать тождествами степени не больше 3 по одной переменной и тождеством $x^4 = 0$. Кроме того, любой однородный многочлен $f \in F$ длины $n \geq 4$ степени 3 по одной переменной можно записать в виде $f = \alpha x^2 w^*(xy)$, $\alpha \in \Phi$. Тождество f либо тривиально, либо эквивалентно тождеству $f_n = (x_1 \dots x_{n-2})(x_{n-1} x_n)$. Отсюда вытекает, что многообразие $M \subset CMA$ может быть задано тождествами x^4 , x^3 , $x^2(xy)$ и некоторым набором полилинейных тождеств. Алгебры A_0, A_1, A_2, A_3 не удовлетворяют тождествам f_n . Рассмотрим следующие случаи:

а) $\Phi \supset GF(3)$. Так как поле Φ содержит хотя бы 3 ненулевых элемента, то любое многообразие $M \subseteq CMA$ однородно [1]. В этом случае тождество $x^2(xy)$ легко получить из x^4 линеаризацией. Таким образом, тождества x^4 и $x^2(xy)$ эквивалентны. Значит, многообразия, порожденные алгебрами A_0, A_1, A_2 имеют типы 1) - 3) соответственно.

б) $\Phi = GF(3)$. Как показывает пример алгебры A_3 , тождества x^4 и $x^2(xy)$ не эквивалентны. Отсюда следует соотношение 8) теоремы.

Пусть теперь M не нильпотентно, $f = 0$ - полилинейное тождество в M и пусть $f \notin F^{(2)}(CMA)$. Тогда $f \equiv 0 \pmod{F^{(2)}(M)}$ - нетривиальное соотношение. По лемме 2 многообразие $M \cap MA$ нильпотентно. В силу леммы 1 M также нильпотентно. Противоречие. Следовательно, если M не нильпотентно, то $f \in F^{(2)}(CMA)$.

Пусть такое многообразие M задается полилинейными тождествами, и, может быть, одним из тождеств x^4 , x^3 , $x^2(xy)$. Если $M \subseteq MA$, то по лемме 3 либо $M = MA \cap \text{Var}(x^3)$, либо $M = MA$. Это приводит, соответственно, к многообразиям типа 4) и 6). Для остальных многообразий M по доказательству леммы 4 выполняется одно из условий 4) - 6), 9). Теорема доказана.

Список литературы

1. Жевлаков К.А., Слинко А.М., Шестаков И.П., Ширинов А.И. Кольца, близкие к ассоциативным, М., Наука, 1978.
2. Бадеев А.В. О шпехтовости многообразий коммутативных альтернативных алгебр и коммутативных луп Муфанг, Сиб. мат. ж., т.41, №6, 2000.
3. Шестаков И.П., Супералгебры и контрпримеры, Сиб. мат. ж., 32, №6, 1991.

05.13.11

Т.Н. Титова канд. физ.-мат. наук

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

ОБ ОДНОМ СЛУЧАЕ РЕШЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ РИККАТИ

Предложен удобный метод решения алгебраического матричного уравнения Риккати в случае, когда соответствующая этому уравнению гамильтонова матрица является вырожденной. Получены достаточные условия существования симметрического решения.

Ключевые слова: гамильтонова матрица, жорданова нормальная форма, гамильтониан, собственное значение, собственный вектор, присоединенный вектор

Матричное уравнение Риккати возникает в некоторых задачах теории оптимального управления при проектировании оптимальных линейных систем по квадратичному критерию качества [1, 2], а также в задачах механики при нормализации квадратичного гамильтониана каноническим преобразованием [3]. Это нелинейное матричное уравнение имеет вид:

$$XCX + XB^T + BX + A = O, \quad (1)$$

где все матрицы A, B, C, X – действительные квадратные матрицы порядка n , A и C – симметрические матрицы, неизвестную матрицу X ищем симметрической.

В работах [4, 5] предложен метод решения, опирающийся на нахождение собственных и присоединенных векторов гамильтоновой матрицы:

$$V = \begin{pmatrix} B^T & C \\ -A & -B \end{pmatrix} \quad (2)$$

Чтобы получить решение, находим базис из собственных и присоединенных векторов матрицы V . Из $2n$ найденных векторов выберем n векторов, удовлетворяющих условию: вместе с каждым присоединенным вектором e_i с собственным значением λ_i присутствуют все ненулевые векторы $(V - \lambda_i E)^k e_i, k = \overline{1, n}$. Из отобранных векторов составляем матрицу

$(e_1 e_2 \dots e_n) = \begin{pmatrix} F \\ G \end{pmatrix}$, где F, G – квадратные матрицы порядка n . Тогда, если $\det F \neq 0$, решение уравнения (1) имеет вид:

$$X = GF^{-1} \quad (3)$$

Если собственные значения выбранных векторов удовлетворяют условию

$$\lambda_i + \lambda_j \neq 0, i, j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

мы получим [4, 5] симметрическое решение $X = X^T$. Условие (4) можно удовлетворить только в случае невырожденной матрицы V .

В работе [6] собственные значения гамильтоновой матрицы различны и не лежат на мнимой оси комплексной плоскости. В работах [7 - 10] проведено исследование решения матричного уравнения Риккати, связанное с вопросами управляемости и наблюдаемости. Существуют также различные численные методы решения матричного уравнения Риккати [1, 11 - 13].

Рассмотрим случай, когда нулевые собственные значения гамильтоновой матрицы образуют в матрице нормального вида Жордана клетки четного порядка, за исключением, быть может, одной пары, образующей две клетки первого порядка. В этом случае существует симплектическое преобразование [14], приводящее гамильтонову матрицу V к следующему нормальному виду:

$$\Phi = \begin{pmatrix} U & I \\ O & -U^T \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\text{где } U = U_1 \oplus U_2 \oplus \dots \oplus U_k; \quad I = I_1 \oplus I_2 \oplus \dots \oplus I_k;$$

$$U_i = \begin{pmatrix} \lambda_i & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_i & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_i \end{pmatrix}, \quad I_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \varepsilon_i \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_i = \begin{cases} 0 & \text{при } \lambda_i \neq 0, \\ \pm 1 & \text{при } \lambda_i = 0, \quad i < k, \\ 0, \pm 1 & \text{при } \lambda_k = 0, \end{cases}$$

подматрицы U_i, I_i ($i = \overline{1, k}$) имеют одинаковый порядок, ненулевые собственные значения, входящие в подматрицу U , обладают свойством

$$\lambda_i + \lambda_j \neq 0 \quad \text{при } \lambda_i \neq 0, \lambda_j \neq 0, i, j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Подматрицы U_i, I_i , соответствующие нулевому собственному значению, образующему клетку порядка $2l$ в жордановой форме, имеют порядок l . Подматрицы U_k, I_k соответствуют нулевому собственному значению, образующему клетки первого порядка, если этот случай имеет место.

Теорема. Пусть нулевые собственные значения гамильтоновой матрицы V порядка $2n$ образуют в матрице нормального вида Жордана клетки четного порядка, за исключением, быть может, одной пары, образующей две клетки первого порядка. Рассмотрим матрицу T , приводящую матрицу V к нормальному виду (5) с условиями (6) и (7):

$$T^{-1}VT = \Phi, \quad T = (t_1 \ t_2 \ \dots \ t_{2n}).$$

Тогда векторы $t_1, t_2, \dots, t_n$, стоящие в первых n столбцах матрицы T , удовлетворяют следующим условиям симплектичности:

$$t_i^T J t_j = 0, \quad i, j = \overline{1, n}; \quad J = \begin{pmatrix} O & E \\ -E & O \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где E - единичная матрица порядка n .

Доказательство. В столбцах матрицы T стоят собственные и присоединенные векторы матрицы V . Пусть гамильтонова матрица V имеет следующие собственные и присоединенные векторы, соответствующие нулевым собственным значениям:

$$t_i, Vt_i, \dots, V^{2k_i-1}t_i, \quad (V^{2k_i}t_i = 0), \quad i = \overline{1, m-1}; \quad t_m, \quad (Vt_m = 0), \quad t_{m+1}, \quad (Vt_{m+1} = 0),$$

где $m+1$ - число жордановых клеток, образуемых нулевым собственным значением.

Так как матрица V является гамильтоновой, она обладает свойством $JV = -V^T J$. Поэтому

$$(V^l t_i)^T J V^p t_j = (-1)^p (V^{l+p} t_i)^T J t_j = (-1)^l t_i^T J V^{l+p} t_j = 0$$

при $l + p \geq \min\{2k_i, 2k_j\}, i, j = \overline{1, m-1}$.

$$t_m^T J V^p t_i = (-1)^p (V^p t_m)^T J t_i = 0 \quad \text{при} \quad p \geq 1, i = \overline{1, m-1}; \quad t_m^T J t_m = 0.$$

Однако для векторов $V^l t_i$, вошедших в первые n столбцов матрицы T , выполняются условия: $l \geq k_i \geq 1$. Таким образом, утверждение доказано для случая $\lambda = 0$. В работе [5] условие симплектичности (8) доказано для случая, когда собственные значения, соответствующие векторам t_i, t_j , обладают свойством $\lambda_i + \lambda_j \neq 0$. Следовательно, теорема доказана для всех случаев.

Следствие 1. Пусть матрица

$$T = \begin{pmatrix} F & H \\ G & W \end{pmatrix}$$

преобразует гамильтонову матрицу V к виду (5) с условиями (6) и (7), где F, G, H, W – квадратные матрицы порядка n . Тогда $F^T G = G^T F$. Если матрица V имеет вид (2), $\det F \neq 0$, то $X = GF^{-1}$ – симметрическое решение уравнения Риккати (1).

Предложение. Рассмотрим гамильтонову матрицу V вида (2), $\det C \neq 0$. Пусть

$$t_1 = \begin{pmatrix} f_1 \\ g_1 \end{pmatrix}, t_2 = \begin{pmatrix} f_2 \\ g_2 \end{pmatrix}, \dots, t_k = \begin{pmatrix} f_k \\ g_k \end{pmatrix}$$

– линейно независимые векторы матрицы V , соответствующие собственному значению λ .

Тогда векторы $f_1, f_2, \dots, f_k$ также являются линейно независимыми.

Доказательство. Предположим, что векторы $f_1, f_2, \dots, f_k$ связаны линейной зависимостью $c_1 f_1 + c_2 f_2 + \dots + c_k f_k = 0$

Тогда

$$(B^T - \lambda E)(c_1 f_1 + c_2 f_2 + \dots + c_k f_k) + C(c_1 g_1 + c_2 g_2 + \dots + c_k g_k) = C(c_1 g_1 + c_2 g_2 + \dots + c_k g_k) = 0.$$

Следовательно, $c_1 g_1 + c_2 g_2 + \dots + c_k g_k = 0$, так как матрица C не имеет нулевых собственных значений. Отсюда следует, что все коэффициенты $c_1 = c_2 = \dots = c_k = 0$.

Воспользовавшись теоремой, предложением и результатами работ [3,15], получим следующие достаточные условия существования симметрического решения матричного уравнения Риккати.

Следствие 2. Симметрическое решение уравнения (1) существует при выполнении одного из следующих условий:

- 1) все собственные значения гамильтоновой матрицы V – нулевые, образующие жордановы клетки не выше 2-го порядка, $\det C \neq 0$;
- 2) матрица V имеет 4-й порядок, подматрица C является положительно определенной;
- 3) матрица C – положительно определенная, $CB = B^T C$.

Решение уравнения Риккати позволяет найти преобразование, нормализующее каноническую систему дифференциальных уравнений с квадратичным гамильтонианом [3, 7 – 10].

Результаты, полученные в настоящей работе, могут быть использованы в теории оптимального управления при аналитическом конструировании оптимальных линейных систем по квадратичному критерию качества.

Список литературы

1. Квакуернаак К., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. – М: Мир, 1977. – 653 с.
2. Летов А.М. Динамика полета и управление. – М: Наука, 1969. - 359 с.
3. Тумова Т.Н. О нормализации линейных гамильтоновых систем // Научно-технический вестник Поволжья. - 2016. - № 6. - С. 19-23.
4. Potter J.E. Matrix quadratic solutions // SIAM Journal of Applied Mathematics. - 1966. - V. 14, № 3. - P. 496-499.
5. Martensson K. On the matrix Riccati equation // Information Science. - 1971. - V. 3, № 1. - P. 17-23.
6. Aliev F.A., Larin V.B. On the algorithms for solving discrete periodic Riccati equation // Appl. Comput. Math. – 2014. – V. 13, № 1. – P. 46-54.
7. Bucy R.S., Joseph P.D. Filtering for Stochastic Processes with Applications to Guidance. - AMS Chelsea Publishing Series, 2005. – 217 p.
8. Wimmer H.K. On the algebraic Riccati equation // Bull. Austral. Math. Soc. – 1976. – V. 14. – P. 457-461.
9. Willems J.C. Least squares stationary optimal control and the algebraic Riccati equation // IEEE Trans. Automat Control. – 1971. – V. AC-16. – P. 621–634.
10. Coppel C.A. Matrix quadratic equations // Bull. Austral. Math. Soc. – 1974. – V. 10. - P. 377–401.
11. Bini D.A., Meini B., Poloni F. Transforming Algebraic Riccati Equations into Unilateral Quadratic Matrix Equations // Numer. Math. – 2010. – V. 116. - P. 553–578.
12. Fan H.Y., Chu E.K.W. Projected nonsymmetric algebraic Riccati equations and refining estimates of invariant and deflating subspaces // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2017. – V. 315. - P. 80–86.
13. Larin V.B. Solution of Matrix Equations in Problems of the Mechanics and Control // Int. Appl. Mech. – 2009. - V. 45, № 8. - P. 847–872.
14. Laub A.J., Meyer K. Canonical Forms for Symplectic and Hamiltonian Matrices // Celestial Mechanics. - 1974. - V. 9, № 2. - P. 213-223.
15. Тумова Т.Н. Некоторые свойства линейных гамильтоновых систем // Научно-технический вестник Поволжья. - 2018. - № 12. - С. 28-30.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)

05.13.11

¹А.И. Акимов канд. техн. наук, ²И.А. Акимов д-р техн. наук, ²А.Н. Меркулов

¹Филиал Российского государственного университета нефти и газа
имени И.М. Губкина (НГУ) в г. Оренбурге,
отделение экономических, гуманитарных и естественнонаучных дисциплин (ЭГ и ЕНФ),
Оренбург, akimoff11@mail.ru,

²Оренбургский государственный педагогический университет,
физико-математический факультет,
кафедра математики и МПМ,
Оренбург, akimov-ia@mail.ru, andrey73375@mail.ru

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТЕНКИ С НЕИДЕАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ КОНТАКТОМ

В данной работе рассматривается один из вариантов возможного решения нелинейных многослойных задач теплопроводности для конструкций цилиндрической формы с неидеальными тепловыми константами между слоями.

Ключевые слова: бесконечный многослойный цилиндр, нелинейная задача, теплопроводность, коэффициент теплопроводности, тепловые потоки, интегральные уравнения Вольтерра типа «свертки».

Как известно, при математическом моделировании температурных полей, основным источником погрешностей служат значения конвективных коэффициентов теплоотдачи, входящие в граничные условия 3-го рода задачи теплопроводности. Он зависит от большого количества физических, геометрических и режимных параметров теплообменного процесса. Поэтому вывод прямых аналитических зависимостей для расчета коэффициентов конвективной теплоотдачи на основе фундаментальных знаний о природе процессов теплопереноса представляет большие трудности.

Одним из вариантов возможного аналитического определения коэффициента теплоотдачи по результатам экспериментальных исследований является путем решения обратной задачи теплопроводности [1,2].

Рассмотрим один из алгоритмов решения нелинейной задачи теплопроводности для многослойной цилиндрической стенки с неидеальными тепловыми контактами.

Как известно, нелинейная задача теплопроводности для случая $\lambda = \lambda(u)$ сводится к системе интегральных уравнений Вольтерра 2-го рода типа «свертки» (u – температура) [2].

Рассмотрим n – слойный бесконечный полый цилиндр с неидеальными тепловыми контактами между слоями в случае, когда коэффициенты теплопроводности λ_i зависят от температуры:

$$\lambda_i = \lambda_{oi} (1 + \xi_i u_i), i = 1, 2, \dots, n + 1, \quad (1)$$

где ξ_i – малые параметры.

Такие задачи приводят к решению системы интегральных уравнений Вольтерра 2-го рода типа свёртки относительно неизвестных тепловых потоков на внутренних границах слоев [2].

Математическая формулировка задачи имеет вид

$$c_i \rho_i \frac{\partial U_i(r_i, \tau)}{\partial \tau} = \operatorname{div}[\lambda_i \nabla u_i(r_i, \tau)], \tau > 0, r_0 \leq r_i \leq r_N, i = 1, 2, \dots, n + 1 = N \quad (2)$$

с начальными условиями

$$u_i(r_i, 0) = \varphi_i(r_i); \quad (3)$$

и граничными условиями

$$\lambda_i \frac{\partial u_i(r_0, \tau)}{\partial r} - h^b [u_i(r_0, \tau) - u_{c1}^b] = 0; \quad (4)$$

$$\lambda_N \frac{\partial u_N(r_N, \tau)}{\partial r} + h^H [u_N(r_N, \tau) - u_{cN}^H] = 0; \quad (5)$$

и с условиями сопряжения между слоями, когда неизвестны тепловые потоки $\frac{\partial u_i(r_i, \tau)}{\partial r} = \Pi(r_i, \tau)$ на границах между слоями ($i = 1, 2, \dots, N$), которые удовлетворяют следующим условиям:

$$\Pi_i(r_i, \tau) = \frac{1}{R_i} [u_{i+1}(r_i, \tau) - u_i(r_i, \tau)]; \quad (6)$$

$$\lambda_i \frac{\partial u_i(r_i, \tau)}{\partial r} = \lambda_{i+1} \frac{\partial u_{i+1}(r_i, \tau)}{\partial r}, \quad (7)$$

где c_i – удельная теплоемкость материала; ρ_i – плотность; r_i – радиусы слоев; R_i – термические сопротивления контакта слоев; d_i – толщина слоев; h^b, h^H – коэффициенты теплоотдачи к внутренней и наружной поверхностям полого цилиндра; u_{c1}, u_{cN} – температуры вне внутренней и внешней поверхностей цилиндра; $u(r, \tau)$ – температурное поле, λ_0 – теплопроводность слоя при 0°C .

Решение нелинейной задачи (1) – (7) ищется в виде

$$u_i(r_i, \tau) = u_{i0} + \sum_{k=1}^{n+1} \xi_k u_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, n+1 = N. \quad (8)$$

Определение температурного поля в i – м слое предполагает сохранение в начальных нелинейных дифференциальных уравнениях и краевых условиях членов, содержащих малые параметры ξ_k в степенях не выше первого. Таким образом достигается расщепление нелинейных задач на систему линейных краевых задач.

При таких предположениях, тепловые потоки $\Pi_i(r_i, \tau)$ включают в решениях коэффициенты теплопроводности только постоянные ($\lambda_\xi = \lambda_{0i}$) и нелинейных слагаемых, которые возникают в каждом слое:

$$\Pi_i(r_i, \tau) = \Pi_{0i}(\tau) + \sum_{k=1}^{n+1} \xi_k \Pi_{ki}(r_i, \tau) \quad (k = 1, 2, \dots, n+1). \quad (9)$$

Предполагая $\Pi_{0i}(\tau)$ известными в зависимости от времени τ , из (9) получаем $n+1$ дифференциальных уравнений нулевого приближения, из которых $n-1$ уравнений с граничными условиями 2-го рода, а два из которых имеют смешанные граничные условия (2-го и 3-го рода).

Применяя к полученным уравнениям конечные интегральные преобразования по переменной r , приведем эти уравнения к обыкновенным линейным дифференциальным уравнениям с постоянными коэффициентами, решение которых имеют вид

$$u_{ij}^0 = \int_0^\tau e^{-\sigma_{ij}(\tau-t)} [a_{ij} \Pi_{0i}(t) - b_{ij} \Pi_{0i-1}(t)] dt + e^{-\sigma_{ij}\tau} \rho_{ij}^0. \quad (10)$$

Здесь $\sigma_{ij}^0 = \frac{\lambda_{0i}}{c_i \rho_i} S_{ij}^2$ (S_{ij}^2 – собственные значения соответствующих задач Штурма –

Лиувилля), $a_{ij} = \frac{r_i K_i^j(r_i)}{\lambda_{0i}}, b_{ij} = \frac{r_{i-1} K_i^j(r_{i-1})}{\lambda_{0i}}, \rho_{ij}^0$ – интегральные преобразования начальных условий нулевого приближения $\varphi_i(r)$ с ядрами $K_i^j(r)$, которые являются решениями соответствующих задач Штурма – Лиувилля, u_{ij}^0 – нулевое приближение.

В данном случае

$$K_i^j(r) = A_i^j J_0(S_{ij}r) + B_i^j Y_0(S_{ij}r), \quad (11)$$

где A_i^j, B_i^j – постоянные; J_0, Y_0 – соответственно функции Бесселя 1 и 2 рода нулевого порядка, u_{ij}^0 – решение нулевого приближения.

Аналогично находят решение других приближений.

Используя условия (6) – (7), сводим задачу к системе интегральных уравнений Вольтерра 2-го рода типа свертки относительно тепловых потоков $\Pi_i^j(\tau) = \Pi_{ij}(\tau), (i = 1, 2, \dots, N,$

$j = 1, 2, \dots, n + 1$), которые имеют вид

$$\Pi_i^j(\tau) = \Pi_{ij}(\tau) = \sum_{m=1}^n \int_0^\tau \text{Mim}(\tau - t) \Pi_m^i(t) dt + B_i^j(\tau). \quad (12)$$

Составляющие образуют матрицу Якобы ядер n -го порядка и определяются выражениями:

$$M_{i,i-1} = \frac{1}{R_i} \sum_{j=1}^\infty b_{ij} K_i^j(r_i) e^{-\sigma_{ij}(\tau-t)};$$

$$M_{ii} = -\frac{1}{R_i} \sum_{j=1}^\infty \left[a_{ij} K_i^j(r_i) e^{-\sigma_{ij}(\tau-t)} + b_{i+1,j} K_{i+1}^j(r_i) e^{-\sigma_{i+1,j}(\tau-t)} \right];$$

$$M_{i,i+1} = \frac{1}{R_i} \sum_{j=1}^\infty a_{i+1,j} K_{i+1}^j(r_i) e^{-\sigma_{i+1,j}(\tau-t)};$$

$$\beta_i^j = \frac{1}{R_i} \sum_{j=1}^\infty \left[\rho_{i+1,j}^j K_{i+1}^j(r_i) e^{-\sigma_{i+1,j}\tau} - \rho_{ij}^j K_i^j(r_i) e^{-\sigma_{ij}\tau} + \delta_i^1 C_{ij} K_1^j(r_1) \int_0^\tau e^{-\sigma_{ij}(\tau-t)} dt + \right. \\ \left. \delta_i^n C_{2j} K_{n+1}^j(r_n) \int_0^\tau e^{-\sigma_{i+1,j}(\tau-t)} dt \right].$$

Здесь δ_i^1, δ_i^n – символы Кронеккера:

$$C_{1j} = \frac{h^b u_{C1} r_0 K_1^j(r_0)}{\lambda_{01}};$$

$$C_{2j} = \frac{h^H u_{CN} r_{n+1} K_{n+1}^j(r_{n+1})}{\lambda_{0,n+1}}.$$

Матрица $\|\text{Mim}\| = M$ инвариантна относительно всех приближений.

Решая систему интегральных уравнений Вольтерра 2-го рода в форме свертки (12) известными методами, получим

$$\Pi_i^j(\tau) = \beta_i^j(\tau) + \sum_{m=1}^n \int_0^\tau \text{Mim}(\tau - t) \beta_m^j(t) dt + \sum_{m=1}^n \int_0^\tau (M * M^0)_{im} \beta_m^j(t) dt, \dots, \quad (13)$$

где $M * M^0$ – матричная свертка ядер.

Подставляя эти соотношения в (9) и (8), получаем температурное поле во всех слоях цилиндра.

Список литературы

1. Туголуков Е.Н. Решение задач теплопроводности методом конечных интегральных преобразований. (издательство ТГТУ, Тамбов, 2005. – 834с.
2. Федоткин И.М. Математическое моделирование технологических процессов/ Москва. Книжный дом «Либроком», 2015. – 416с.
3. Акимов И.А., Акимов А.И., Каракулина Е.О. Исследование теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях на первом этапе производства композиционных материалов / Научно-технический вестник Поволжья. №2, 2015г. – Казань – с. 68-72.
4. Акимов А.И., Акимов И.А., Каракулина Е.О. Исследование и разработка математической модели на первом этапе производства некоторых типов композиционных материалов в установках Шольца // Научно-технический вестник Поволжья, №1, 2016. с. 54-57
5. Абишева Л.С. Исследование сложного теплообмена в многослойной цилиндрической конструкции графоаналитическим методом. Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки

05.13.11

¹В.С. Белоус, ²Н.Н. Белоус канд. педагог. наук¹Mail.ru Group,

Москва, belous.vs@yandex.ru,

²Брянский государственный университет им. И.Г. Петровского,

Новозыбковский филиал,

кафедра математики, физики и информатики,

Новозыбков, n_belous@inbox.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАГРУЗЧИКА ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В статье представлены отдельные результаты разработки учебной операционной системы (ОС), основное внимание авторы уделяют вопросам реализации загрузчика, подробно останавливаются на программах, обеспечивающих данные процессы.

Ключевые слова: операционная система, архитектура ОС, реализация загрузчика.

Ранее, в публикациях [1; 2], мы обсуждали разработку и отладку операционной системы (ОС) с использованием системы Gentoo. Для сборки ядра использовались: GNU Make 4.1, gcc 4.9.3, GNU Binutils 2.25, GNU Perl 5.20.2, GNU gdb 7.10.1. Разработка ОС выполнялась на языке Си с ассемблерными вставками. В ассемблерных вставках используется синтаксис AT&T, т.к. он является стандартным для средств разработки GNU и большинства Unix-подобных систем. [3; 4]

Рассмотрим реализацию загрузчика ОС.

Для открытия вентиля линии A20 используется контроллер клавиатуры 8042, взаимодействие с которым осуществляется через порты 0x60 и 0x64. Перед отправкой команды или данных контроллеру необходимо дождаться, пока он не будет готов их принять. Код выполняющий ожидание готовности контроллера приведен в листинге 1.

Листинг 1 — Ожидание готовности контроллера 8042

```
1 wait_8042 :  
2 inb $0x64 , %al  
3 t e s t b $0x2 , %al  
4 jnz wait_8042  
5 ret
```

Код, выполняющий открытие вентиля A20 показан в листинге 2.

Листинг 2 — Открытие вентиля линии A20

```
1 // t e l l 8042 that we want to wr i t e  
2 cal l wait_8042  
3 movb $0xd1 , %al  
4 outb %al , $0x64  
5  
6 // enabl e a20  
7 cal l wait_8042  
8 movb $0xdf , %al  
9 outb %al , $0x60
```

Первая группа команд сообщает контроллеру, что за ней последует операция записи. Вторая группа команд отправляет в порт данных значение 0xdf, что приводит к открытию вентиля линии A20.

Для определения доступных областей физической памяти используется функция 0xe820 прерывания 0x15 BIOS. Данную функцию необходимо вызывать в цикле, до тех пор пока не будут возвращены все известные области памяти. Код, использующий данную функцию приведен в листинге 3.

Листинг 3. — Определение доступных областей физической памяти

```
1 detect_high_memory :
2 movl $0xe820 , %eax
3 movl $24 , %ecx
4 addw $24 , %di
5 int $0x15
6
7 // carry flag is clear in case all is ok
8 jc memory_detected
9
10 // magic value must be inside '%eax' in case successful
11 cmpl $0x534d4150 , %eax // 'SMAP'
12 jne memory_detected
13
14 // increase records count
15 incl %esi
16
17 // '%ebx' will be set to '0' at the end of list
18 test %ebx , %ebx
19 jnz detect_high_memory
```

Как было сказано в предыдущих работах [1], для перехода в защищенный режим системному ПО необходимо объявить GDT, содержащую минимум 3 дескриптора сегмента: нулевой, дескриптор сегмента кода и дескриптор сегмента данных. Для объявления дескрипторов сегментов в заголовочном файле kernel/misc/gdt.h объявлен макрос SEG и константы, используемые для улучшения читаемости кода. В листинге 4. приведен пример объявления GDT и ее дескриптора.

Листинг 4 — Объявление GDT и ее дескриптора

```
1 // force 4 byte alignment
2 .p2align 2
3
4 gdt :
5 SEG(0x0 , 0x0 , 0x0) // null seg
6 SEG(UST_X|USF_D|USF_P|USF_S|USF_G|UST_R, 0x0 , 0xffffffff) // code seg
7 SEG(USF_D|USF_P|USF_S|USF_G|UST_W, 0x0 , 0xffffffff) // data seg
8
9 gdt_desc :
10 .word ( . - gdt - 1)
11 .long gdt
```

В листинге 5. приведен код, выполняющий переход в защищенный режим, с последующей инициализацией сегментных дескрипторов.

Листинг 5. — Переход в защищенный режим

```
1 // enable protected mode (set first bit in cr0)
2 movl %cr0 , %eax
3 orl $0x1 , %eax
4 movl %eax , %cr0
5
6 lgdt gdt_desc
7 jmp $0x8 , $complete_flush
```

```
8
9 .code32
10 complete_flush :
11 // setup protected mode segment registers
12 movw $0x10 , %ax
13 movw %ax , %ds
14 movw %ax , %es
15 movw %ax , %ss
```

Для перехода в длинный режим, необходимо активировать PAE, загрузить в регистр CR3 физический адрес PML4, установить бит EFER.LME в 1 и включить страничное преобразование (установить бит CR.PG в 1). В листинге 5. приведен фрагмент кода, выполняющего все эти действия.

Листинг 5. — Переход в длинный режим

```
1 // Enable PAE
2 movl %cr4 , %eax
3 btl $5 , %eax
4 movl %eax , %cr4
5
6 // Setup CR3
7 movl pml4 , %cr3
8
9 // Enable long mode ( set EFER.LME=1)
10 movl $0xc0000080 , %ecx // EFER MSR number
11 rdmsr // Read EFER
12 btl $8 , %eax // Set LME=1
13 wrmsr // Write EFER
14
15 // Enable paging to activate long mode
16 movl %cr0 , %eax
17 btl $31 , %eax
18 movl %eax , %cr0
```

Для передачи информации, подготовленной загрузчиком ядру используются структуры: `kernel_ptr` и `kernel_config`.

Следует заметить, что в защищенном режиме размер указателя составляет 32 бита, а в 64-битном длинном режиме – 64-бит. Объединение `kernel_ptr` используется чтобы указатели в защищенном 32-битном режиме занимали 64 бита. Это позволяет упростить ядру интерпретацию переданных загрузчиком данных. Более детально, вопросы, затронутые в данной статье, обоснованы нами в отдельном пособии [2].

Список литературы

1. Белоус В.С., Белоус Н.Н., Силенок Н.В. Тестирование и отладка учебной операционной системы. // Научно-технический вестник Поволжья 2017. № 1. С.69-72
2. Белоус В.С., Белоус Н.Н. Разработка учебной операционной системы.–LAP LAMBERT Academic Publishing gmbh&Co.KG Heinnich-Bocking , Germany, 2017
3. Advanced Micro Devices. –AMD64 Architecture Programmer's Manual. Volume 2: System Programming, 2015.
4. GDB: The GNU Project Debugger. – <https://www.gnu.org/software/gdb>

05.13.11

¹**В.А. Смирнов** канд. техн. наук, ²**Е.В. Королев** д-р техн. наук,
³**Т.А. Мацевич** д-р физ.-мат. наук

¹Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
институт строительства и архитектуры,
научно-образовательный центр «Наноматериалы и нанотехнологии»,
Москва, smirnov@nocnt.ru,

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
ректорат,
Санкт-Петербург, korolev@nocnt.ru,

³Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
институт фундаментального образования,
кафедра прикладной математики,
Москва, matseevich@mgasu.ru

ПАКЕТНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ: ДИЗАЙН, РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЯЗЫКОВ

Выполнено обобщение подходов, которые могут считаться наиболее перспективными с точки зрения сокращения затрат ресурсов при синтезе и обработке изображений в задачах научной визуализации. Акцент сделан на задачах, связанных с анализом цветояркихостных полей в строительном материаловедении. Показано, что средства обработки изображений, входящие в состав пакетов численной математики, не могут считаться оптимальными исходя из высокого порога вхождения для исследователя-материаловеда. Обоснована необходимость использования специализированного языка пакетной обработки, семантика которого близка к семантике микропрограмм для геометрических процессоров. Приводится пример открытой реализации подобного языка, которая разработана и поддерживается авторами настоящей работы на протяжении двух десятилетий; обсуждаются перспективы её развития.

Ключевые слова: проблемно-ориентированные алгоритмические языки, обработка изображений, строительное материаловедение.

Практическое значение методов цифровой обработки изображений в настоящее время не вызывает сомнений. Методы цифровой обработки изображений широко используются в системах научной визуализации, компьютерной графики (в т.ч. – интерактивной), медицине [1-3], геоинформационных системах [4, 5].

Многообразием практических приложений методов цифровой обработки изображений обусловлены различные требования к алгоритмам и их программным реализациям. Например, в задачах компьютерной графики приемлемость алгоритма и его реализации обычно определяется критериями, основанными на визуальном восприятии полученного изображения; для интерактивной компьютерной графики дополнительным критерием становится время исполнения реализации (при этом качество синтезированного изображения, связанное с корректностью алгоритма, отходит на второй план [6]).

В задачах научной визуализации очень важно использовать точные алгоритмы и их программные реализации. Время исполнения программы отходит на второй план.

Методы цифровой обработки изображений оперируют двумерным массивом хроматических координат. Именно этот объект находится среди входных данных большинства операций, именно он является результатом выполнения операции. Вне зависимости от целевой области применения все программные реализации можно разделить на два класса:

1. Интерактивные. Работа с изображением осуществляется в режиме, когда в качестве системы обратной связи фактически выступает человек (оператор). Интерактивные пакеты цифровой обработки изображений обычно используются в искусстве [7-9].

2. Пакетные. Фактически представляют специализированные алгоритмические языки высокого уровня; после написания расчетного задания работа с изображением осуществляется без участия оператора.

Средства пакетной обработки изображений включены в состав практически всех пакетов численной математики [10-12].

Специализированные функции пакета MATLAB [10-11] доступны через так называемые наборы инструментальных средств. Среда MATLAB поставляется с набором, предназначенным для обработки изображений. Средства этого набора позволяют, в частности, выполнять двумерное преобразование Фурье и вычислять двумерную свертку (в том числе – в области обратных длин). Однако функциональность пакета зачастую избыточна для задач строительного материаловедения, не оправдывает средств, затраченных на его приобретение и требует написания громоздких программ (часто – с использованием средств управления потоком). С другой стороны, функциональность открытого пакета SciLab [12] в части обработки изображений оказывается недостаточной (в частности, отсутствует простой способ выполнения обработки в области обратных длин).

Следует отметить, что средства пакетной обработки изображений часто присутствуют и в интерактивных пакетах. В частности, пакет GIMP [7, 8] содержит средства перехода между цветовыми пространствами. Возможен статистический анализ информации каждого из цветовых каналов. Для каждого из цветовых каналов поддерживается вычисление свертки в пространственной области (для версии 1.2 – фильтры размеров до 5x5 включительно). Входным языком является надмножество LISP - подобного языка UMB Scheme. Синтаксис и семантика этого языка существенно отличаются от синтаксиса и семантики широко распространенных универсальных алгоритмических языков, что повышает порог вхождения. До недавнего времени для внутреннего представления хроматических координат могли быть использованы только однобайтовые целочисленные значения.

Исходя из изложенного, для описания задач цифровой обработки изображений в строительном материаловедении нами предложен специализированный язык обработки (далее – язык IPL) [13]. При разработке языка и реализации интерпретатора в числе прочих были учтены следующие требования: поддержка пакетного режима; переносимость между разнородными вычислительными платформами; открытость реализации. Фундаментальными типами языка являются вектор, матрица и древовидная двоичная декомпозиция изображения. Программа на языке IPL может содержать глобальную секцию, секцию операций над объектами фундаментальных типов, описания преобразований расширяющих функциональность элементарных операций и секцию целей. Интерпретатор с языка IPL реализован в виде автономной программы на языке ANSI C и распространяется в исходных текстах.

Отличительной особенностью семантики языка является отказ от использования операторов управления. Анализ программы начинается с поиска секции целей. Затем последовательно для каждой цели (объекта фундаментального типа) выполняется поиск перечня операций, которые требуется выполнить для её создания.

Например, программа, реализующая фильтрацию в области обратных длин для создания бесшовной текстуры «плазма», может иметь вид:

```
matrix plasma {  
    expand 256 256  
    uniform 0 1  
    fourier_forward  
    band_pass 0 5  
    fourier_inverse  
    range_normalize 0 1  
}  
targets { output out.bmp RGB plasma plasma plasma }
```

Разработанное программное обеспечение подтвердило свою эффективность с многочисленных задачах строительного материаловедения, в частности – при анализе цветовых показателей защитно-декоративных покрытий [14] и исследовании изображений микроструктуры строительных композитов [15].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект «Теоретико-экспериментальное конструирование новых композитных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз», шифр научной темы FSWG-2020-0007)

Список литературы

1. Parmar C., Barry J., Hosny A., Quackenbush J., Aerts H. Data Analysis Strategies in Medical Imaging // *Clinical Cancer Research*. – 2018. – vol. 24. – P. 3492.
2. Frangi A., Tsiftaris S., Prince J. Simulation and Synthesis in Medical Imaging // *IEEEExplore*. – 2018. – #3. – P. 673.
3. Suzuki K. Overview of deep learning in medical imaging // *Radiological Physics and Technology*. – 2017. – vol. 10. – P. 257.
4. de Sousa W., Souto M., Matos S., Duarte C. Creation of a coastal evolution prognostic model using shoreline historical data and techniques of digital image processing in a GIS environment for generating future scenarios // *International Journal of Remote Sensing*. – 2018. – vol. 39. P. 4416.
5. Landat P., Kumar L., Koech R. Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques // *Geomorphology*. – 2019. – vol. 325. – P. 92.
6. Laplante P., Marlowe T., Stoyenko A. Requirements for a real-Time image processing language // *Annual Review in Automatic Programming*. – 1994. – vol. 18. – P. 175.
7. Peck A. Beginning GIMP: From Novice to Professional. – New York: Apress, 2008. – P. 249.
8. Pyles J. Using GIMP. – New York: Pearson Education, 2011. – P. 234.
9. Darktable [Электронный ресурс]. URL: <https://www.darktable.org/>
10. Umbaugh S. Digital Image Processing and Analysis: Applications with MATLAB and CVPITools. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – P. 54.
11. Marques O. Practical Image and Video Processing Using MATLAB. – Hoboken: Wiley, 2011. – P. 61.
12. Nair S. SCILAB (A Free Software To MATLAB). – New Delhi: – Chand & Company, 2008. – P. 114.
13. Smirnov V.A., Korolev E.V., Poddaeva O.I. Language for Scientific Imaging: Design, Implementation and Applications // *Proc. of DMEIT'15*. – 2015. – P. 23.
14. Логанина В.И., Смирнов В.А., Кислицына С.Н., Захаров О.А., Христолюбов В.Г. Оценка декоративных свойств лакокрасочных покрытий // *Лакокрасочные материалы*. – 2004. – №8. – С. 10.
15. Данилов А.М., Селяев В.П., Круглова А.Н. Структура наполненного эпоксидного связующего. Оптическая и сканирующая зондовая микроскопия // *Региональная архитектура и строительство*. – 2014. – №1. – С. 41.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)**

05.13.18

¹П.П. Аврашков канд. физ.-мат. наук, ²И.А. Коськин,
²И.С. Константинов д-р техн. наук

¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
Орел, avrashkov@mail.ru,

²ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский
университет»,
Белгород, Iia.koskin@gmail.com, v@mail.ru.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ КОНВЕРТАЦИИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ В СТЕРЕОФОРМАТ С ПОМОЩЬЮ КАРТ ГЛУБИНЫ**

Рассматриваются вопросы конвертации двумерных изображений в стереоформат с применением карт глубины с помощью различных моделей. Показано, что вид модели влияет на качество получаемых стереоизображений, установлены методы с лучшими по качеству результатами.

Ключевые слова: *трехмерное моделирование, анаглиф, карта глубины.*

Важным звеном в реализации процессов цифровизации ряда отраслей экономики является трехмерное моделирование объектов и процессов. Наиболее вероятными областями применения новых технологий трехмерного моделирования являются строительство, ЖКХ, транспорт [1]. Несмотря на интерес к этой теме и решение ряда важных вопросов, остается актуальной задача построения в реальном времени адекватных реальным объектам стереоизображений.

Здесь перспективным представляется применение анаглифов, то есть метода получения стереоэффекта из двух плоских изображений при помощи цветового кодирования. Для получения эффекта используют специальные очки. При реализации одной из технологий получения анаглифов для плоских изображений формируется карта глубины, то есть изображение, в котором содержится информация о расстоянии от точки зрения до поверхностей (точек) объектов сцены.

При построении карты глубины по стереопаре для каждой точки на одном изображении выполняют поиск парной ей точки на другом изображении. Полученные пары позволяют выполнить триангуляцию и определить координаты их прообраза в трехмерном пространстве.

Простейший вариант карты глубины – задание пары плоскостей, ориентированных перпендикулярно плоскости горизонта. Возможны и иные подходы, например, аппроксимация четырьмя плоскостями, использование вместо плоскостей параболических цилиндров и др.

Исследованиями в области применения карт глубины для получения анаглифов занимался ряд ученых, большой вклад в изучение проблемы внес Красильников Н.Н. [2] и ряд других исследователей, в частности [3]. Однако в приведенных моделях имеется ряд неточностей и не рассмотрены все способы построения карт глубины. Ниже приведены некоторые способы получения анаглифов на основе карт глубины.

Для растрового изображения шириной w пикселей и высотой h пикселей обозначим через $S(x_c, y_c)$ центр изображения, а через (x_0, y_0) – координаты точки схода. В большинстве случаев эти точки совпадают, тогда $x_0 = x_c = \frac{w+1}{2}$, $y_0 = y_c = \frac{h+1}{2}$.

При создании анаглифа строки изображения не меняют своего положения, поэтому в дальнейших формулах приводятся только зависимости между абсциссами. Абсциссы левого и правого изображений обозначаются X_L и X_R соответственно.

Линейная зависимость

Здесь точки с абсциссами x_0 остаются на месте, а крайние – смещаются на $d > 0$ пикселей вправо для левого изображения и влево – для правого изображения, что приводит к формулам

$$X_L(x; d) = \begin{cases} \left(1 - \frac{d}{x_0 - 1}\right)x + \frac{d x_0}{x_0 - 1}, & \text{if } x \in [1, x_0], \\ \left(1 + \frac{d}{w - x_0}\right)x - \frac{d x_0}{w - x_0}, & \text{if } x \in [x_0, w], \end{cases}$$

$$X_R(x; d) = X_L(x; -d)$$

Явным недостатком этого способа является увеличение ширины изображения с величины w до $w + d$ и последующей обрезкой, что приводит к потере части информации.

Линейное сжатие к левой и правой вертикали изображения

Правое изображение сжимается к правой вертикали $x = w$, а левое – к левой вертикали $x = 1$, что приводит к формулам

$$X_L(x; d) = x - d \frac{x - 1}{w - 1} = \left(1 - \frac{d}{w - 1}\right)x + \frac{d}{w - 1},$$

$$X_R(x; d) = x + d \frac{w - x}{w - 1} = \left(1 - \frac{d}{w - 1}\right)x + \frac{wd}{w - 1}.$$

Пример получаемого анаглифа при $d = 12$ приведен на рис. 1.

Несомненным достоинством здесь является отсутствие разрывов и, как следствие, более быстрое преобразование (нет интерполяции) и независимость от точки схода.



Рис. 1 – Стереοизображение, полученное при применении линейного сжатия

Прямое смещение точек схода вправо и влево с неподвижными точками периметра

Точки периметра изображения остаются неподвижными, а точка схода смещается вправо для правого изображения и влево – для левого изображен, что приводит к формулам

$$X_L(x; y, d) = f(x, y, d), X_R(x; y, d) = f(x, y, -d)$$

где функция

$$f(x; y, d) = \begin{cases} x - d \frac{(w-x)(y-1)}{(w-x_0)(y_0-1)}, & \text{if } x \in [x_0, w], y \in [1, y_0], \\ x - d \frac{(x-1)(y-1)}{(x_0-1)(y_0-1)}, & \text{if } x \in [1, x_0], y \in [1, y_0], \\ x - d \frac{(x-1)(h-y)}{(x_0-1)(h-y_0)}, & \text{if } x \in [1, x_0], y \in [y_0, h], \\ x - d \frac{(w-x)(h-y)}{(w-x_0)(h-y_0)}, & \text{if } x \in [x_0, w], y \in [1, y_0]. \end{cases}$$

Зеркальное смещение точек схода вправо и влево с неподвижными точками периметра

Зеркальный вариант предыдущего случая: точки периметра изображения остаются неподвижными, а точка схода смещается влево для правого изображения и вправо – для левого изображения,

Зеркальное линейное сжатие к вертикалям изображения

Зеркальный вариант случая линейного сжатия к вертикалям: правое изображение сжимается к левой вертикали, а левое – к правой вертикали.

Нелинейная зависимость

Рассмотрим квадратичную зависимость $F(x, d, a) = Ax^2 + Bx + C$.

Ее коэффициенты A, B, C определяются из условий

$$\begin{aligned} X_L(1) &= 1 + d, X_L(x_0) = x_0 + a, X_L(w) = w + d, \\ X_R(1) &= 1 - d, X_R(x_0) = x_0 - a, X_R(w) = w - d \end{aligned}$$

и приводят к формулам

$$X_L(x; d, a) = F(x; d, a), X_R(x; d, a) = F(x; -d, -a)$$

с вектором коэффициентов

$$[A, B, C]^T = \frac{[d - a, (x_0 - 1)(w - x_0) - (d - a)(w + 1), x_0(x_0 - 1)d - w(x_0d - a)]^T}{(x_0 - 1)(w - x_0)}.$$

По экспертной оценке более высокое качество стереоизображения из рассмотренных вариантов обеспечивает применение линейного сжатия к левой и правой вертикали изображения и прямого линейного сжатия к вертикалям изображения.

Таблица 1 – Экспертная оценка качества анаглифов

Модель / Эксперт	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Средняя оценка
Линейная зависимость	1	4	1	2,00
Линейное сжатие к левой и правой вертикали изображения	6	7	7	6,67
Прямое смещение точек схода вправо и влево с неподвижными точками периметра	3	1	2	2,00
Зеркальное смещение точек схода вправо и влево с неподвижными точками периметра	4	3	4	3,67
Зеркальное линейное сжатие к вертикалям изображения	5	6	5	5,33
Нелинейная (квадратичная) зависимость	1	2	3	2,00

Примечание: методы ранжировались каждым экспертом; 7 – самое высокое качество изображение из представленных, 1 – самое невысокое.

Коэффициент конкордации равен 0,89, что говорит о высокой степени согласованности оценок экспертов.

Выводы:

1) При получении псевдотрехмерных изображений (например, анаглифов) на основе двумерных изображений перспективным направлением является использование карт глубины, причем различные подходы к математическим преобразованиям дают изображения, сильно отличающиеся по качеству и по скорости преобразования.

2) При создании анаглифов из исследованных вариантов более быстрое преобразование, а также более высокое качество обеспечивает применение линейного сжатия к левой и правой вертикалям изображения и прямого линейного сжатия к вертикалям изображения.

Список литературы

1. *Konstantinov, Igor S. Modeling of process of constructing 3D images by dynamic sequence of 2D images / Igor S. Konstantinov, Ilya A. Koskin, Sergey A. Lazarev, Yuriy N. Maslakov, Vitaliy A. Gaivoronskiy // International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 11s, (2020), PP. 3068-3073.*
2. *Красильников, Н.Н. Технология изготовления карт глубины для неподвижных изображений / Н.Н. Красильников, О.И. Красильникова // Информационно-управляющие системы .– 2017 .– №5 .– С. 52-61.*
3. *Zhang, Z. Visualpertinent2D-to-3Dvideo conversion by multi-cue fusion / Z. Zhang, Y. Wang, T. Jiang, W. Gao // Proc. IEEE ICIP, 2011, pp.909–912.*

05.13.18

М.А. Бобров, А. Асгари

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», Институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и электротехники,
Саранск, amir.gomrah@yahoo.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В статье представлены результаты моделирования электропривода ветроэнергетической установки на базе машины двойного питания. Рассмотрена структурная схема системы управления электроприводом ветроэнергетической установки.

Ключевые слова: двигатель двойного питания, ветроэнергетическая установка, преобразователь частоты, имитационное моделирование.

В настоящее время источники возобновляемой электрической энергии представляют особый интерес. Исследования систем ветроэнергетических установок, как новый способ получения энергии, широко представлены в научной литературе [1-5]. Одной из основных частей ветроэнергетической установки является система регулируемого электропривода.

В современных системах электропривода наиболее часто используются машины двойного питания, работающие в генераторном режиме. Данный тип электрической машины отличается наличием каналов управления как по цепи статора, так и по цепи ротора. Это позволяет получать выходное напряжение генератора с требуемыми параметрами частоты и амплитуды при различной скорости ветра с меньшими затратами. Электропривод на базе машины двойного питания описан в двигательном режиме описан в [6-8]. Генераторные режимы данного типа привода в составе ветроэнергетических установок описаны в [1-3,5].

Структурная схема электропривода ветроэнергетической установки показана на рисунке 1.

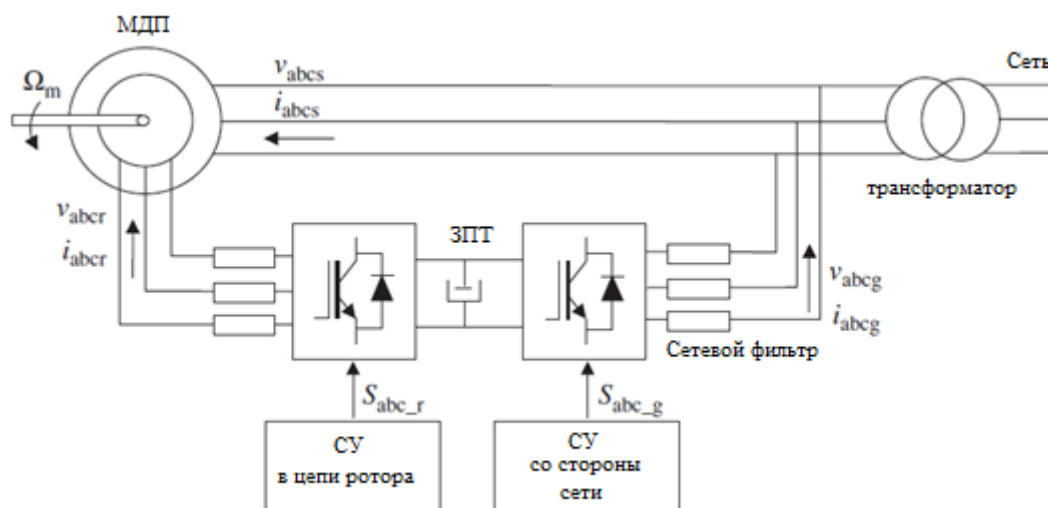


Рис. 1 – Структурная схема электропривода ветроэнергетической установки

Более подробное рассмотрение системы векторного управления выходным инвертором преобразователя частоты в цепи ротора представлено в [2,3]. На рисунке 2 представлена структурная схема системы векторного регулирования координат.

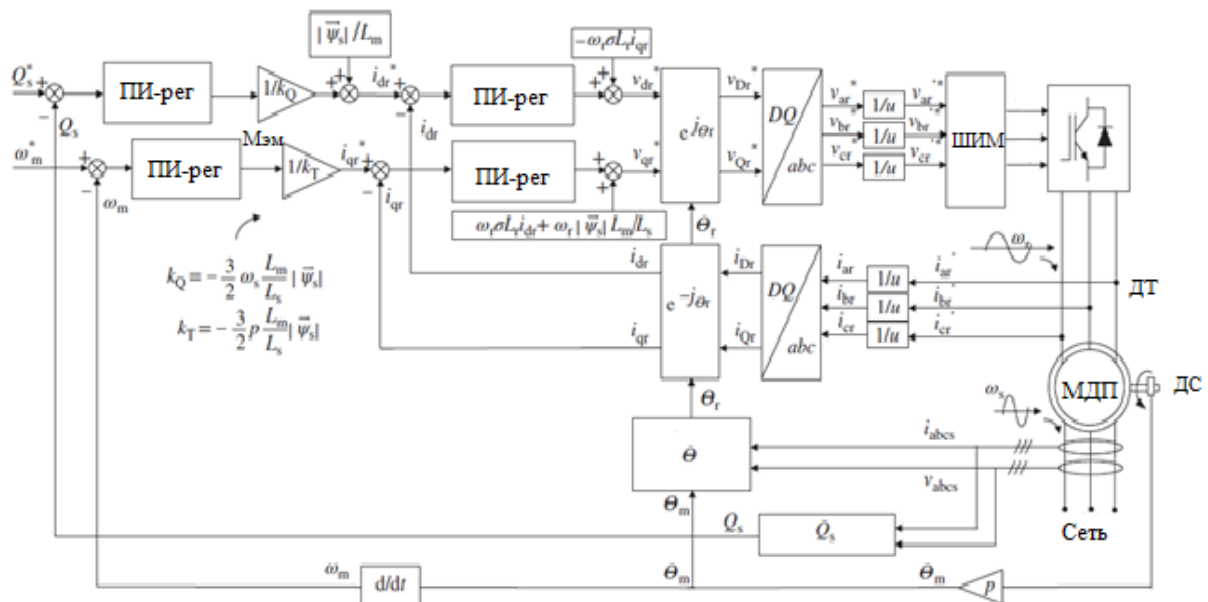


Рис. 2 – Структурная схема системы векторного регулирования координат

Согласно представленной структурной схеме была реализована имитационная модель системы электропривода ветроэнергетической установки (рисунок 3).

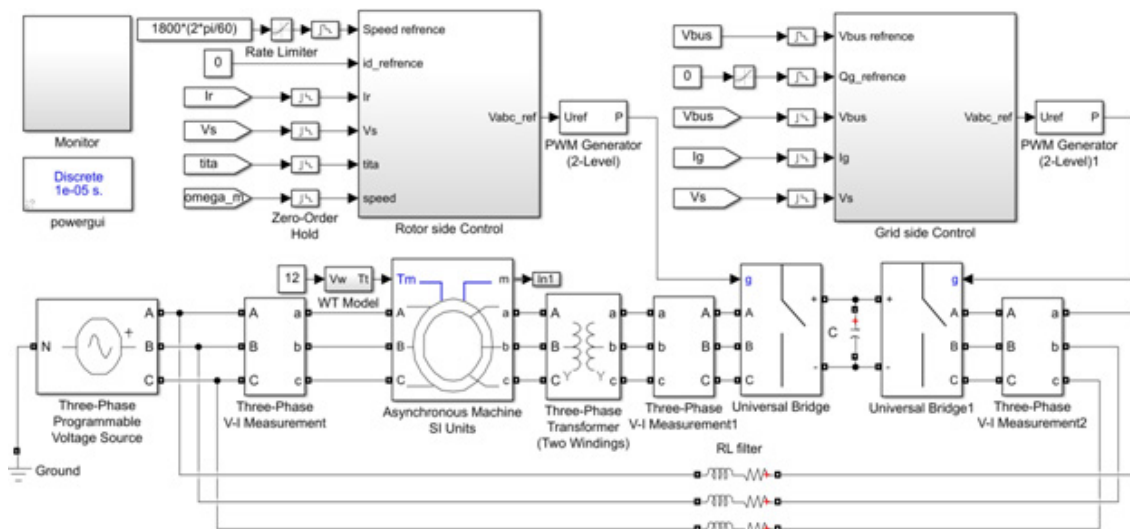


Рис. 3 – Имитационная модель электропривода ветроэнергетической установки

В данной имитационной модели были реализованы блоки управления входным управляемым выпрямителем и выходным инвертором преобразователя частоты в цепи ротора генератора на базе машины двойного питания.

Результаты моделирования переходных процессов токов I_d , I_q в цепи управления мощностью генератора показаны на рисунке 4.

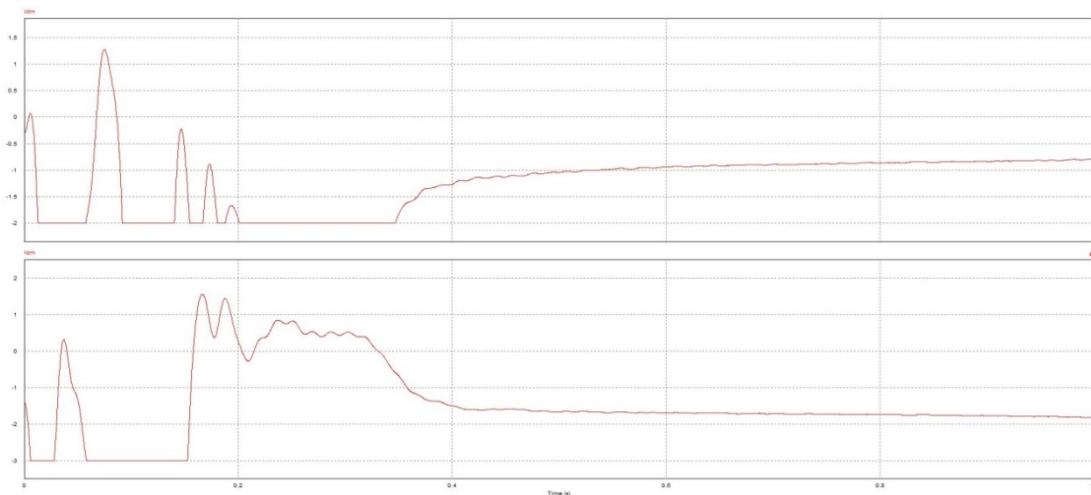


Рис. 4 – Осциллограммы токов I_d , I_q в цепи управления мощностью

Скорость вращения турбины задается, как переменная входная величина генератора, величины мощностей регулируются с преобразователя частоты.

Переходные процессы скорости вращения и мощности генератора показаны на рисунках 5,6. Активная и реактивная мощность генератора измеряется с помощью специальных блоков в имитационной модели.

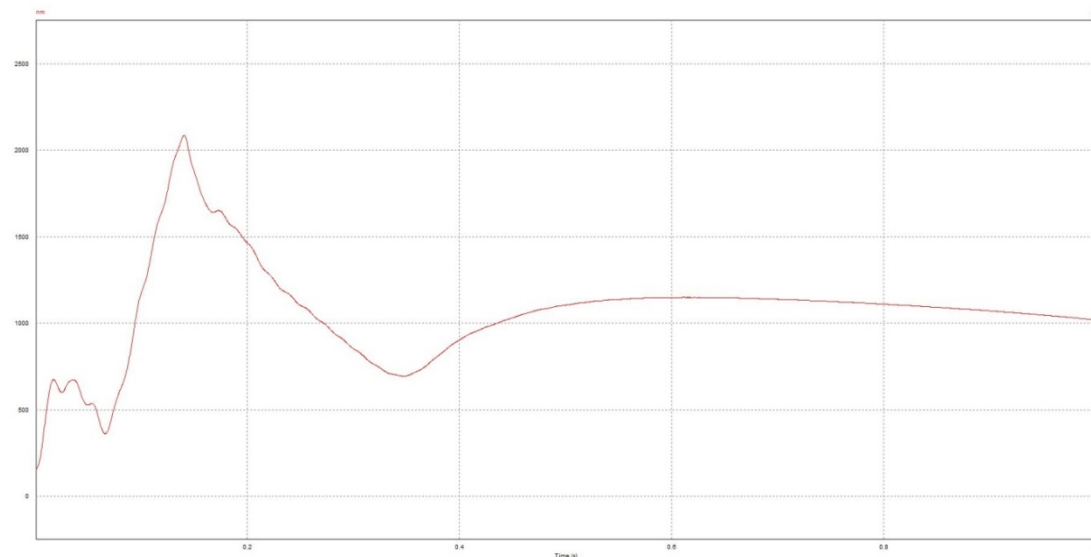


Рис. 5 – Осциллограмма входной скорости генератора

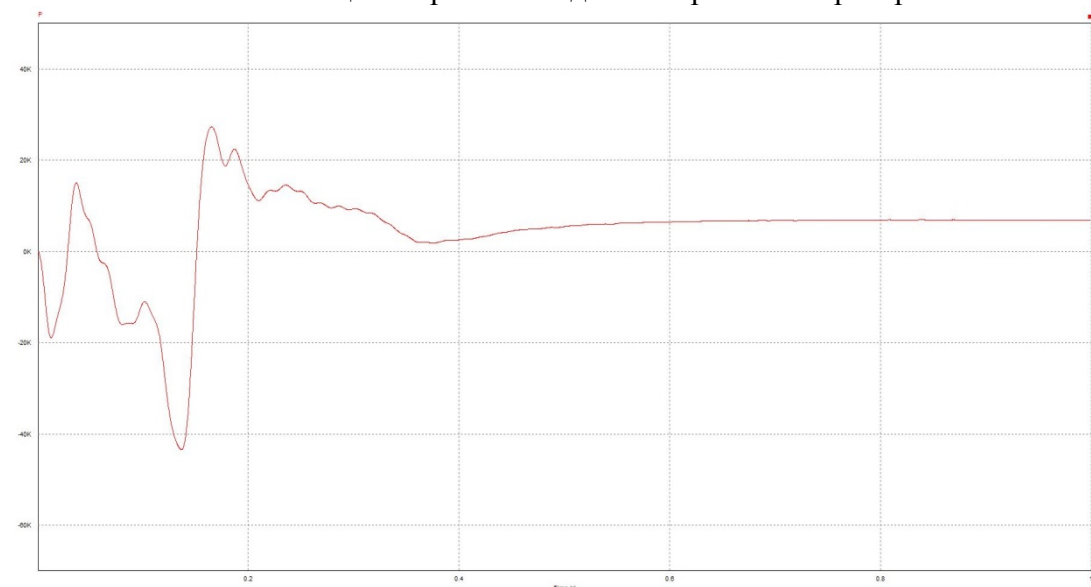


Рис. 6 – Осциллограмма мощности генератора

Переходные процессы скорости генератора и активной мощности при пуске системы электропривода удовлетворяют предъявляемым требованиям по длительности переходных процессов.

Результаты моделирования показывают, что разработанная модель системы электропривода ветроэнергетической установки позволяет получить требуемое напряжение, активную и реактивную мощность при различных значениях скорости ветра. Система векторного регулирования координат обеспечивает устойчивую работу электропривода в номинальных режимах работы.

Список литературы

1. *Hassanzadeh F., Sangrody H., Hajizadeh A. and S. Akhlaghi*, "Back-to-back converter control of grid-connected wind turbine to mitigate voltage drop caused by faults," 2017 North American Power Symposium (NAPS), Morgantown, WV, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/NAPS.2017.8107205.
2. *Ulu, Cenk & Kömürköz, Güven.* (2017). Electrical design and testing of a 500 kW doubly fed induction generator for wind power applications. Turkish journal of electrical engineering & computer sciences. 25. 1278-1290. 10.3906/elk-1512-28.
3. *Meenakshi, Veerappan & Paramasivam, Sathesh.* (2016). Comparison of PMSG and DFIG in Wind Turbine and Implementation of SVPWM Schemes of Inverter. 9. 1-9.
4. Wind energy | Open Energy Information/https://openei.org/wiki/Wind_energy
5. *Fan, L. & Miao, Z.* (2015). Modeling and Analysis of Doubly Fed Induction Generator Wind Energy Systems. Modeling and Analysis of Doubly Fed Induction Generator Wind Energy Systems. 1-145.
6. *Бобров М.А., Тутаев Г.М.* Наблюдатели магнитного потока в системе управления электроприводом с двигателем двойного питания // Электричество. 2018. №2. – С. 44-51.
7. *Тутаев Г.М., Бобров М.А.* Анализ устойчивости наблюдателя магнитного потока в системе управления электроприводом на базе машины двойного питания // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №1. – С.140-143.
8. *Тутаев, Г.М. Бобров М.А.* Экстремальное управление электроприводом с машиной двойного питания по энергетическим критериям // Интеллектуальная электротехника. 2018. №1. – С.48-60.

05.13.18

М.А. Бобров, А.Е. Шашунькин

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,
Институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и электротехники,
Саранск, ShashunkinAE@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНО - РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПИТАНИИ ОТ РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

В статье представлены результаты моделирования частотно - регулируемого электропривода с резервным источником постоянного тока, позволяющие исследовать динамические режимы работы регулируемого электропривода при переключении на резервный источник питания.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, резервный источник питания, преобразователь электрической энергии, имитационное моделирование.

В настоящее время в силу ряда широко известных преимуществ наиболее широкое применение находят двигатели переменного тока при реализации систем регулируемого электропривода общепромышленных установок и механизмов [1,2]. Однако, необходимо отметить, что все преимущества автоматизированного электропривода переменного тока достижимы при условии стабильного электропитания. Для обеспечения бесперебойной и устойчивой работы ответственных и автономных объектов по принципу горячего и теплового резервирования с замещением применяют алгоритм переключения, который обеспечивает стабильный, безударный перевод электропривода на резервный источник питания [3] за интервал времени не более 20 мс без существенной просадки производительности технологического процесса [4].

Структурная схема электропривода переменного тока с резервным электропитанием показана на рисунке 1.

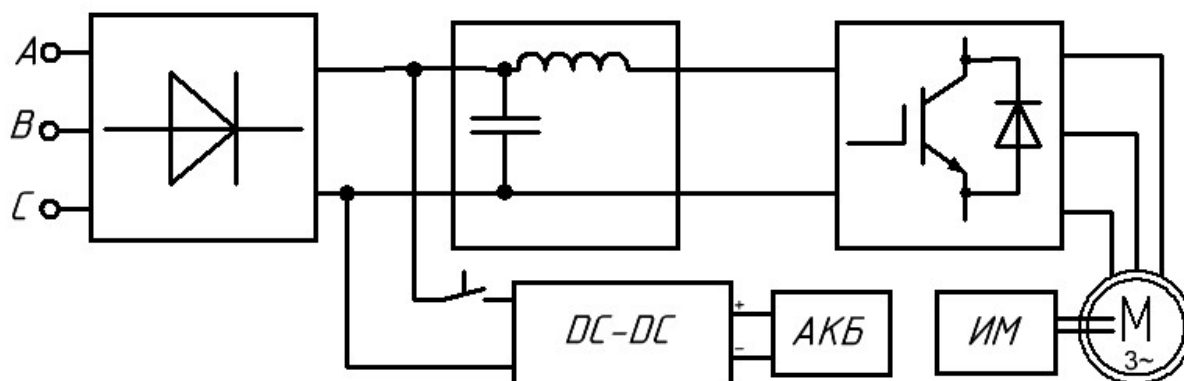


Рис. 1 – Структурная схема электропривода с источником резервного питания

В качестве источника резервного питания выступает аккумуляторная батарея с повышающим DC-DC преобразователем, коммутация осуществляется с помощью транзисторного ключ для обеспечения принципа «горячего» резервирования. DC-DC преобразователь с гальванической развязкой подробно описан в [5]. Особое требование к данной системе резервирования – гальваническая развязка основной питающей сети от резервной [6], так же преобразователь обеспечивает стабилизацию напряжения звена постоянного тока преобразователя частоты и дает возможность осуществить рекуперацию энергии при работе электропривода в генераторном режиме [7].

Имитационная модель состоит из автономного инвертора напряжения с векторным принципом управления, асинхронного электродвигателя, системы переключения, DC-DC преобразователя с гальванической развязкой с собственной системой управления.

Система переключения основана на отслеживании линейного выпрямленного напряжения с датчиков, каждый датчик имеет делитель.

Выделив постоянную составляющую с помощью конденсатора, с параллельно включенным резистором и аппроксимируя сигнал через RMS блок, можно получить резкий спад фронта сигнала в момент аварии. После фильтрации сигнала и сравнения его с уставкой с помощью компаратора можно эффективно и быстро выполнить переключение.

Аварийный режим работы привода моделируется переключением основного источника трехфазного напряжения на другой источник с напряжением ниже основного (амплитудой около 20 В), посредством коммутации блоков MUX ступенчатым воздействием в интервал времени 0.75 с. Исходя из настроек системы переключения, выдача управляющего сигнала должна произойти за время, не превышающее 3 мс. На рисунке 2 показаны: осциллограмма напряжения на входе преобразователя частоты и форма управляющего сигнала, который формирует система переключения в момент имитации просадки уровня напряжения основной питающей сети.

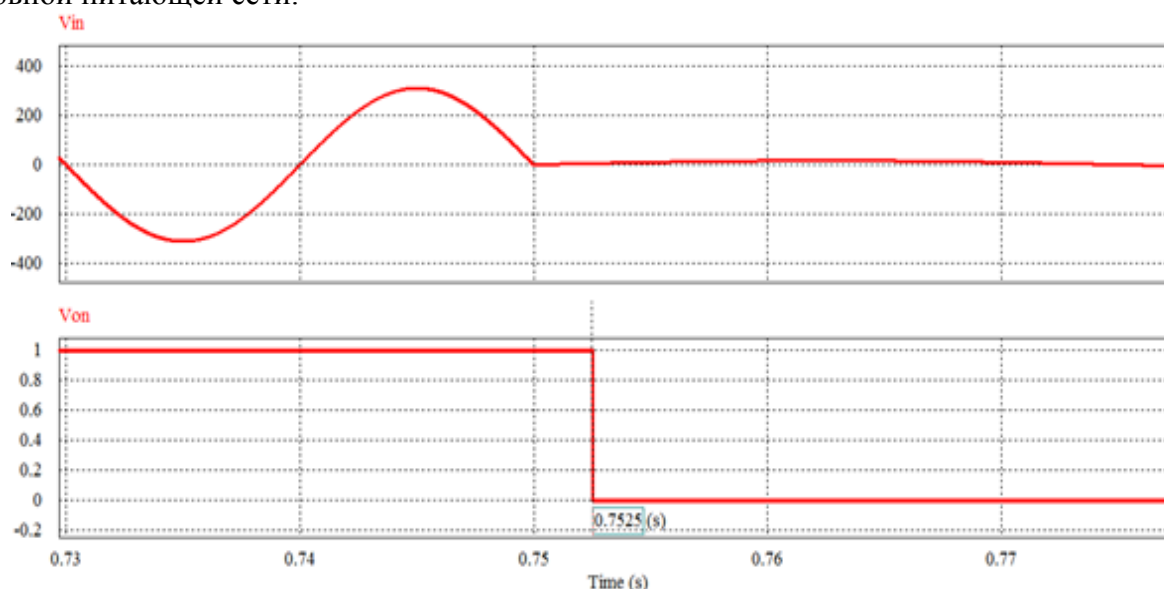


Рис. 2 – Осциллограмма входного напряжения и разрешающего сигнала на переключение

Как видно из осциллограммы, реакция системы переключения не превышает 2.5 мс.

На рисунке 3 показаны осциллограммы переходных процессов в звене постоянного тока и ток фазы А асинхронного двигателя при возникновении аварийной ситуации в интервал времени 0.75 с.

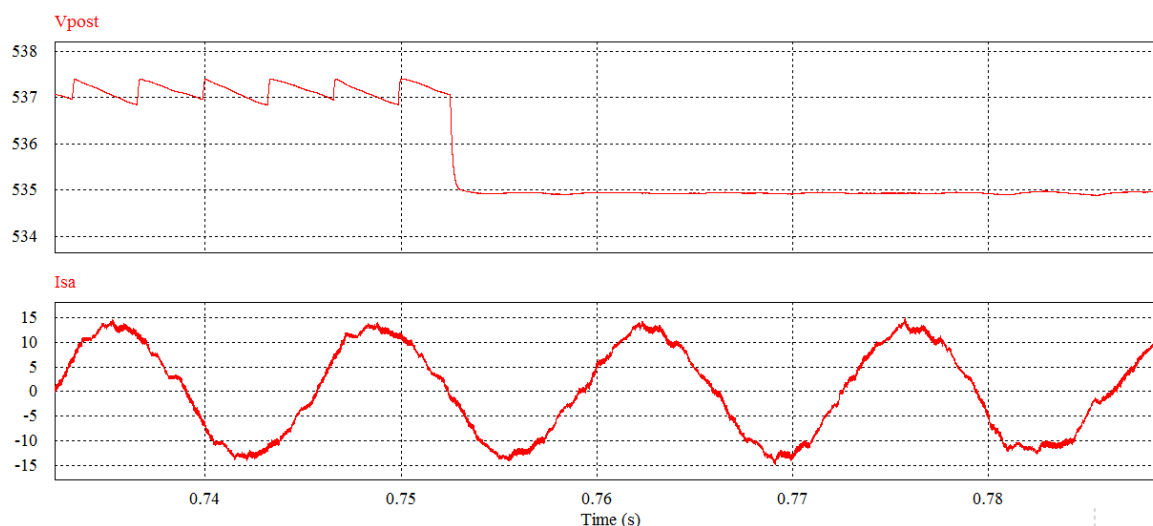


Рис. 3 – Осциллограммы напряжения и тока фазы А соответственно

Уровень выходного напряжения DC-DC преобразователя стабилизирован и составляет $U_{dc}=535$ В. Из рисунка 3 видно, что бросков тока при переключении привода на резервный источник питания не происходит, так же форма тока фазы А асинхронного двигателя близка к синусоидальной. Импульсов напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты не происходит за счет динамики срабатывания системы переключения и системы стабилизации уровня напряжения DC-DC преобразователя с гальванической развязкой. Основной задачей, как было сказано выше, это безударное переключение электропривода. На рисунке 4 показаны переходные процессы скорости и момента асинхронного электродвигателя. Во время переходного процесса, момент двигателя имеет небольшой пик, но он незначительно превышает номинальное значение пульсации. Переходный процесс скорости происходит за период времени менее 20 мс, что соответствует принципу горячего резервирования [7], при этом не возникает бросков скорости электродвигателя.

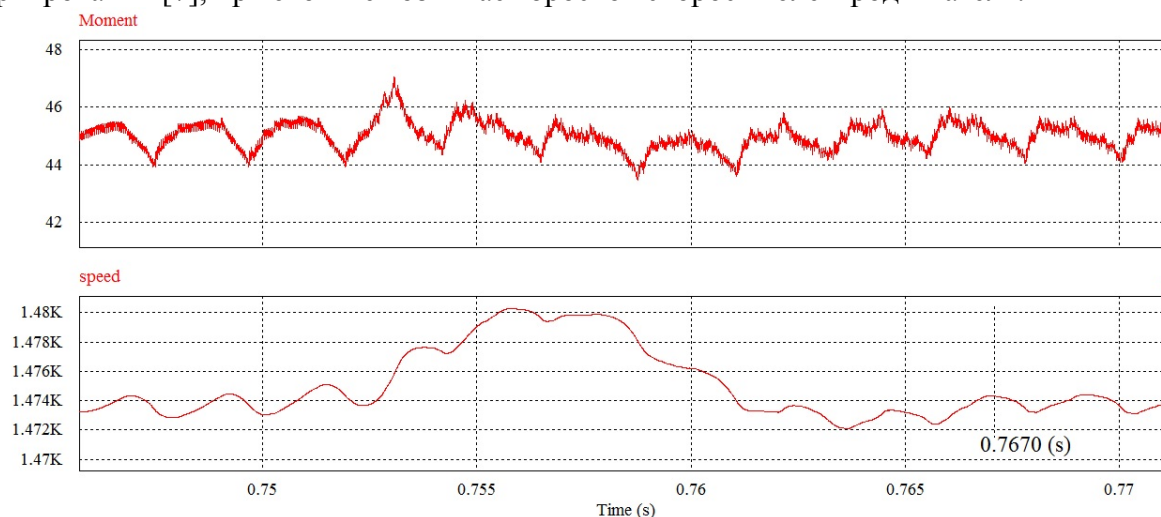


Рис. 4 – Осциллограммы переходного режима момента и скорости двигателя.

Результаты моделирования показывают, что DC-DC преобразователь с гальванической развязкой обеспечивает требуемый уровень напряжения для работы преобразователя частоты. Система переключения способна обеспечить переход электропривода на резервный источник питания за время не превышающее 20 мс, причем переходный процесс практически не влияет на момент и скорость электродвигателя, тем самым производительность технологического процесса не снижается.

Список литературы

1. Бобров М.А., Тутаев Г.М. Наблюдатели магнитного потока в системе управления электроприводом с двигателем двойного питания // *Электричество*. 2018. № 2. С. 44-51.
2. Тутаев Г.М., Бобров М.А. Анализ устойчивости наблюдателя магнитного потока в системе управления электроприводом на базе машины двойного питания // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2018. № 1. С. 140-143.
3. Тутаев Г.М., Бобров М.А. Экстремальное управление электроприводом с машиной двойного питания по энергетическим критериям // *Интеллектуальная электротехника*. 2018. № 1. С. 48-60.
4. ГОСТ 27.002-15. Надежность в технике. Термины и определения – М.:Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС), 2015. – 28 с.
5. MojtabaForouzesh, Student Member, IEEE, Yam P. Siwakoti, Member, IEEE, Saman A. Gorji, Student Member, IEEE, FredeBlaabjerg, Fellow, IEEE, and Brad Lehman, Senior Member, IEEE. Step-Up DC–DC Converters: A Comprehensive Review of Voltage-Boosting Techniques, Topologies, and Applications/ *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 32, NO. 12, DECEMBER 2017, pp 9143 – 9178.
6. Kheraluwala M.H., Gascoigne R.W., Divan D.M., Baumann E.D. Performance Characterization of a High-Power Dual Active Bridge dc-to-dc Converter / M.H. Kheraluwala, R.W. Gascoigne, D.M. Divan, E.D. Baumann // *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 28, no. 6, Nov./Dec. 1992, pp. 1294 –1301.
7. Вислогузов Д.П., Котин Д.А. Синтез системы управления импульсным преобразователем постоянного тока в составе электропривода переменного тока // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2018. №3. – С. 53-58.

05.13.18

А.В. Бондаренко, А.В. Казаков канд. техн. наук, Н.М. Труфанова д-р техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике»,
Пермь, a.bondarenko1991@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В КАНАЛАХ КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ПРИ НАЛОЖЕНИИ МНОГОСЛОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА СЕКТОРНУЮ ЖИЛУ

Данная статья посвящена моделированию и изучению стационарного неизотермического совместного течения полимерных жидкостей в каналах кабельной головки сложной коническо-цилиндрической формы, применяемой для наложения многослойного изолирующего покрытия на секторную жилу. Математическая модель процесса тепломассопереноса основывается на законах сохранения. Расчеты выполнялись с помощью программного пакета ANSYS POLYFLOW.

Ключевые слова: время пребывания, полимерные материалы, траектории движения частиц.

Получение качественных покрытий в процессе экструзии определяется соблюдением рациональных технологических режимов. Несмотря на многочисленные исследования многослойных течений [1-4], недостаточно внимания уделяется такому параметру как время пребывания.

Постановка задачи

Схема расчетной области трехслойного потока полимеров представлена на рис. 1. Стрелками на схеме обозначены направления течения потоков и движение токопроводящей жилы.

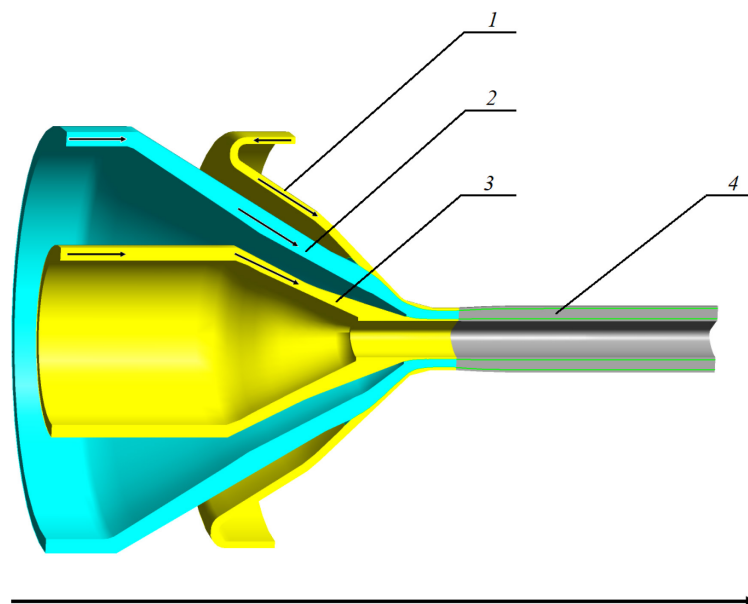


Рис. 1 – Схема расчетной области трехслойного потока полимерных жидкостей:
1 – первый слой полимера; 2 – второй слой полимера; 3 – третий слой полимера;
4 – участок со свободной поверхностью

В работе изучается фрагмент выходной части кабельной головки для наложения трехслойных покрытий на заготовку секторной формы. С учетом особенностей решаемой задачи были сформулированы следующие допущения: процесс стационарный, среда несжимаемая, коэффициент поверхностного натяжения не учитывается, каналы кабельной головки рассматриваются в трехмерной пространственной системе координат.

Математическое описание процесса стратифицированного неизотермического течения трех полимерных жидкостей основывается на решении уравнений неразрывности, движения и энергии с учетом введенных допущений примет вид:

$$\rho_m \cdot v_m \cdot \nabla v_m = -\nabla p_m + \nabla \tau_m \quad (1)$$

$$\nabla v_m = 0, \quad m = 1, 2, 3 \quad (2)$$

$$\rho_m \cdot C_m \cdot v_m \cdot \nabla T = \nabla T \cdot \lambda_m \cdot \nabla T + (\tau_m : \nabla v_m) \quad (3)$$

Уравнение состояния нелинейно-вязкой жидкости в форме степенного закона:

$$\mu_m = \mu_{0m} e^{-\beta_m (T - T_0)} \left(\frac{I_2}{2} \right)^{\frac{n_m - 1}{2}} \quad (4)$$

$$\tau_{ij} = \mu_m \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (5)$$

В уравнениях (1)–(5) m — номер слоя, ρ — плотность, T — температура, C — теплоемкость, λ — теплопроводность, p — гидростатическое давление, μ — вязкость являющаяся функцией скорости сдвига и температуры, μ_0 — начальная вязкость при температуре T_0 , v_i и v_j — компоненты скорости, β — температурный коэффициент вязкости, τ_{ij} — компоненты девиатора напряжений, n_m — коэффициент аномалии вязкости для слоя m , I_2 — второй инвариант тензора скоростей деформации.

Граничные условия

На входах в каналы задавались прямоугольные эпюры скоростей, рассчитанные из заданного объемного расхода. На твердых стенках каналов выполняются условия прилипания и непроникновения. В зоне контакта с подвижной жилой задается продольная компонента скорости. На выходе из каналов головки предусмотрен участок свободно деформируемой поверхности. Кинематические и динамические условия задаются на границах раздела материалов и участке свободной поверхности. [2-3]

Материалы

Значения некоторых свойств материалов и параметров режимов течения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства материалов и параметры режимов течения

Свойства	Материал 1	Материал 2	Материал 3
Вязкость, μ_0 , Па*с	17500	49000	17500
Плотность, ρ , кг/м ³	1080	900	1080
Объемный расход, Q , м ³ /с	$5,627 \cdot 10^{-6}$	$2,573 \cdot 10^{-5}$	$5,408 \cdot 10^{-6}$

Сформированная система дифференциальных уравнений (1-5), замкнутая граничными условиями, решалась с помощью метода конечных элементов в программном пакете ANSYS POLYFLOW.

Для оценки сходимости выбранного численного метода реализации математической модели были проведены исследования зависимости полученных результатов от количества конечных элементов. К расчетам приняты значения 66000 конечных элемента и 2000 итераций.

Результаты исследования

В результате численного решения рассматриваемой задачи были получены поля скоростей, температур, давлений.

Время пребывания в канале может быть неодинаковым для различных частиц потока, так как в силу конфигурации канала частицы имеют различные траектории с неравными протяженностями. Для оценки времени пребывания экструдированных материалов в каналах кабельной головки были построены зависимости времени прохождения частиц материалов внутри каналов по индивидуальным траекториям. [3]

Влияние на скорость продвижения частиц в канале также оказывают граничные условия, в частности, полимерный материал вблизи неподвижных стенок затормаживается. В связи с этим принятие во внимание нескольких траекторий частиц материала может продемонстрировать полную картину движения материалов и времени нахождения расплава полимера в канале.

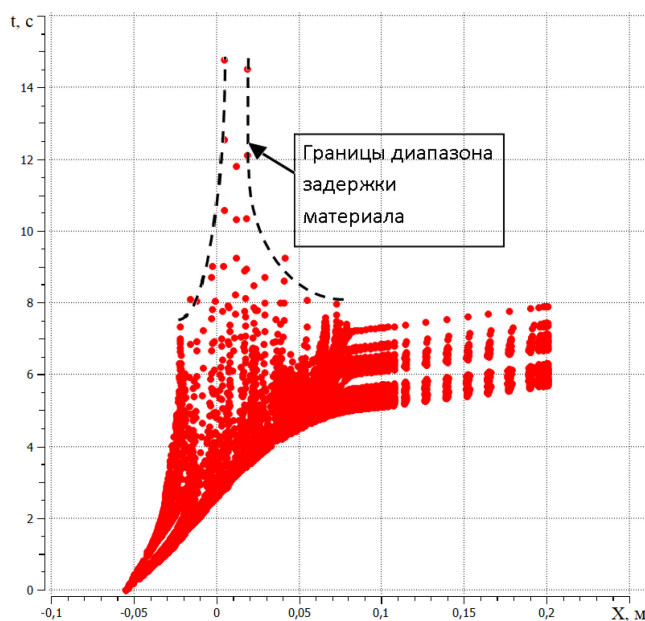


Рис. 2 – Время пребывания полимера в канале кабельной головки (изоляция) с увеличением количества рассматриваемых траекторий в канале

На рис. 2 показана полная картина движения частиц полимеров, учитывающая «медленные» слои пристеночных областей. Видно, что на границе слияния потоков наблюдается задержка материала до 15 секунд. Анализ полученных результатов показал, что отдельные времена пребывания значительно больше времени прохождения материала по оптимальной траектории. Это необходимо принимать во внимание при расчете режима работы экструзионного оборудования.

Заключение

В результате проведенных исследований была разработана модель процесса совместного течения трех полимерных жидкостей. Проведена оценка времени нахождения материала в различных точках геометрии каналов. Математическая модель позволит повысить качество выпускаемой кабельной продукции, за счет предварительной оценки времени пребывания материалов и увеличения стабильности процесса. Полученная временная картина, дополненная аналогичными данными для шнекового агрегата, позволяет лучше понимать процессы, происходящие внутри формирующих инструментов кабельного производства, а также контролировать процесс сшивки с получением качественных и прогнозируемых результатов.

Список литературы

1. *Снигирев Б.А., Тазюков Ф. Х.* Двухслойное течение расплавов полимеров в каналах фильер // Известия Саратов. ун-та. Нов. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2014, Т. 14, № 3. – С. 349–354.
2. *Бачурина М.В., Казаков А.В., Труфанова Н.М.* Математическое моделирование процесса стратифицированного течения расплавов полимеров в осесимметричной постановке // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2014. – № 2. – С. 102–124.
3. *Бондаренко А.В., Казаков А.В., Труфанова Н.М.* Численное исследование процессов течения полимеров при наложении многослойной изоляции на секторную жилу // Актуальные проблемы прикладной математики и механики: тез. докл. X Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти акад. А. Ф. Сидорова и 100-летию Урал. федер. ун-та. – 2020. – С. 12–13.
4. *Казаков А.В., Труфанова Н.М.* Численные исследования режимов стратифицированного течения и методика управления процессом экструзионного наложения многослойной изоляции // Известия Том. политехн. ун-та. – 2012. – Т. 320, № 4. – С. 167–171.

05.13.18

А.В. Волков канд. техн. наук, А.В. Пантелеев канд. техн. наук, К.В. Страфеева

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва,
Институт электроники и светотехники,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
Саранск, elsoldador@rambler.ru

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ СИГНАЛА

Статья посвящена обзору математической модели газоразрядных натриевых ламп высокого давления и метода нелинейного моделирования с помощью многослойной нейронной сети. Особое внимание уделяется интеллектуальному анализу данных. Для более эффективного анализа хода технологического процесса определяются параметры, которые следует включить в план анализа, чтобы выявить факторы, оказывающие существенное влияние на процесс контроля и испытания натриевых ламп высокого давления.

Ключевые слова: математическая модель, нелинейное моделирование процессов, многослойная нейронная сеть, экспериментальные данные.

В настоящее время искусственные нейронные сети представляют собой новую и перспективную вычислительную технологию, позволяющую в ряде случаев весьма эффективно решать задачи в самых различных областях науки. Возможность моделировать нелинейные процессы, работать с зашумленными данными и способность к адаптации позволяют применять нейронные сети для решения широкого класса задач управления [1, 2].

Особенности искусственных нейронных сетей делают их универсальным средством для контроля и управления сложными объектами, то есть многомерными, нелинейными, нестационарными, плохо управляемыми и наблюдаемыми объектами с нерегулярной и статистической динамикой [3].

Искусственный нейрон содержит те же элементы, что и биологический, но с более простым отображением входного сигнала в выходной.

На его входы поступает множество сигналов x_i с выходов других нейронов, которые образуют входной вектор $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_i]^T$. Все сигналы, умноженные на соответствующие весовые коэффициенты, w_{ij} суммируются. Такие коэффициенты образуют весовой вектор $\mathbf{w} = [w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{ij}]$, где коэффициент w_{ij} соответствует связи от i -го нейрона к j -му нейрону. Результат суммирования поступает на пороговый элемент, характеризуемый величиной порога b_j и некоторой функцией активации f . Таким образом, сигнал y_j на выходе нейрона j может быть представлен в виде

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i - b_j\right) \quad (1)$$

или в матричной форме

$$y_j = f(\mathbf{w}\mathbf{x} + b_j). \quad (2)$$

Рассмотрим построение и обучение двухслойной динамической нейронной сети с линейными функциями активации, моделирующей работу натриевой лампы высокого давления (НЛВД). Изменение параметров происходит за счет изменения параметров переменных.

На рисунке 1 показаны результаты моделирования НЛВД, при этом применялась двухслойная динамическая нейронная сеть с линейной функцией активации.

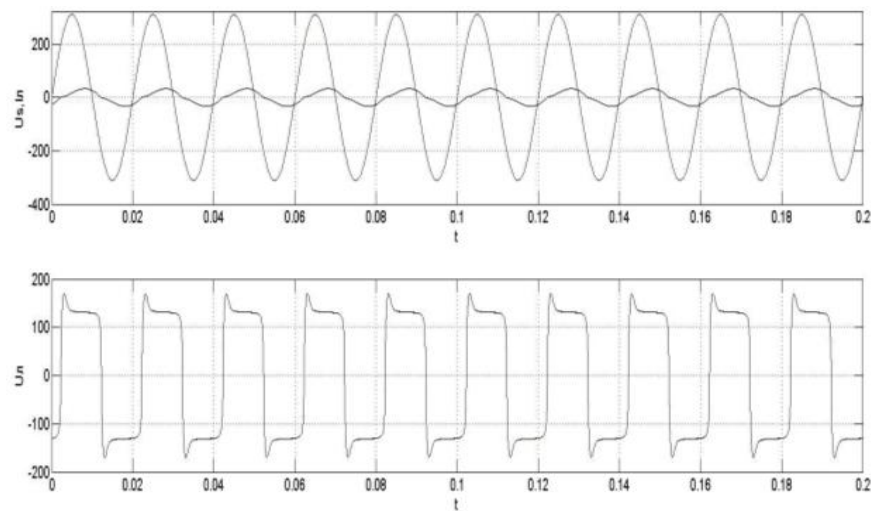


Рис. 1 – Результаты моделирования НЛВД

Эти параметры использовались в качестве обучающей выборки. Обучение осуществлялось по алгоритму обратного распространения ошибки с использованием метода Левенберга–Марквардта. [4]

В результате получена нейронная сеть со структурой, показанной на рисунках 2 – 4. В первом слое использовались два нейрона, во втором – один.

Ошибка обучения такой сети (рисунок 4) практически равна нулю.

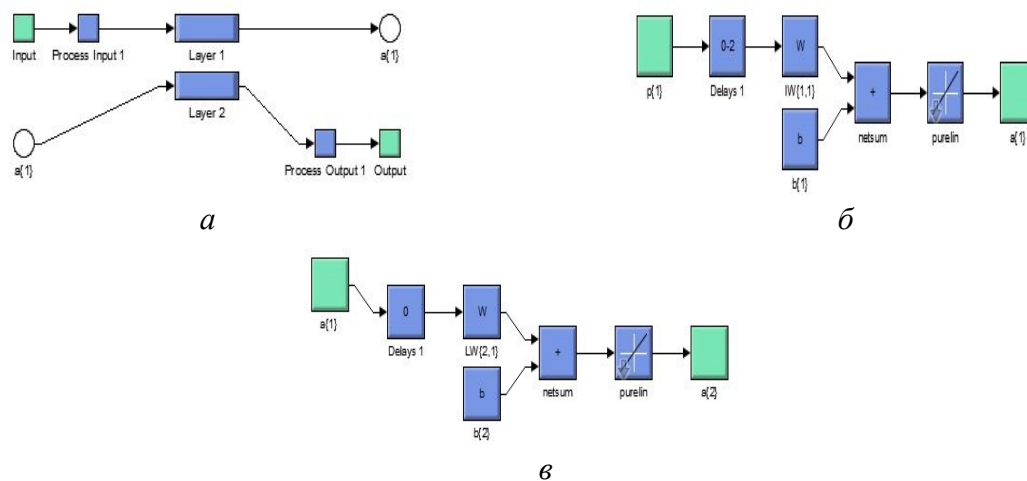


Рис. 2 – Структура нейронной сети:

a – двухслойная нейронная сеть; *б* – структура первого слоя; *в* – структура второго слоя

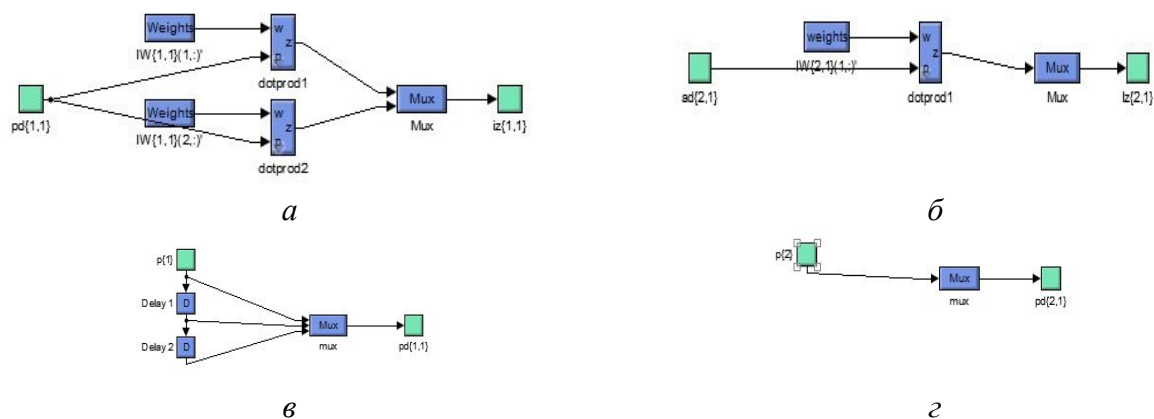


Рис. 3 – Структура нейронной сети:

a – коэффициенты ввода дендрита первого слоя; *б* – то же второго слоя;
в – функция активации для первого слоя; *г* – то же для второго слоя

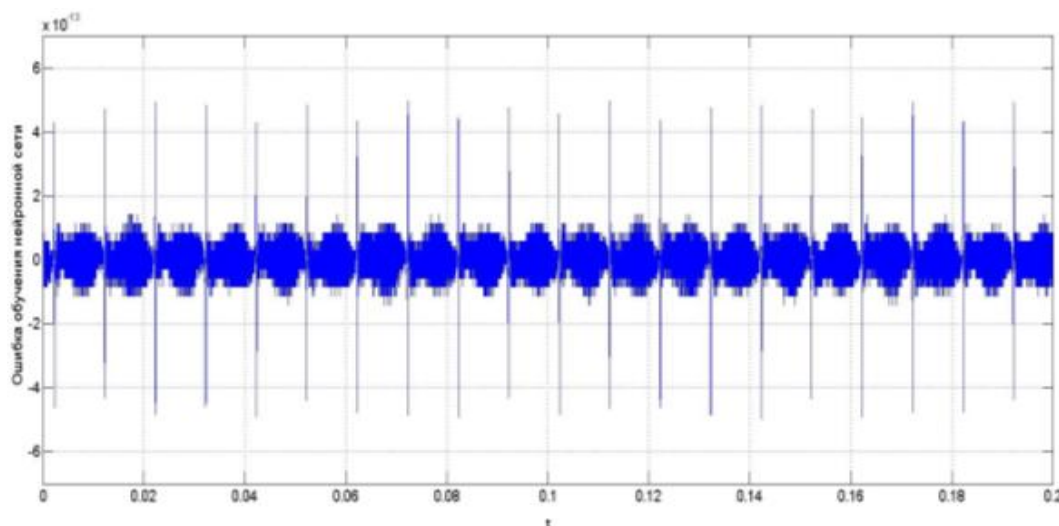


Рис. 4 – Ошибка обучения нейронной сети

Нейросетевая модель, построенная на основе динамической двухслойной нейронной сети, характеризуется параметрами, представляющими собой синаптические (весовые) коэффициенты сети. Ошибка моделирования практически равна нулю. [5]

При дальнейших исследованиях для повышения точности контроля натриевых ламп высокого давления автором предложено расширить количество измеряемых параметров лампы, дополнив его помимо падения напряжения на лампе потребляемым ей током. Также расширение количества измеряемых параметров позволит разработать ряд уточненных математических моделей лампы, отличающихся различной степенью детализации протекающих в ней физических процессов. Проанализировав математическую модель проводимости лампы, были выявлены три параметра: падение напряжения, потребляемый ток и среднее значение проводимости. В результате анализа установлено, что ошибка модели не превышает 9,2%, параметрическая идентификация простая, число идентифицируемых параметров – 3. Также в ходе анализа обнаружено, что ошибка модели практически равна нулю, параметрическая идентификация модели сложная и требует использования нейросетевых технологий.

Список литературы

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен. – М.: Мир, 1990. – 240 с.
2. Hopfield J. Computing with Neural Circuits: A model / J. Hopfield, D. Tank // Science. – 1986. – Vol. 233, № 4764. – P. 625–633.
3. Фёдорова В.П. Теорема Стоуна–Вейерштрасса и пространства мер / В.П. Фёдорова // Матем. заметки. – 2002. – Т. 72, вып. 3. – С. 455–467.
4. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem / R. Hecht-Nielsen // IEEE First Annual Int. Conf. on Neural Networks. – 1987. – Vol. 3. – P. 11–13.
5. Пойда В.Н. Спектральный анализ в дискретных ортогональных базисах / В. Н. Пойда. – Минск: Наука и техника, 1978. – 136 с.

05.13.18

А.В. Волков канд. техн. наук, Д.А. Салкин канд. физ.-мат. наук, О.О. Темаева

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва,
Институт электроники и светотехники,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
Саранск, elsoldador@rambler.ru

АНАЛИЗ ОШИБОК МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Статья посвящена влиянию ошибок моделирования на аналитическую модель газоразрядных натриевых ламп высокого давления и метода нелинейного моделирования с варьированием переменных модели. Особое внимание уделяется вычислительному эксперименту. При выборе как аналитической, так и физической модели для более эффективного анализа процесса необходимо учитывать ошибки моделирования.

Ключевые слова: математическая модель, нелинейное моделирование процессов, аналитическая модель, экспериментальные данные.

Современные сложные системы управления производственными процессами реализуются в основном с использованием инновационных информационных технологий, что приводит к быстрому росту и развитию компьютерных средств обработки данных и необходимости интеллектуального анализа получаемых экспериментальных результатов.

Для более эффективного анализа процесса необходимо определить, какие параметры следует включить в план анализа, чтобы выявить факторы, оказывающие существенное влияние на процесс. Одной из характеристик интеллектуального анализа данных является формулировка объективных критериев.

Проблематичным становится и наличие в данных «шума», поскольку его включение приведет к ошибкам в нахождении законов развития технологического процесса.

Большинство известных математических моделей [1, 2, 3, 5] сосредоточены главным образом на адекватном представлении статических характеристик натриевой лампы высокого давления (НЛВД), также подходящей для описания условий работы в стационарном режиме.

В то же время недостаточное внимание уделяется анализу процессов пуска и зажигания, хотя специфические аспекты динамики изменения параметров модели лампы имеют значительное влияние на характеристики НЛВД. Отражение физических законов этих процессов приводит к системе, которая включает обыкновенные дифференциальные уравнения, дополненные алгебраическими связями [6]. Во-вторых, сложность адаптации существующего математического аппарата для работы с результирующими дифференциально-алгебраическими системами, которые имеют значительную нелинейность и переменную степень жесткости [1, 4] в разные промежутки времени. Поэтому остается актуальной задача построения моделей, реализованных с помощью программного обеспечения нестационарных режимов НЛВД, которые позволяют эффективно управлять ими.

Математические концепции, предложенные в [8], были разработаны на основе анализа причинно-следственных связей между параметрами и содержат физически определенные константы и регулируемые коэффициенты, которые оцениваются косвенно из экспериментальных данных.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{1}{L} \left[U_s - \left(\frac{1}{x_2 x_3} + R \right) x_1 \right], \\ \frac{dx_2}{dt} &= A_l U_0^2 x_2^2 \frac{\left(\frac{x_1}{U_0 x_2 x_3} \right)^2 - 1}{1 + k_1 \left(\frac{|x_1|}{U_0 x_2 x_3} - 1 \right)}, \\ \frac{dx_3}{dt} &= \left[k_2 + k_3 \left(\frac{|x_1|}{U_0 x_2 x_3} \right)^{k_4} \right] \left[1 + k_1 \left(\frac{|x_1|}{U_0 x_2 x_3} - 1 \right) - x_3 \right], \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где x_1 – ток лампы; x_2 – приведенная проводимость лампы, учитывающая среднее значение концентрации электронов; x_3 – безразмерная величина, учитывающая подвижность электронов; L , R – соответственно индуктивность и активное сопротивление ограничивающего дросселя; U_s , U_0 – соответственно напряжение питающей сети и номинальное напряжение на лампе; A_l – коэффициент, определяемый конструкцией лампы; k_1 – k_4 – электрические коэффициенты, определяемые для конкретного типа лампы.

Выбор математических моделей будем проводить путем решения идентификационной задачи отображения параметров этих имитационных моделей в параметры аналитической модели (1), определенной в пространстве состояний обобщенных координат НЛВД. Задача параметрической идентификации сводится к отысканию таких оценок параметров модели, которые обеспечивают наибольшую в каком-либо смысле близость расчетных и экспериментальных выходных переменных при одинаковом значении входных переменных. Для идентификации нелинейных систем разработано довольно много подходов и методов [4, 7, 8].

Дана математическая модель динамической нелинейной системы:

$$F(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{y}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\theta}) = 0, \quad (2)$$

где $\mathbf{x}$, $\dot{\mathbf{x}}$ – векторы переменных состояния и их производные, $\mathbf{y}$, $\mathbf{u}$ – векторы выходных и входных переменных; $\boldsymbol{\theta}$ – вектор параметров модели.

На математической модели (2) варьированием параметров $\boldsymbol{\theta}$ проводится эксперимент (например полнофакторный эксперимент 2^N , где N – размерность вектора $\boldsymbol{\theta}$), и формируется выборка параметров модели $\boldsymbol{\Theta}$ и обучающая выборка для построения имитационных моделей с массивом входов $\mathbf{P}$ и массивом выходов $\mathbf{T}$:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_d &= [\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{U}]; \\ \mathbf{T}_d &= \mathbf{Y} \end{aligned} \quad (3)$$

где $\mathbf{X}$, $\mathbf{Y}$, $\mathbf{U}$ – массивы данных, включающие все переменные модели, полученные в каждом из N опытов плана эксперимента. В MATLAB была разработана подпрограмма решения системы уравнений (1), для которой, результаты показаны на рисунке 1.

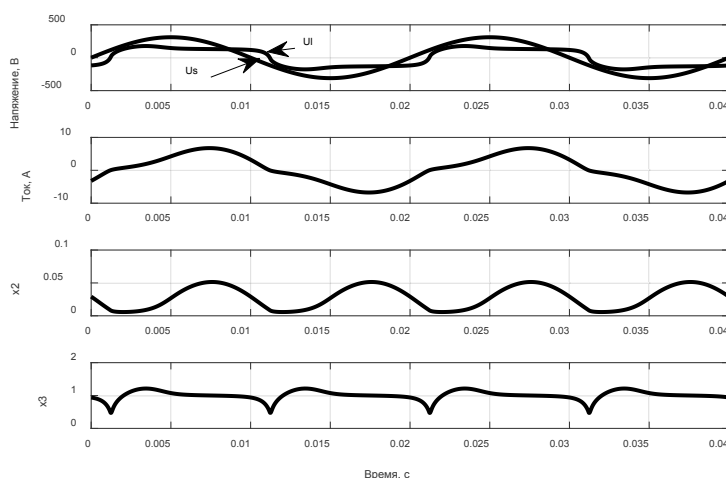


Рис. 1 – Результаты решения системы

Для построения имитационных моделей в рамках поставленной задачи идентификации был проведен эксперимент, в ходе которого случайным образом в ограниченном диапазоне изменялись параметры модели (1).

В каждом опыте проводилось численное решение системы (1), и по рассчитанным напряжению U_l и току I_l лампы формировалась выборка:

$$\begin{aligned} P_d &= [U_l, I_l]; \\ T_d &= I_l, \end{aligned} \quad (4)$$

где U_l, I_l – массивы осциллограмм токов и напряжений, полученных в результате решения системы (1) в каждом из опытов (рисунок 2).

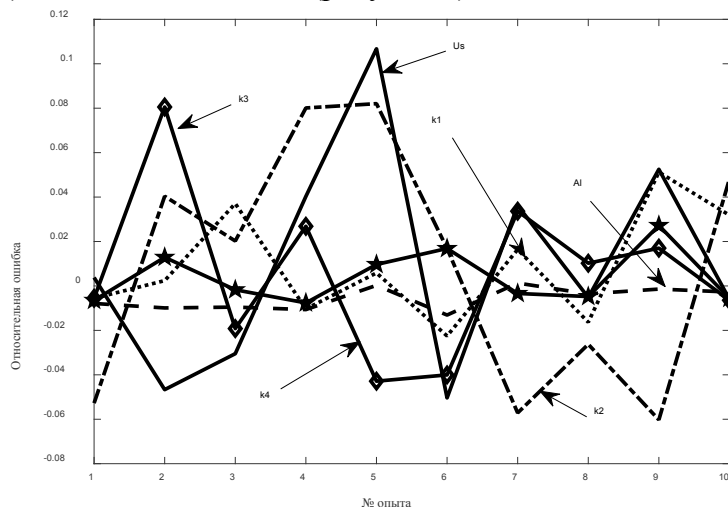


Рис. 2– Ошибки вычисления параметров аналитической модели

Полученные данные (1) использовались для расчета параметров математических моделей, разработанных в работе [2, 3, 4], а именно модели проводимости, модели матричных операторов нейросетевой модели [7, 8].

Обзор приведенных методов анализа данных позволил остановиться на анализе параметров временных рядов, генерируемых системой контроля с применением статистических и динамических моделей временного ряда. По максимальной ошибке параметрической идентификации проведен выбор математической модели для контроля качества натриевых ламп высокого давления. В качестве такой модели выбрана модель проводимости с максимальной ошибкой идентификации, не превышающей 9,2 %.

Список литературы

1. Краснопольский А.Е. О дифференциальном уравнении газоразрядной лампы / А.Е. Краснопольский // Светотехника. – 1977. – № 12. – С. 13–15.
2. Поляков В.Д. Моделирование электрической проводимости натриевой лампы высокого давления / В.Д. Поляков, Е.А. Обжерин // Вестник МЭИ. – 2003. – №4. – С. 86–91.
3. Харченко В.Ф. Модифицированная модель нестационарных режимов разрядной лампы высокого давления с индуктивным балластом / В.Ф. Харченко, А.А. Якунин // Світлотехніка та електроенергетика. – 2012. – № 2 (30). – С.4–12.
4. Semenov A.D. Quality control of sodium high-pressure lamps by the singular decomposition method [Электронный ресурс] / A. D.Semenov, A. V. Volkov // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018. – 2019. – Р. 1–4. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8602531/> (дата обращения: 10/12/2020).
5. Ходашинский И.А. Идентификация нечетких систем: методы и алгоритмы / И.А. Ходашинский // Проблемы управления. – 2009. – №9. – С. 15–23.
6. Хэнсен Б.Л. Контроль качества. Теория и применение : пер. с англ. / Б.Л. Хэнсен. – М. : Прогресс, 1968. – 269 с.
7. Цибизова Т.Ю. Методы идентификации нелинейных систем управления // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2 (ч. 14). – С. 3070–3074.
8. Пупков К.А. Функциональные ряды в теории нелинейных систем / К.А. Пупков, В.И. Капалин, А.С. Ющенко. – М.: Наука, 1976. – 448 с.

05.13.18

А.А. Дубанов канд. техн. наук, Б.В. Заятуев канд. физ.-мат. наук,
А.В. Бадеев канд. физ.-мат. наук, А.Э. Севээн

Бурятский государственный университет,
Институт математики и информатики,
кафедра геометрии и методики преподавания математики,
Улан-Удэ, aikys.seveen@mail.ru

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СБЛИЖЕНИЯ

В данной статье рассматривается модель задачи преследования методом параллельного сближения. Целью данной статьи является модификация метода параллельного сближения для того, чтобы учитывать случай, когда в момент начала преследования вектор скорости преследователя направлен не на цель. Кроме того, в рассматриваемой в статье модели, преследователь не может мгновенно изменять направление движения, то есть происходит наложение условия, что радиус кривизны траектории движения преследователя не может быть меньше определенной величины. Предлагаемый метод основан на том, преследователь, выбирая шаг на этапе итераций, будет стараться следовать прогнозируемым траекториям.

Ключевые слова: цель, преследователь, траектория, сближение, моделирование.

В описании задачи преследования методом параллельного сближения в трудах Петросяна Л.О. [1], [2], [3] направление вектора скорости преследователя P и направление вектора скорости цели T пересекаются в одной точке K , принадлежащей окружности Аполлония.

Для точек P и T точка K окружности Аполлония характерна тем, что отношение длин $\frac{|PK|}{|QK|} = \frac{|V_P|}{|V_T|}$ есть отношение модулей скоростей преследователя и цели.

При квазидискретном моделировании точек траектории преследователя $\{P_i\}$ можно предложить следующую итерационную схему (Рис. 1):

$$P_i = P_{i-1} + V_P \cdot \Delta T \cdot \frac{K_{i-1} - P_{i-1}}{|K_{i-1} - P_{i-1}|}.$$

Радиус окружностей Аполлония будут такими: $R_i = \frac{V_T^2}{V_P^2 - V_T^2} \cdot |T_i - P_i|$.

Центры окружностей Аполлония считаем в виде: $Q_i = T_i + \frac{V_T^2}{V_P^2 - V_T^2} \cdot (T_i - P_i)$.

Координаты точки K_i есть продукт решения системы уравнений относительно непрерывного параметра t :

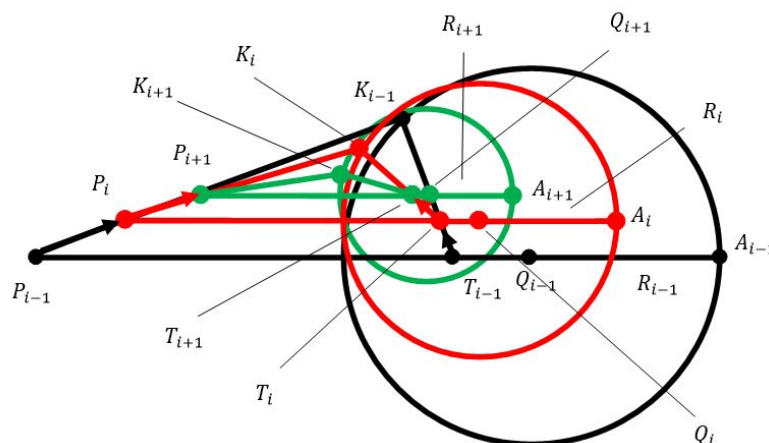
$$\begin{cases} (K_i - Q_i)^2 = R_i^2 \\ K_i = T_i + V_T \cdot \frac{T_{i+1} - T_i}{|T_{i+1} - T_i|} \cdot t \end{cases}$$


Рис. 1 – Итерационная схема

Такова одна из квазидискретных моделей построения траектории преследователя. Она требует, чтобы направления векторов движения преследователя и цели пересекались в точках, принадлежащим окружностям Аполлония.

Если рассмотреть итерационную схему, представленную на рис. 1, то мы видим, что на каждом шаге итераций линии, соединяющие преследователя и цель ($P_i T_i$), всегда параллельны между собой.

Данная модель нахождения траектории преследователя не позволяет моделировать, если точка пересечения направлений векторов движения не принадлежит окружности Аполлония для заданной пары точек преследователя и цели. Целью данной статьи является разработка метода решения именно такой задачи.

При реализации кинематической модели задачи преследования методом параллельного сближения был выбран пакет компьютерной математики MathCAD 15. Вначале для составной кривой в момент начала преследования, состоящей из дуги и отрезка, выполнили параметризацию от длины дуги. Для этого нам необходимо было получить упорядоченный набор точек $\{x_i, y_i\}$. По каждой координате встроенными средствами MathCAD, выполнили кубическую сплайн-интерполяцию от формального параметра δ и получили функции $X(\delta), Y(\delta), i \in [0, N - 1], \delta_i \leq \delta \leq \delta_{i+1}$, где $\delta_i = i$, а N – количество элементов массивов $\{x_i, y_i\}$.

Далее, был составлен Якобиан для передачи во встроенные решатели обыкновенных дифференциальных уравнений: $D(s, \delta) = \frac{1}{\sqrt{\frac{dX^2}{d\delta} + \frac{dY^2}{d\delta}}}$.

Полученное решение методом Рунге-Кутты 4 порядка выражает зависимость массивов $\{x_i, y_i\}$ от параметра длины дуги s . Таким образом, мы считаем, что уравнение базовой кривой, с которой мы будем совершать параллельный перенос, получено (Рис. 2).

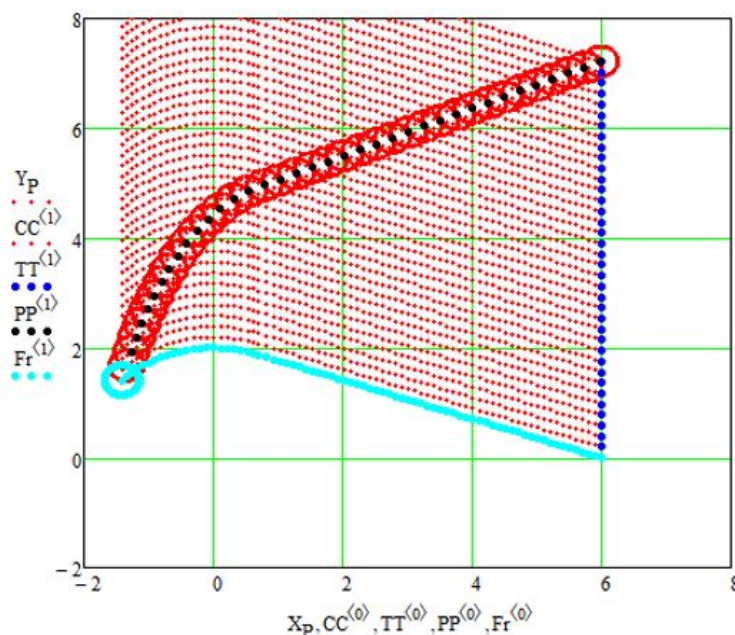


Рис. 2 – Кинематическая модель параллельного сближения

Встроенные средства численного решения уравнений системы MathCAD позволяют это решить при помощи процедуры *root*. Процедурой *root* решается в вычислительном цикле уравнение:

$$(f_{i-1}(s) + T_i - T_{i-1} - P_{i-1})^2 - (V_p \cdot \Delta T)^2 = 0, \text{ в диапазоне } s \in [0, s_{i-1}].$$

На рис. 2 представлены результаты моделирования тестовой программы. Рис. 2 дополнен ссылкой на анимированное изображение, где в динамике можно будет посмотреть процесс методом параллельного сближения.

Заключение

В настоящей статье рассматривается кинематическая модель задачи преследования на плоскости методом погони, когда в момент начала преследования скорость преследователя направлена не на цель.

Данный метод возможен для использования при разработке геометрической модели группового преследования с одновременным достижением цели или целей. Также возможно использование при разработке моделей, когда преследователь методом параллельного сближения достигает цели под заданными углами.

Данный метод моделирования задач преследования методом параллельного сближения может быть востребован при проектировании БПЛА с автономным управлением.

По предложенным моделям и алгоритмам написаны тестовые программы расчета траекторий в системе компьютерной математики MathCAD. Тексты программ доступны на ресурсе автора [11]. Ссылки на анимированное изображение, изготовленных по результатам работы программ доступны на ресурсе [10].

При написании статьи за основу приняты теоретические результаты, полученные в следующих источниках [1-4]. Также приняты во внимание результаты работ [5-9].

Список литературы

1. Петросян Л.А. Дифференциальные игры преследования // Соросовский Образовательный Журнал. — 1995. — № 1.
2. Петросян Л.А., Рихсиев Б.Б. Преследование на плоскости. — Москва: «Наука», 1961. - (Популярные лекции по математике). — ISBN 5-02-014154-2.
3. Петросян Л.А., Рихсиев Б.Б. Преследование на плоскости. Изд-во Наука, 1991. — 94 с.
4. Айзекс Р. Дифференциальные игры. Москва: Мир, 1967.
5. Ахметжанов А.Р. Динамические игры преследования на поверхностях: автореферат диссертация на соискание учебной степени кандидата физико-математических наук. Москва, 2019. 28 с.
6. Измestьев И.В., Ухоботов В.И. Задача преследования маломаневренных объектов с терминальным множеством в форме кольца. // Итоги науки и техн. Сер. Совр. Мат. и ее прил. Тем. Обз., 2018. Т 148, С. 25-31.
7. Кузьмина Л.И., Осипов Ю.В. Расчет длины траектории для задачи преследования. // Вестник МГСУ, Москва, 2013. С. 20-26.
8. Саматов Б.Т. Задача преследования убегания при интегрально-геометрических ограничениях на управления преследователя. // Автомат. и телемех., 2013, выпуск 7, С. 17-28.
9. Романников Д.О. Пример решения минимаксной задачи преследования с использованием нейронных сетей. // Сборник научных трудов НГТУ, №2 (92). Новосибирск, 2018. С. 108-116.
10. Анимированное изображение «Метод параллельного сближения на плоскости с ограничениями на кривизну» <https://www.youtube.com/watch?v=qNXdykK21Z8>
11. Программный код в системе MathCAD представлен URL: <http://dubanov.exponenta.ru/books.htm>

05.13.18

А.А. Дубанов канд. техн. наук, Б.В. Заятуев канд. физ.-мат. наук,
А.В. Бадеев канд. физ.-мат. наук, А.Э. Севээн

Бурятский государственный университет,
Институт математики и информатики,
кафедра геометрии и методики преподавания математики,
Улан-Удэ, aikys.seveen@mail.ru

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ НА ПЛОСКОСТИ МЕТОДОМ ПОГОНИ

В данной статье рассматривается кинематическая, геометрическая модель задачи преследования на плоскости методом погони, где преследователь не может мгновенно изменять направление движения, двигаясь при этом с постоянной по модулю скоростью. Начальная скорость преследователя направлена в момент начала преследования не на преследуемую цель. Для того, чтобы вектор скорости преследователя по истечению некоторого времени был направлен на цель, нами разработан метод, который основывается на следовании траектории, соединяющей преследователя и цель. Данная траектория учитывает инертность преследователя в том плане, что радиус кривизны траектории не может быть меньше некоторого порогового значения. По материалам данной статьи написаны тестовые программы и изготовлено анимированное изображение.

Ключевые слова: преследование, уклонение, убежание, моделирование.

Характерным для метода погони в задаче преследования на плоскости с постоянной скоростью является то, что вектор скорости преследователя точно совпадает с направлением на цель. В такой постановке задача имеет как непрерывную модель для решения, так и квазидискретную. В непрерывной модели решение основывается на численном или аналитическом решении системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} (T_x(t) - P_x(t)) \cdot \frac{dP_y(t)}{dt} = (T_y(t) - P_y(t)) \cdot \frac{dP_x(t)}{dt} \\ \left(\frac{dP_x(t)}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dP_y(t)}{dt}\right)^2 = V^2 \end{cases},$$

где $\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix}$ – вектор координат преследователя, $\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix}$ – вектор координат цели, V – постоянное значение скорости цели.

Где первое уравнение системы говорит о том, вектор скорости преследователя сонаправлен с вектором линии, соединяющей преследователя и цель. Второе уравнение системы говорит о постоянстве модуля скорости.

В качестве простого примера квазидискретной модели можно привести одну из итерационных схем, которая вычисляет координаты точек следующего положения преследователя: $P_{i+1} = P_i + V_P \cdot \Delta t \cdot (T_i - P_i)$, где P – координаты преследователя, T – координаты цели, V_P – скорость преследователя, Δt – период дискретизации

Как видно, из постановки задачи преследования методом погони с постоянной скоростью, вектор скорости преследователя должен быть всегда направлен на цель, даже момент начала преследования.

Допустим, в начальный момент времени скорость V_P преследователя не направлена на неподвижную цель T (Рис. 1). В силу того, в нашей модели приняты ограничения того, направление вектора скорости не может меняться мгновенно, и радиус кривизны траектории не может быть меньше некоторой величины, и ввели минимальный радиус кривизны траектории r .

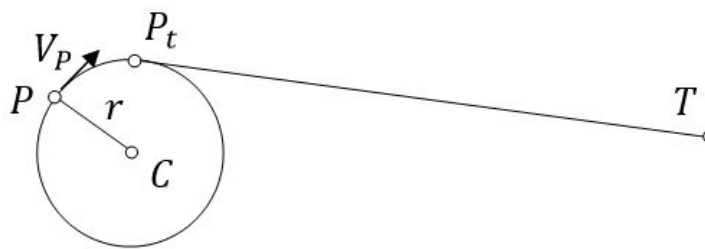


Рис. 1 – Моделирование траектории преследователя

Из рисунка 1 мы видим, чтобы достичь неподвижной цели T , преследователь P должен пройти дугу $\widehat{PP_t}$ и перейти на прямолинейный сегмент $[P_tT]$. Нашей задачей является разработка метода построения траектории преследователя P , когда цель T находится в движении.

В тестовой программе, написанной по материалам статьи, траектория преследователя является огибающей линией некоторого однопараметрического множества кривых, конгруэнтных между собой.

Положение в пространстве каждой линии определяется координатами цели и координатами преследователя. Координаты цели для каждой линии являются закрепленными, то есть совпадают с одним из концов.

Координаты преследователя перемещаются относительно линий. Это перемещение зависит перемещения координат цели. В итоге мы получаем однопараметрическое множество конгруэнтных линий, зависящих от положения цели.

Моделирование каждой из линий производилось сопряжением окружности заданного радиуса с прямой, ведущей к цели (Рис. 1). Радиус окружности определяется минимальным радиусом кривизны траектории преследователя.

Следует отметить следующее, что для моделирования прогнозируемых траекторий движения преследователя можно использовать не только результат сопряжения окружности и прямой. Для обеспечения достижения цели под заданным углом, возможно использования двух окружностей минимального радиуса кривизны траектории, и сопрягающих линий между ними.

Окружность со стороны цели обеспечивала бы нужный угол достижения цели, а окружность со стороны преследователя обеспечивала бы его начальное направление.

В качестве линии сопряжения возможно использование не только прямых, но и кубических парабол, кардиоид, спиралей Корню и других линий для обеспечения гладкости по второй производной в точках сопряжения.

Заключение

В настоящей статье рассматривается кинематическая модель задачи преследования на плоскости методом погони, когда в момент начала преследования скорость преследователя направлена не на цель.

Данный метод возможен для использования при разработке геометрической модели группового преследования с одновременным достижением цели или целей. Также возможно использование при разработке моделей, когда преследователь методом параллельного сближения достигает цели под заданными углами.

По предложенным моделям и алгоритмам написаны тестовые программы расчета траекторий в системе компьютерной математики MathCAD. Тексты программ доступны на ресурсе автора [14]. Ссылки на анимированное изображение, изготовленных по результатам работы программ доступны на ресурсе [13].

При написании статьи за основу приняты теоретические результаты, полученные в следующих источниках [1-4]. Также приняты во внимание результаты работ [5-12].

Список литературы

1. *Петросян Л.А.* Дифференциальные игры преследования // Соросовский Образовательный Журнал. — 1995. — № 1.
2. *Петросян Л.А., Рихсиев Б.Б.* Преследование на плоскости. — Москва: «Наука», 1961. - (Популярные лекции по математике). — ISBN 5-02-014154-2.
3. *Петросян Л.А., Рихсиев Б.Б.* Преследование на плоскости. Изд-во Наука, 1991. — 94 с.
4. *Айзекс Р.* Дифференциальные игры. Москва: Мир, 1967.
5. *Ахметжанов А. Р.* Динамические игры преследования на поверхностях: автореферат диссертация на соискание учебной степени кандидата физико-математических наук. Москва, 2019. 28 с.
6. *Измestьев И.В., Ухоботов В.И.* Задача преследования маломаневренных объектов с терминальным множеством в форме кольца. // Итоги науки и техн. Сер. Совр. Мат. и ее прил. Тем. Обз., 2018. Т 148, С. 25-31.
7. *Кузьмина Л.И., Осипов Ю.В.* Расчет длины траектории для задачи преследования. // Вестник МГСУ, Москва, 2013. С. 20-26.
8. *Саматов Б.Т.* Задача преследования убегания при интегрально-геометрических ограничениях на управления преследователя. // Автомат. и телемех., 2013, выпуск 7, С. 17-28.
9. *Романников Д.О.* Пример решения минимаксной задачи преследования с использованием нейронных сетей. // Сборник научных трудов НГТУ, №2 (92). Новосибирск, 2018. С. 108-116.
10. *Ibragimov, G.* Multi pursuer differential game of optimal approach with integral constraints on controls of players / G. Ibragimov, Norshakila Abd Rasid, A. Kuchkarov, F. Ismail//Taiwanese Journal of Mathematics. 2015. V. 19, № 3. P. 963–976
11. *Petrov, N.N.* Group pursuit with phase constraints in recurrent Pontryagin's example / N.N. Petrov, N.A. Solov'eva // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2015. V. 100, № 2. P. 263–278.
12. *Ibragimov, G.* A pursuit-evasion differential game with many pursuers and one evader / G. Ibragimov, N. A. Hussin // Malaysian Journal of Mathematical Sciences. 2010. V. 4, № 2. P. 183–194.
13. Анимированное изображение «Метод погони на плоскости с ограничениями на кривизну» <https://www.youtube.com/watch?v=UQ5bVKjVqZ4>
14. Программный код в системе MathCAD представлен URL: <http://dubanov.exponenta.ru/books.htm>

05.13.18

В.Д. Ермолаева, Е.Е. Орехова

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е.Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова,
кафедра ЯРиЭУ,
Нижний Новгород, valery.ermolaeva@yandex.ru

ОБЗОР ИНТЕГРАЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ КОДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В РЕАКТОРАХ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ. СРАВНЕНИЕ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

В данной статье выполнен краткий обзор интегральных расчетных кодов, используемых для моделирования аварийных ситуаций на быстрых реакторах. Был произведен сравнительный анализ российских кодов с зарубежными аналогами. В результате сравнения сделан вывод, что рассмотренные коды не уступают по функционалу зарубежным аналогам и даже превосходят их по некоторым показателям.

Ключевые слова: *безопасность, интегральный расчетный код, моделирование аварий, быстрые реакторы, СОКРАТ-БН, ЕВКЛИД.*

При проектировании реакторных установок одним из важнейших аспектов является обоснование безопасности. Из-за сложности получения экспериментальных данных используется численное моделирование аварийных режимов. Актуальной задачей для обоснования безопасности является разработка интегральных расчетных кодов нового поколения, позволяющих произвести анализ состояния реакторной установки и АЭС в целом.

При анализе аварий в быстрых реакторах как основные рассматриваются следующие исходные события: разогрев оболочек ТВЭЛов в связи с ухудшением теплоотвода из-за снижения расхода теплоносителя (авария типа ULOF), неконтролируемый ввод реактивности, приводящий к резкому увеличению мощности реактора (авария типа UTOP) и полная блокировка проходного сечения одной ТВС (авария типа PIB).

Российскими кодами, позволяющими проанализировать последствия тяжелых аварий в реакторах типа БН, являются два кода нового поколения — ЕВКЛИД и СОКРАТ-БН. Данные расчетные коды являются интегральными и обеспечивают моделирование на всех этапах тяжелой аварии, заканчивая оценкой дозы облучения, полученной населением.

Универсальный интегральный расчетный код ЕВКЛИД. Расчетный код ЕВКЛИД используется для детерминистического анализа при обосновании безопасности АЭС с реакторными установками на быстрых нейтронах со следующими типами теплоносителя: натрий, свинец, свинец-висмут, вода, воздух с оксидным и нитридным топливом в различных режимах работы, на этапах конструирования и проектирования.

Расчетный код включает в себя следующие модули, согласующиеся друг с другом:

БЕРКУТ – ТВЭЛный модуль, описывающий распределение температуры в ТВЭЛе, полученное из решения уравнения теплопроводности;

DN3D – нейтронно-физический модуль;

HYDRA-IBRAE/LM – теплогидравлический модуль, используемый для решения задач нестационарной теплогидравлики;

SAFR – тяжелоаварийный модуль для расчета разрушения ТВЭЛов и активной зоны;

КУПОЛ-БР — модуль для расчета процессов распространения продуктов деления и массопереноса внутри помещений АЭС;

BPSD — модуль расчета выгорания;

AEROSOL/LM, OXID, TRITIUM — модули, описывающие перенос продуктов деления, коррозии и активации в теплоносителе первого контура и в газовой системе реакторной установки;

РОМ — модуль, используемый для анализа радиационной обстановки.

Первая версия ЕВКЛИД/V1 [1] была аттестована в Ростехнадзоре в 2019 году. При ее использовании можно рассчитывать режимы нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации и аварии до этапа плавления ТВЭЛов. На базе ЕВКЛИД/V1 был создан интегральный расчетный код ЕВКЛИД/V2 [2], позволяющий рассмотреть большой диапазон режимов работы, включая аварии с расплавлением активной зоны с использованием оксидного и нитридного топлива.

Интегральный расчетный код СОКРАТ-БН. Расчетный код СОКРАТ-БН используется для обоснования безопасности АЭС с реакторными установками с натриевым теплоносителем при нарушениях нормальной эксплуатации и в аварийных режимах, включая плавление активной зоны. Совместно с расчетными кодами КУПОЛ-БН и НОСТРАДАМУС позволяет моделировать аварии вплоть до оценки радиационного воздействия на население и окружающую среду [3].

Расчетный код СОКРАТ-БН [4] был создан на основе кода СОКРАТ, предназначенного для реакторных установок типа ВВЭР.

В первой версии кода СОКРАТ-БН/V1 моделируются проектные и запроектные аварии, включая кипение натрия, до начала разрушения активной зоны.

Во вторую версию кода СОКРАТ-БН/V2 включены режимы моделирования, позволяющие рассмотреть тяжелые аварии с разрушением активной зоны.

Код состоит из двух расчетных блоков: предстартовый расчет для оценки состояния реакторной установки перед началом моделирования аварии и нестационарные расчеты.

Код СОКРАТ-БН включает в себя следующие модули:

БОНУС-БН — модуль, используемый для расчета накопления продуктов деления в топливе при нормальной эксплуатации;

ТВЭЛ-БН — модуль для анализа состояния ТВЭЛа в момент начала аварии;

SYNTES — нейтронно-физический модуль;

SO FAR-TN — теплогидравлический модуль;

РТОП-БНО — модуль для оценки геометрического и термомеханического состояния ТВЭЛов в момент начала аварии, выхода газовых продуктов деления в газовый зазор;

TRANS-FP — модуль, описывающий перенос продуктов деления и коррозии в теплоносителе первого контура, газовой системе и в основных помещениях энергоблока;

MELT-BN — модуль, описывающий плавление активной зоны, перемещение расплава в ее границах и выход продуктов деления.

Первая версия кода была аттестована в Ростехнадзоре в 2016 году, вторая в 2019 году.

Краткое описание зарубежных интегральных кодов и их отличия от российских аналогов

Наиболее перспективными зарубежными аналогами, используемыми для моделирования аварийных ситуаций на реакторных установках с натриевым теплоносителем, являются коды SAS4A/SASSYS-1 (США) [5], SIMMER-III(IV) (ЕС, Япония) [6].

Связка кодов SAS4A/SASSYS-1 описывает работу реакторной установки в стационарных и динамических режимах, а также при авариях до момента разрушения тепловыделяющих сборок. Коды позволяют выполнить анализ состояния всех контуров и основных систем.

Интегральный расчетный код SIMMER-III(IV) в большей степени применяется для моделирования процессов разрушения активной зоны реакторной установки, используя в качестве исходных данных полученные от семейства кодов SAS значения. код SIMMER также позволяет производить моделирование начальной стадии аварии.

Таблица 1 – Сравнение российских кодов с зарубежными аналогами

Код Параметр	СОКРАТ-БН	ЕВКЛИД	SAS4A/ SASSYS-1	SIMMER- III(IV)
Теплогидравлика	двумерная	трехмерная	одномерная	двумерная (трехмерная)
СНУП-топливо	+	+	-	-
Учет изменения нуклидного состава топлива	+	+	-	-
Метод дискретных ординат	+	+	-	+

В результате обзорного исследования были рассмотрены интегральные расчетные коды нового поколения, применяемые для моделирования различных режимов работы реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Исходя из сравнения можно сделать вывод, что российские расчетные коды не уступают зарубежным аналогам и даже превосходят их по некоторым показателям.

Список литературы

1. Мосунова Н.А. Интегральный код ЕВКЛИД/V1 для обоснования безопасности реакторных установок на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Часть 1: Базовые модели. // Теплоэнергетика. 2018, № 5. С. 69–84.
2. Бутов А.А., Жданов В.С., Климонов, И.А. и др. Физические модели для расчета разрушений ТВЭЛ и активной зоны реактора с жидкометаллическим теплоносителем, реализованные в коде ЕВКЛИД/V2 // Теплоэнергетика. 2019, № 5. С. 5–15.
3. Зайцев А.А., Казанцев А.А., Лукьянов А.А., Супотницкая О.В., Семенов В.Н., Филиппов М.Ф., Фокин А.Л. Тестирование интегрированного программного средства по моделированию гипотетических аварий на РУ БН // Известия вузов. Ядерная энергетика – 2015 №2 – С. 60-70.
4. IAEA-CN245-281. Ртищев Н.А. и др. Интегральный код SOCRAT-BN для анализа безопасности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем: разработка и применение на станциях. - 2017.
5. ANL/NE-16/9. The SAS4A/SASSYS-1 Safety Analysis Code System, Version 5 // Technical report, Nuclear Engineering Division, Argonne National Laboratory. – 2017.
6. Maschek W., Rineiski A., Suzuki T., Chen X., Mori M., Wang S., Tobita Y., Kondo S., Yamano H., Fujita S., Cadiou T., Coste P.. The SIMMER-III and SIMMER-IV code family: 2-D and 3-D mechanistic simulation tools for reactor transients and accidents // International Atomic Energy Agency. – 2007.

05.13.18

С.В. Ершов канд. техн. наук, Е.В. Субботин канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике»,
Пермь, ktei@pstu.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗОНЫ ДОЗИРОВАНИЯ ОДНОШНЕКОВЫХ ЭКСТРУДЕРОВ

В статье проведено исследование процессов течения и теплообмена в зоне дозирования одношнековых экструдеров. Представлены результаты анализа влияния геометрических допущений на характер течения, значения максимальных температур и давлений в зоне дозирования экструдеров различного диаметра. Поставленная задача решалась методом конечных объемов с использованием программного комплекса ANSYS.

Ключевые слова: *экструдер, расплав полимера, тепломассоперенос, математическая модель.*

На сегодняшний день в промышленности используются экструдеры с различной геометрией канала (диаметр шнека варьируется от 25 мм до 320 мм), работающие при разных технологических режимах. Поскольку расплав полимера является аномально-вязкой жидкостью, его переработка методом экструзии приводит к возникновению областей локальных перегревов, вызванных действием сил вязкого трения. Для определения рационального технологического режима работы оборудования, исключающего термическую деструкцию, применяются методы математического моделирования. В настоящее время в литературе можно встретить большое количество различных математических моделей, описывающих процессы тепломассопереноса расплава полимера в канале зоны дозирования [1, 2]. Однако в зависимости от геометрии экструдера, результаты расчетов полученные с использованием данных моделей могут существенно отличаться.

В работе проведен сравнительный анализ характера течения расплава полимера в зоне дозирования экструдеров различного диаметра для двух пространственных моделей: развернутый канал – длинный прямоугольный параллелепипед (винтовой канал развернут на плоскость), винтовой канал (см. рис. 1).

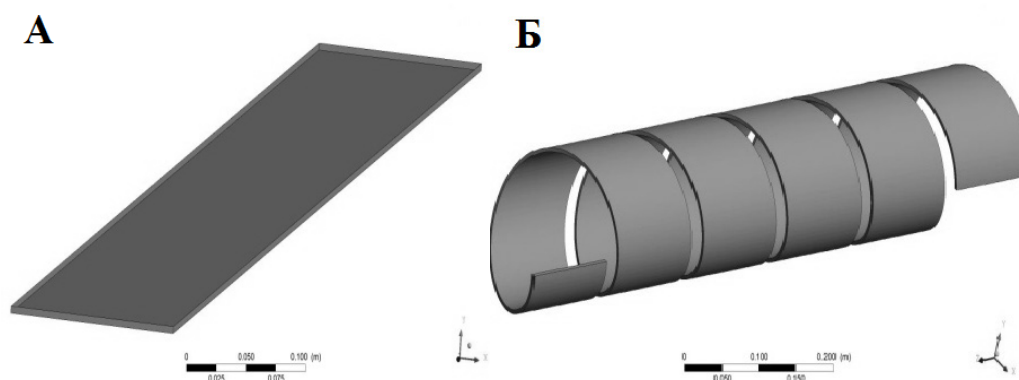


Рис. 1 – Геометрические модели зоны дозирования экструдера:

А - развернутый канал; Б - винтовой канал

Для описанных выше моделей течения расплава полимера, были сделаны следующие общие допущения: процесс стационарный и установившийся при постоянном массовом расходе, расплав полимера считается чисто вязкой, несжимаемой средой, массовые силы равны нулю [1].

Система дифференциальных уравнений, используемая для решения задачи тепломассопереноса в канале зоны дозирования экструдера, основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

$$\rho_m \left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}, \quad (2)$$

$$\rho_m \left(v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}, \quad (3)$$

$$\rho_m \left(v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}, \quad (4)$$

$$\rho_m C_m \left(v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda_m \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \Phi, \quad (5)$$

где x, y, z – прямоугольные координаты; ρ_m, C_m, λ_m – соответственно плотность, теплоемкость и коэффициент теплопроводности расплава полимера; v_x, v_y, v_z – компоненты скорости движения расплава полимера; τ – компоненты девиатора тензора напряжений; Φ – функция диссипации; P – давление; $\mu_{\text{э}}$ – эффективная вязкость расплава полимера, являющаяся функцией скорости сдвига и температуры; T – температура.

Для описания зависимости вязкости расплава полимера от скорости сдвига использовался степенной закон. Температурная зависимость вязкости описывалась уравнением Рейнольдса.

Геометрические параметры зоны дозирования двух экструдеров приведены в таблице 1, технологические параметры процесса в таблице 2.

Таблица 1 – Геометрические параметры

Внутренний диаметр цилиндра (корпуса) D, мм	160,0	45,0
Наружный диаметр шнека, мм	159,4	44,8
Шаг винтовой нарезки, мм	160,0	43,31
Ширина канала W, мм	137,3	38,8
Ширина гребня винтовой нарезки S, мм	15,3	4,5
Длины геометрической зоны дозирования, витки	5	10
Глубина канала в зоне дозирования H ₂ , мм	4	3
Угол подъема винтовой линии Θ, град	17°39'	17°66'
Радиальный зазор между гребнем шнека и внутренней поверхностью корпуса, мм	0,3	0,1

Таблица 2 – Технологические параметры

Диаметр экструдера D, мм	Обороты шнека N, [об/мин.]	Расход материала m, [кг/ч]	Температура на входе T ₀ , [C°]	Температура корпуса T _к , [C°]	Температура шнека T _ш , [C°]
45,0	200	43,8	153	151	171
160,0	60	216	225	200	210

Решение полученной системы дифференциальных уравнений производилось с помощью метода конечных объемов в программном комплексе ANSYS [3].

По результатам численных исследований был проведен сравнительный анализ течения расплава полимера в двух экструдерах с внутренним диаметром цилиндра 160 мм и 45 мм. В таблице 3 представлены максимальные и средние значения температур, вязкости и скорости сдвига по всему объему канала.

Таблица 3 – Значения исследуемых параметров для различных геометрических моделей экструдеров

Диаметр экструдера D, мм	Геометрическая модель	Температура		Скорость сдвига, с^{-1}	Вязкость, Па·с	Перепад давления
		$T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	Средн.	Средн.	$\Delta P, \text{МПа}$
45,0	А	217,5	198,2	165,3	819,4	35,3
	Б	204,9	191,5	163,6	805,4	39,5
160,0	А	254,7	233,8	134,5	578,0	17,7
	Б	250,1	233,5	134,3	531,3	18,9

Для анализа процессов течения расплава полимера в зоне дозирования были построены поля температур в пяти поперченных сечениях по длине канала (см. рис. 2).

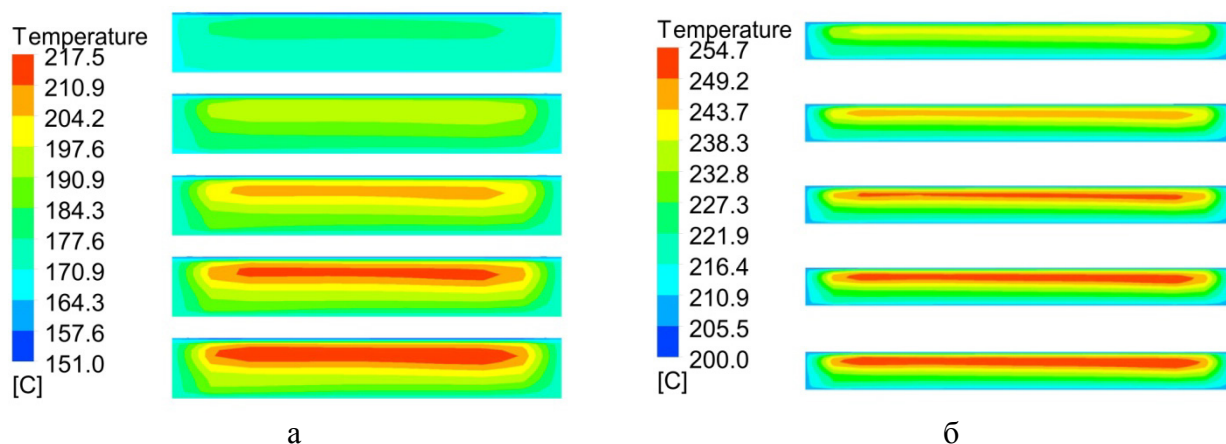


Рис. 2 – Температурные поля для модели развернутого канала:
а – экструдера диаметром 45 мм, б – экструдера диаметром 160 мм

Анализ полученных распределений температур (рис. 2) показал, что области максимальных значений расположены в верхней части канала для обоих экструдеров. При этом для экструдера диаметром 45 мм, можно отметить увеличение погрешности расчетов в значениях максимальной температуры (табл. 3), при переходе от модели развернутого канала к винтовому, на 5%, что на 3,2 % больше, чем для экструдера с внутренним диаметром цилиндра 160 мм.

На рисунке 3 представлены поля изменения вязкости расплава по длине зоны дозирования исследуемых экструдеров. Здесь области, где полимер имеет максимальные значения вязкости, соответствуют областям с наименьшими скоростями сдвига. Такой же характер течения отмечался и для экструдера с большим (в 3,5 раза) диаметром.

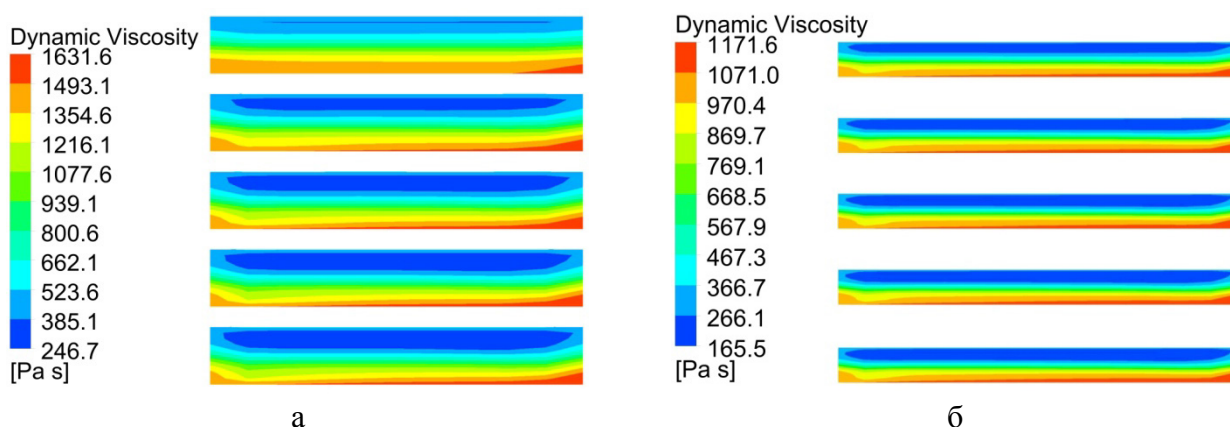


Рис. 3 – Поля распределения вязкости для модели развернутого канала:
а – экструдера диаметром 45 мм, б – экструдера диаметром 160 мм

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что закономерности течения полимера в зоне дозирования (поля температуры, вязкости и скорости сдвига) схожи для экструдеров с различной геометрией канала. Предложенные модели одинаково хорошо работают как для экструдеров с малым диаметром цилиндра, так и с большим. При этом необходимо отметить, что чем меньше диаметр шнека, тем больше кривизна канала и тем меньше обосновано применение модели развернутого канала, поскольку отношение высоты канала к диаметру шнека растет от 4/160 до 3/45.

Список литературы

1. Субботин Е.В., Труфанова Н.М., Щербинин А.Г. Численное исследование течений полимерных жидкостей в канале шнекового экструдера на основе одно- и двухмерных моделей. // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. - Т. 5, № 4. - С. 452-460.
2. Syrjälä S. Numerical simulation of nonisothermal flow of polymer melt in a single-screw extruder: a validation study // Numerical Heat Transfer, Part A. 2000. V. 37. P. 897–915.
3. Смирнов Е.М., Зайцев Д.К. Метод конечных объемов в приложении к задачам гидрогазодинамики и теплообмена в областях сложной геометрии. // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2004. №2. С. 70-81.

05.13.18

**И.Ю. Забавичев, Д.А. Кудряшова, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская, А.А. Потехин,
А.С. Пузанов канд. физ.-мат. наук, Е.А. Тарасова канд. физ.-мат. наук**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, zabavichev.rf@gmail.com

РЕИНЖИНИРИНГ ПРОФИЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ДИОДНЫХ И ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ ИХ РЕАКЦИИ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Представленная в работе методика реинжиниринга распространяется на полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы, изготовленные диффузионным методом. Для заданных функций пространственных распределений донорной и акцепторной примеси с неизвестными параметрами решается оптимизационная задача, критерием оптимизации является минимум среднеквадратичного отклонения между результатами расчета и измерений вольтфарадных характеристик. Сравнение результатов моделирования вольтамперных характеристик с экспериментальными данными показало адекватность предложенного подхода.

Ключевые слова: вольтамперные характеристики, вольтфарадные характеристики, профиль легирования.

Введение

Прогнозная оценка реакции полупроводниковых диодов и биполярных транзисторов на радиационное воздействие является актуальной проблемой в силу их широкого применения в военной и космической радиоэлектронной аппаратуре. Для решения данной задачи применяется физико-топологическое моделирование [1], в котором геометрические размеры, свойства полупроводниковых материалов и профиль легирующей примеси выступают в качестве исходных данных численной модели для расчета характеристик полупроводниковых структур. Однако на практике профиль легирующей примеси обычно неизвестен. Поэтому интерес также представляет решение обратной задачи восстановления пространственного профиля легирующей примеси при известных результатах измерений вольтамперных и вольтфарадных характеристик диодных и транзисторных структур, а затем получение прогнозной оценки их реакции на радиационное воздействие.

Математическая модель

Для восстановления профиля легирования примеси в диодных структурах применяется CV-метод, заключающийся в численном дифференцировании вольтфарадной характеристики [2]. Этот подход имеет ряд недостатков, связанных с неустойчивостью численного дифференцирования к погрешностям измерения [3], а также традиционный CV-метод применим только к структурам с контактом Шоттки. Выше перечисленные обстоятельства требуют обобщения традиционного метода для случая p-n перехода, избавленного от данных недостатков.

Для заданных распределений донорной $N_d(x)$ и акцепторной $N_a(x)$ примесей в p-n переходе можно записать следующую систему уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_{x_l}^{x_r} (N_d(x) - N_a(x)) dx = 0 \\ \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0} (N_d(x) - N_a(x)) = 0 \\ \varphi(x_l) = \operatorname{arcsinh} \left(\frac{N_d(x_l) - N_a(x_l)}{2n_{inc}} \right) \\ \varphi(x_r) = U + \operatorname{arcsinh} \left(\frac{N_d(x_r) - N_a(x_r)}{2n_{inc}} \right) \\ C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{x_r - x_l} \end{array} \right. \quad (1)$$

где φ – потенциал электрического поля, $\varepsilon \varepsilon_0$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость, x_l и x_r – левая и правая границы области пространственного заряда p-n перехода, n_{inc} – собственная концентрация носителей заряда, C – емкость, S – площадь p-n перехода.

Распределение примеси в диодной структуре описывается выражениями [4]:

– для диффузии акцепторной примеси из «ограниченного источника»

$$N_d(x) - N_a(x) = N_{d0} - N_a \exp \left(-\frac{x^2}{4L^2} \right), \quad (2)$$

– для диффузии акцепторной примеси при «постоянной поверхностной концентрации»

$$N_d(x) - N_a(x) = N_{d0} - N_a \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2L} \right). \quad (3)$$

Здесь L – характеристическая длина в распределении примесей.

Распределение примеси в n-p-n транзисторной структуре описывается аналогично [5]:

– для коллекторного p-n перехода

$$N_d(x) - N_a(x) = N_{d0} - N_a \exp \left(-\frac{x^2}{4L_c^2} \right), \quad (4a)$$

$$N_d(x) - N_a(x) = N_{d0} - N_a \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2L_c} \right), \quad (4б)$$

– для эмиттерного p-n перехода

$$N_d(x) - N_a(x) = N_d \exp \left(-\frac{x^2}{4L_e^2} \right) - N_a \exp \left(-\frac{x^2}{4L_c^2} \right), \quad (5a)$$

$$N_d(x) - N_a(x) = N_d \exp \left(-\frac{x^2}{4L_e^2} \right) - N_a \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2L_c} \right), \quad (5б)$$

$$N_d(x) - N_a(x) = N_d \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2L_e} \right) - N_a \exp \left(-\frac{x^2}{4L_c^2} \right), \quad (5в)$$

$$N_d(x) - N_a(x) = N_d \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2L_e} \right) - N_a \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2L_c} \right). \quad (5г)$$

В результате восстановление профиля легирующей примеси сводится к решению задачи оптимизации, критерием которой является минимизация функционала [6]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\hat{C}_i - C_i}{C_i} \right)^2} \quad (6)$$

где $\hat{C}$ – расчетное значение емкости, C – результаты измерений емкости.

Результаты расчетов и их обсуждение

В качестве объекта исследования был выбран кремниевый высокочастотный диод 1N4148 со следующими характеристиками, исходя из которых оценивались параметры модели: напряжение пробоя $U_b = 100$ В, сопротивление слаболегированной области диода $R_\delta = 1,09$ Ом, контактная разность потенциалов $U_k = 0,7$ В. Также для восстановления геометрических размеров и профиля легирования диода использовалась информация о вольтамперной и вольтфарадной характеристиках из технического описания на прибор. В итоге, после применения вышеописанной процедуры получились следующие значения конструктивных параметров диода: $N_d = 9 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $L = 0,6 \text{ мкм}$, $S = 7200 \text{ мкм}^2$. Результаты сравнения рассчитанных характеристик с исходными вольтфарадной и вольтамперной характеристиками представлены на рисунке 1 и рисунке 2 соответственно.

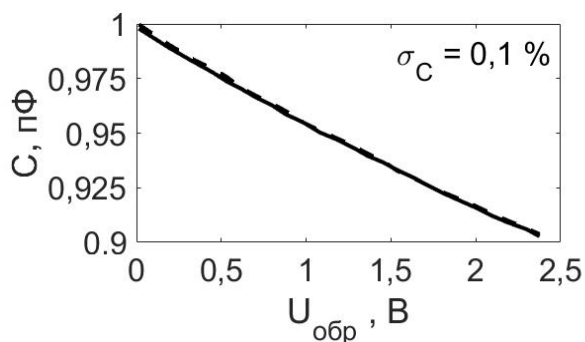


Рис. 1 – Вольтфарадная характеристика диода 1N4148: (—) – расчетная, (---) – измеренная

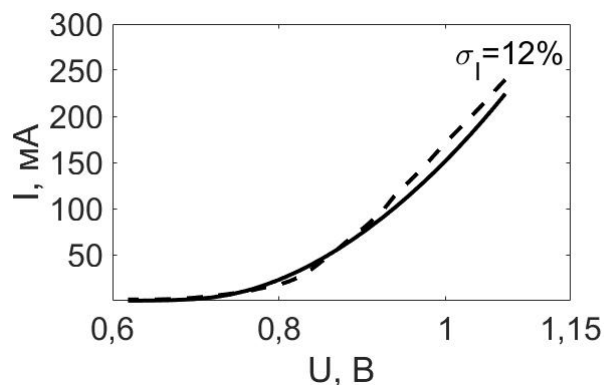


Рис. 2 – Вольтамперная характеристика диода 1N4148: (—) – расчетная, (---) – измеренная

Среднеквадратические отклонения между двумя характеристиками составили 0,1 % для вольтфарадных характеристик и 12 % для вольтамперных характеристик, что свидетельствует о хорошем согласовании теоретических расчетов с практическими результатами. Погрешность расчетов не превышает 20 %, поэтому полученная информация может использоваться для дальнейшей оценки реакции прибора на радиационное воздействие.

Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания, проект 0729-2020-0057.

Список литературы

1. Киселев В.К., Оболенский С.В., Пузанов А.С., Скупов А.В. // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 2. С. 10.
2. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. – М.: Мир, 1991. – 632 с.
3. Забавичев И.Ю., Оболенский С.В. // Микроэлектроника. 2017. Т. 46, № 6. С. 472-480.
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Книга 1. – М.: Мир, 1984. – 456 с.
5. Колесников В.Г., Никошин В.И., Сыновров В.Ф., Петров Б.К., Соснов Г.В., Горохов В.С. Кремниевые планарные транзисторы. – М.: Советское радио, 1973. – 336 с.
6. Забавичев И.Ю. // В сборнике: Труды XXII научной конференции по радиофизике, посвященной 100-летию Нижегородской радиолaborатории. Материалы докладов. 2018. С. 73-76.

05.13.18

**И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская, А.А. Потехин,
А.С. Пузанов канд. физ.-мат. наук, Е.А. Тарасова канд. физ.-мат. наук**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, aspuzanov@inbox.ru

**ВЛИЯНИЕ RLC-ПАРАМЕТРОВ МЕЖТРАНЗИСТОРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
НА ПЕРЕХОДНОЙ ИОНИЗАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС В ЯЧЕЙКАХ
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СТАТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

Обнаружено сильное влияние длины межтранзисторных соединений в ячейке статической памяти на максимальную амплитуду ионизационного тока при воздействии тяжелых заряженных частиц космического пространства. Обсуждается применимость «мощностного» и «дозового» критериев для анализа сбоеустойчивости интегральных схем.

Ключевые слова: *межтранзисторные соединения, обратимые одиночные сбои.*

Введение

Основным направлением развития в области цифровой электроники является уменьшение топологических норм технологического процесса производства полупроводниковых структур. Это в свою очередь приводит к увеличению скорости и уменьшению энергии переключения транзисторов, что позволяет обеспечивать постоянный рост числа элементов интегральных схем и связанное с этим увеличение производительности микросхем при переходе к новым топологическим нормам. Для обеспечения необходимого быстродействия также требуется минимизация искажений цифровых сигналов, связанных с наличием задержек распространения и размытия фронтов сигналов, что определяется RLC-параметрами межтранзисторных соединений в интегральных микросхемах.

При прохождении высокоэнергетической заряженной частицы космического пространства через канал транзистора образуется сильноионизованная область вдоль трека частицы, в которой за счет процесса генерации образуется избыточное количество носителей заряда [1]. В результате разделения электрическим полем неравновесных носителей заряда образуется импульс тока, который может привести к переключению состояния ячейки статической памяти, вызывающему сбой в работе микросхемы. В настоящее время оценка стойкости к такого рода обратимым одиночным эффектам в большинстве работ проводится по величине критического заряда [2]. Однако в работах ряда авторов [3] показано, что на сбоеустойчивость ячейки памяти влияет не только величина собранного заряда, но и форма радиационно-генерированных импульсов тока.

В данной работе рассматривается вопрос о влиянии RLC-параметров межсоединений транзисторов на переходной ионизационный процесс в ячейках быстродействующей статической памяти при воздействии тяжелых заряженных частиц космического пространства.

Объект и методика моделирования

В качестве объекта моделирования выступала стандартная 6-транзисторная ячейка статической памяти, изготовленная по 28-нм технологии «кремний на изоляторе». Основные параметры моделируемых транзисторов масштабировались в соответствии с правилами [4] (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры моделируемых транзисторов

Длина затвора, нм	22
Толщина подзатворного диэлектрика, нм	1,1
Толщина активного слоя кремния, нм	45
Толщина скрытого диэлектрика, нм	1,1
Ширина канала n-МОП транзистора, нм	170
Ширина канала p-МОП транзистора, нм	340
Напряжение питания, В	0,75
Сопротивление контакта, Ом/мкм	13
Емкость контакта, аФ/мкм	200
Индуктивность контакта, фГн/мкм	750

Для теоретической оценки последствий воздействия тяжелых заряженных частиц на ячейки памяти широко применяется метод смешанного приборно-схемотехнического моделирования [2]. В этом случае переходные процессы в транзисторе, в который попадает частица, рассчитываются при помощи физико-топологических моделей, а остальная часть схемы анализируется в программе схемотехнического моделирования. Для этих целей традиционно используется комбинация TCAD (Technology Computer Aided Design) и SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) программного обеспечения, для физико-топологического и схемотехнического моделирования, соответственно. Однако, как было продемонстрировано в работе [5] описание процесса переноса носителей заряда с помощью системы уравнений локально-равновесной модели, программно-реализованной в том числе в TCAD, может давать большую погрешность при расчете ионизационной реакции полупроводниковых структур на возбуждающее воздействие с длительностью менее 10^{-13} с. Данная длительность соответствует временам релаксации энергии и импульса электронно-дырочной плазмы при воздействии тяжелых заряженных частиц [1]. Поэтому для моделирования переходного ионизационного процесса использовалась оригинальная локально-неравновесная диффузионно-дрейфовая модель переноса носителей заряда [5, 6], учитывающая баллистический предел скорости носителей заряда.

Соединение между транзисторами можно представить в виде RLC-цепи, удельные параметры которой представлены в таблице 1, а передаточная характеристика описывается следующим выражением [7]

$$H(s) = \frac{\omega^2}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2}, \quad (1)$$

где $\zeta = \frac{1}{2} \frac{RC}{\sqrt{LC}}$ – декремент затухания и $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – собственная частота, R – сопротивление, L – индуктивность и C – емкость межсоединения.

Длина соединения между транзисторами внутри интегральной микросхемы может варьироваться в широких пределах от 1 до 100 мкм в зависимости от положения ячейки на кристалле. Ниже представлены результаты расчетов.

Результаты расчетов и их обсуждение

Для оценки влияния межсоединений транзисторов на сбоеустойчивость ячейки статической памяти использованы результаты расчетов переходного ионизационного процесса в субмикронном транзисторе, изготовленном по технологии «кремний на изоляторе», проведенные в работе [8]. Результаты расчетов максимальной амплитуды ионизационного тока и величины собранного заряда в зависимости от длины межсоединения представлены на рисунке 1. Видно, что величина собранного заряда незначительно (в пределах 3%) зависит от длины межсоединения, в то время как максимальная амплитуда ионизационного тока существенно (в пределах 95%) определяется длиной линии связи.

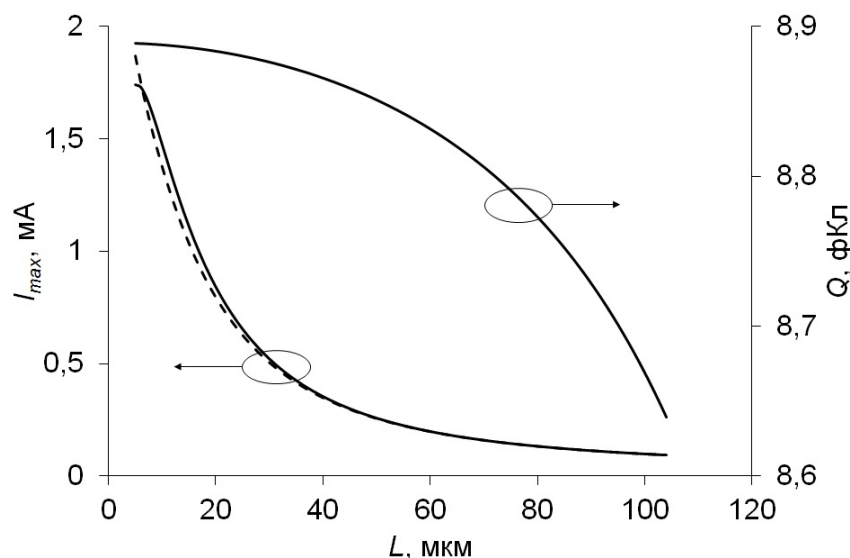


Рис. 1 – Зависимость максимальной амплитуды ионизационного тока с учетом (—) и без учета (---) баллистического предела скорости носителей заряда от длины межсоединения; на дополнительной оси (—) приведена зависимость величины собранного заряда от длины межсоединения

В целом зависимость критической амплитуды ионизационного тока, при которой происходит сбой ячейки памяти, от длины межсоединения транзисторов в ячейке подобна зависимости критической мощности поражения полупроводниковых элементов от длительности импульса перенапряжения [9-11], что обосновывает применимость «мощностного» и «дозового» критериев сбоеустойчивости изделий микроэлектроники к одиночным радиационным эффектам.

Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания, проект 0729-2020-0057.

Список литературы

1. Талеро К.И., Улимов В.Н., Членов А.М. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2018 – 304 с.
2. Петросянц К.О., Харитонов И.А., Орехов Е.В., Самбурский Л.М., Ятманов А.П., Воеводин А.В. // В кн.: Сборник трудов 5-й Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2012» – М.: ФГБУ ИППМ РАН, 2012, С. 413.
3. DasGupta S. // M.S. thesis, Dept. Elect. Eng. and Comp. Science. Vanderbilt University. Dec. 2007. P. 116.
4. International Roadmap for Devices and Systems. 2017 Edition. More Moore. – IEEE Advancing Technology for Humanity. 2018. P. 36.
5. Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А. // Физика и техника полупроводников. 2018. Т. 52, № 11. С. 1295-1299.
6. Забавичев И.Ю., Потехин А.А., Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А. // Физика и техника полупроводников. 2019. Т. 53, № 9. С. 1279-1284.
7. SoYoung Kim // PhD thesis, Dept. Elect. Eng. Stanford University. July 2004. P. 125.
8. Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А. // Физика и техника полупроводников. 2020. Т. 54, № 8. С. 791-795.
9. Reich B., Hakim E.B., Hunter E.T. // IEEE Transaction on Nuclear Science. 1968. V. NS-15, № 6. P. 108-113.
10. Wunsch D.C., Bell R.R. // IEEE Transaction on Nuclear Science. 1968. V. NS-15, № 6. P. 244-259.
11. Tasca D.M. // IEEE Transaction on Nuclear Science. 1968. V. NS-17, № 6. P. 364-372.

05.13.18

И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская, А.С. Пузанов канд. физ.-мат. наук

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, zabavichev.rf@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВСПЛЕСКА СКОРОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Проведено численное моделирование изменения процессов переноса носителей заряда после воздействия потока нейтронов в GaAs структурах при помощи метода Монте-Карло. Продемонстрировано, что вид потенциала рассеяния на радиационных дефектах определяет динамику всплеска скорости во времени и пространстве в полупроводниковых структурах.

Ключевые слова: *метод Монте-Карло, кластер радиационных дефектов, эффект всплеска скорости.*

Введение

Явление всплеска скорости электронов определяет максимальное быстродействие современных транзисторных структур [1, 2]. Нейтронное воздействие на полупроводниковые элементы приводит к возникновению областей разупорядочения – кластеров радиационных дефектов, на которых рассеиваются носители заряда. Поэтому исследование изменения динамики дрейфовой скорости электронов в полупроводниковых структурах при радиационном воздействии является актуальной задачей.

В настоящее время разными исследовательскими группами были предложены несколько моделей внутренней структуры кластеров радиационных дефектов [3-5]. В данной работе проведен сравнительный анализ результатов расчетов изменения переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах на основе GaAs до и после радиационного воздействия, выполненных для различных моделей потенциала рассеяния на кластерах радиационных дефектов. Было исследовано изменение нестационарных и неоднородных эффектов переноса носителей заряда после воздействия потока нейтронов спектра деления, связанных со всплеском скорости электронов во времени и в пространстве для модельных распределений напряженности электрического поля в коротких полупроводниковых структурах.

Результаты расчетов и их обсуждение

При помощи метода Монте-Карло было рассчитано изменение подвижности носителей заряда при $T = 300$ К в n -GaAs образце с уровнем легирования $N_d = 10^{17}$ см⁻³, что соответствует концентрациям доноров в современных n^+-n-n^+ наноструктурах для определения параметров потенциалов, при которых результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными [6]. Размер кластера радиационных дефектов в GaAs, образованных при воздействии потока мгновенных нейтронов спектра деления, полагался равным 11 нм [5]. Значение интегрального потока нейтронов для расчетов было выбрано равным $5 \cdot 10^{15}$ см⁻², так как данный уровень является предельно достижимым для современных приборов микроэлектроники и актуальным для перспективных приборов нанoeлектроники. Кроме того, при указанном уровне нейтронного воздействия частота рассеяния на радиационных дефектах больше других частот рассеяния, что приводит к преобладанию рассеяния на радиационных дефектах над другими механизмами [7]. Остальные значения параметров для каждого потенциала [3-5] были выбраны исходя из требования, что расчеты изменения подвижности носителей заряда после радиационного воздействия имели минимальное отклонение в пределах погрешности от результатов экспериментов, которое не превышало 2 % для всех исследуемых потенциалов.

Для моделирования эффекта всплеска скорости во времени (рисунок 1) к n -GaAs образцу с уровнем легирования $N_d = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ прикладывался импульс напряженности электрического поля 10 кВ/см продолжительностью 8 пс прямоугольной формы (врезка рисунок 1).

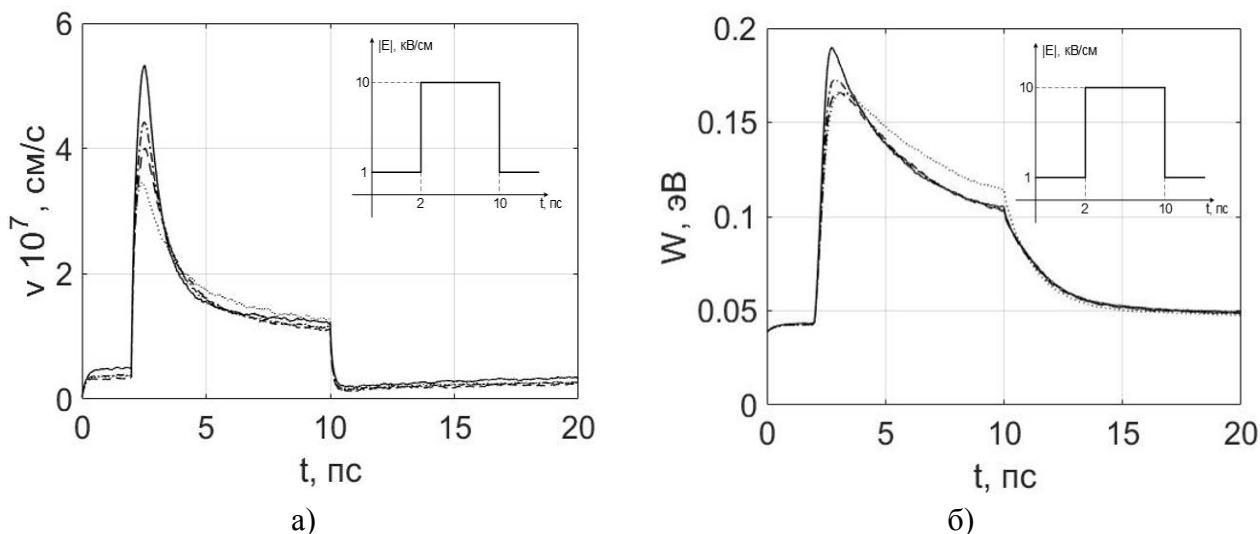


Рис. 1 – Зависимости дрейфовой скорости (а) и средней энергии (б) электронов во времени до и после радиационного воздействия: (—) – до радиационного воздействия, (····) – потенциал «жесткой сердцевины», (---) – потенциал Флеминга, (- · - · -) – потенциал Госсика.

На врезке: зависимость напряженности электрического поля от времени

Результаты моделирования эффекта всплеска скорости во времени показывают существенное различие между потенциалами Госсика [3], Флеминга [4] и потенциалом жесткой сердцевины, несмотря на то, что значения параметров всех потенциалов откалиброваны по экспериментальным данным.

При моделировании эффекта всплеска скорости в пространстве объектом исследований выступала n^+-n^+ структура баллистического диода на основе GaAs, моделирующая канал полевого транзистора. Концентрация носителей заряда в n^+ -области задавалась равной 10^{20} см^{-3} , в n -области – 10^{17} см^{-3} , чтобы в ней сосредотачивалось приложенное электрическое поле. Общая длина структуры составляла 100 нм, длина n -области – 20 нм.

Для моделирования эффекта всплеска скорости в пространстве к структуре прикладывалось постоянное напряжение 0,6 В. В результате в n -области создается электрическое поле максимальной напряженностью 600 кВ/см, вне данной области электрическое поле практически отсутствует.

Результаты моделирования эффекта всплеска скорости в пространстве (рисунок 2) для распределений напряженности электрического поля в пространстве (врезка рисунок 2) также показывают существенное различие между потенциалами Госсика [3], Флеминга [4] и потенциалом жесткой сердцевины, как и в случае эффекта всплеска скорости во времени.

Необходимо отметить, что при радиационном воздействии сильнее уменьшается концентрация свободных носителей заряда, а не подвижность, за счет захвата носителей заряда на глубокие энергетические уровни радиационных дефектов. Это приводит к потере проводимости в объемных GaAs образцах при воздействии вышеуказанного потока нейтронов и невозможности наблюдать исследуемые эффекты. Однако в квантово-размерных структурах, в которых слаболегированная область выступает в качестве канала, а источником подвижных носителей заряда является δ -слой, уменьшение подвижности будет иметь определяющую роль в изменении процесса переноса носителей заряда в структуре, поэтому полученные оценки могут быть в дальнейшем использованы для описания результатов облучательных экспериментов современных приборов нанoeлектроники.

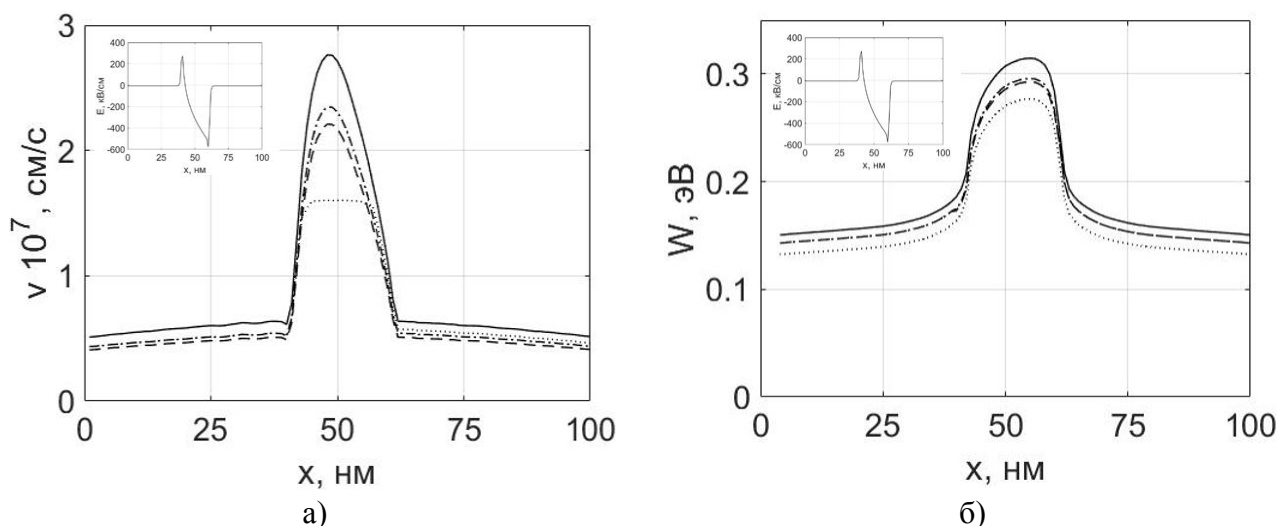


Рис. 2 – Зависимости дрейфовой скорости (а) и средней энергии (б) электронов в пространстве до и после радиационного воздействия: (—) – до радиационного воздействия, (····) – потенциал «жесткой сердцевины», (---) – потенциал Флеминга, (- · - · -) – потенциал Госсика. На врезке: Зависимость напряженности электрического поля в пространстве

Заключение

Продemonстрированные отличия могут оказать существенное влияние на корректность расчетной оценки реакции на воздействие потока мгновенных нейтронов спектра деления для перспективных полупроводниковых приборов микро- и наноэлектроники, в которых процессы переноса определяются в основном «горячими» носителями заряда.

Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания, проект 0729-2020-0057.

Список литературы

1. Пожела Ю. Физика быстродействующих транзисторов. – Вильнюс: Мокелас, 1989. – 264 с.
2. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. – М.: Мир, 1991. – 632 с.
3. Gossick B.R. // Journal of Applied Physics. 1959. V. 30, № 8. P. 1214-1218.
4. Fleming R.M., Seager C.H., Lang D.V., Cooper P.J., Bielejec E., Campbell J.M. // Journal of Applied Physics. 2007. Vol. 102, № 4. P. 1-12.
5. Киселева Е.В., Оболенский С.В. Экспериментальное исследование структуры кластеров радиационных дефектов в GaAs с помощью квазибаллистических электронов // Физика и химия обработки материалов. 2005. № 3. С. 29-32.
6. Зулиг Р. Радиационные эффекты в ИС на GaAs. Арсенид галлия в микроэлектронике. – М.: Мир, 1988. – 555 с.
7. Забавичев И.Ю., Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А. // Физика и техника полупроводников. 2020. Т. 54, № 9. С. 945-951.

05.13.18

**И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская, А.С. Пузанов канд. физ.-мат. наук,
Е.А. Тарасова канд. физ.-мат. наук**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, aspuzanov@inbox.ru

ДИНАМИКА РАЗОГРЕВА И РЕЛАКСАЦИИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОЙ ПЛАЗМЫ В ТРЕКЕ ПЕРВИЧНОГО АТОМА ОТДАЧИ В GAAS ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕЙТРОНОВ СПЕКТРА ДЕЛЕНИЯ

На основе алгоритма Монте-Карло предложен метод расчета энергетического спектра горячих неравновесных электронов и дырок в треке первичного атома отдачи при воздействии нейтронов спектра деления. Проведены расчеты разогрева и последующей релаксации неравновесных носителей заряда в арсениде галлия в треке заряженной частицы с начальными энергиями в диапазоне 100...300 кэВ. Получена характерная температура электронно-дырочной плазмы, равная 6650 К.

Ключевые слова: горячие неравновесные носители заряда, метод Монте-Карло, первичный атом отдачи.

Введение

Главным трендом развития современной аналоговой и цифровой твердотельной электроники является уменьшение размеров полупроводниковых структур. В этом случае улучшение режимов работы полупроводниковых приборов достигается за счет уменьшения времени пролета электронами и дырками рабочей области аналоговых элементов и уменьшения энергии переключения цифровых элементов. Также уменьшение топологических норм изготовления полупроводниковых структур приводит к росту числа элементов цифровых микросхем и увеличению предельных частот аналоговых устройств. Наряду с этим уменьшение размеров полупроводниковых элементов до размеров, сопоставимых с длиной релаксации энергии (около 100 нм для электронов в арсениде галлия), неизбежно ведет к большему проявлению физических эффектов, связанных с горячими носителями заряда [1, 2].

Необходимость детального расчета спектра возбуждений вторичных частиц возникает при решении ряда задач радиационной физики, а именно, неупругом торможении заряженных высокоэнергетических частиц и связанного с ним комплекса процессов формирования трека [3-5]; оптимизации материала детекторов излучений по критерию энергетического разрешения [6] и т.д. Однако в этом случае основное внимание уделяется анализу движения первичной частицы, процессы, связанные с релаксацией энергии и переносом вторичных частиц, не учитываются.

В работе [7] представлена вычислительная методика и результаты расчетов энергетического спектра горячих неравновесных электронов и дырок в треке первичного атома отдачи в кремнии. В данной работе предложенный подход распространен на арсенид галлия – полупроводник, третий по масштабам использования в промышленности после кремния и германия.

Математическая модель

Детальное описание математической модели расчета спектра горячих носителей заряда представлен в работе [7]. Распределение вероятностей передаваемой электронно-дырочной паре энергии $p(\Delta E)$ может быть описано следующим выражением [6]

$$p(\Delta E) \propto \frac{1}{\frac{5B(\Delta U_{peak} - 1)^{\frac{3}{2}}(B\Delta U_{peak} + 1)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\frac{\Delta E}{E_g} - 1}} + \left(B\frac{\Delta E}{E_g} + 1\right)^{\frac{5}{2}}} \quad (1)$$

где ΔE – величина передаваемой электронно-дырочной паре энергии, E_g – ширина запрещенной зоны, $B = 0,3$ и $\Delta U_{peak} = 2,5$ для арсенида галлия – параметры модели.

Распределение по энергии генерируемых электронов E_e и дырок E_h для заданной величины передаваемой электронно-дырочной паре энергии определяется условной вероятностью [6]

$$p(E_h, E_e | \Delta E) \propto \rho_v(E_h) \rho_c(E_e), \quad (2a)$$

$$E_e = \Delta E - E_h - E_g, \quad (2б)$$

где $\rho_v(E_h)$ и $\rho_c(E_e)$ – функции плотности состояний дырок в валентной зоне и электронов в зоне проводимости. Расчет плотности состояний проводился при помощи программы Quantum Espresso методом функционала плотности. Начальные распределения по энергии горячих неравновесных носителей заряда в треке первичного атома отдачи в арсениде галлия приведены на рисунке 1. Значения энергий первичных атомов отдачи соответствуют характерным значениям, возникающих при воздействии нейтронов спектра деления со средней энергией нейтронов 2 МэВ. При этом спектры первичных атомов отдачи слабо отличаются для галлия и мышьяка в силу близких значений атомных масс.

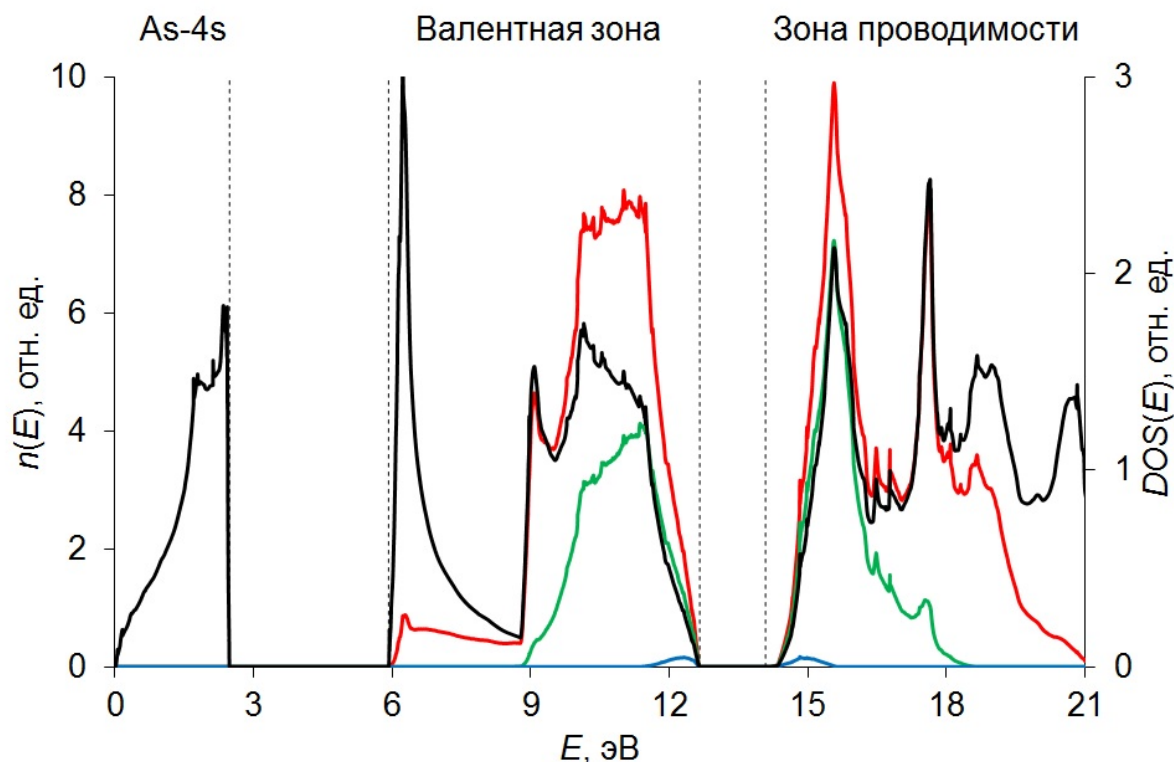


Рис. 1 – Начальные распределения по энергии горячих неравновесных электронов и дырок в треке:

красная кривая – энергия первичного атома отдачи 300 кэВ, максимальная передаваемая энергия электронно-дырочной паре 9 эВ;

зеленая кривая – энергия первичного атома отдачи 200 кэВ, максимальная передаваемая энергия электронно-дырочной паре 6 эВ;

синяя кривая – энергия первичного атома отдачи 100 кэВ, максимальная передаваемая энергия электронно-дырочной паре 3 эВ.

По дополнительной оси отложена плотность состояний арсенида галлия (черная кривая)

Для моделирования релаксации начального распределения по энергии горячих неравновесных носителей заряда в арсениде галлия в треке первичного атома отдачи использовалась оригинальная компьютерная программа для анализа переноса носителей заряда в субмикронных полупроводниковых структурах [8]. Так как рассматриваемая модель предназначена для анализа релаксации горячих электронов и дырок, то с целью экономии вычислительных ресурсов учитывались только механизмы рассеяния носителей заряда на оптических фононах, ударной ионизации и друг на друге. Параметры модели и методика моделирования взяты из работы [9].

Результаты расчетов и их обсуждение

При помощи предложенной модели были получены начальные распределения по энергии горячих неравновесных носителей заряда в арсениде галлия в треке первичного атома отдачи (рисунок 1). Как следует из формул (1) и (2), начальные распределения по энергии горячих неравновесных электронов и дырок определяются зависимостью плотности состояний носителей в валентной зоне и зоне проводимости от энергии, а также функцией распределения передаваемой энергии.

Уменьшение энергии первичного атома отдачи приводит к снижению значения максимальной энергии, передаваемой электронно-дырочной паре, что в свою очередь ведет к уменьшению граничной энергии в спектре носителей заряда.

Температура электронно-дырочной плазмы вдоль трека выравнивается за время прохождения первичного атома отдачи через область моделирования (порядка 0,1 пс) и составляет $T_e = 6650$ К. Необходимо отметить, что представленное значение температур соответствует экспериментально определенной электронной температуре в аморфном углероде для энергии налетающего иона 5 МэВ/а.е.м [4].

Дальнейшая релаксация энергии неравновесных носителей заряда происходит за счет взаимодействия с решеточной подсистемой и выноса энергии из трека за счет его диффузионного размытия.

*Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания,
проект 0729-2020-0057.*

Список литературы

1. Пожела Ю. Физика быстродействующих транзисторов. – Вильнюс: Мокслас, 1989. – 264 с.
2. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. – М.: Мир, 1991. – 632 с.
3. Митерев А.М. // Успехи физических наук. 2002. Т. 172, № 10. С. 1131-1164.
4. Комаров Ф.Ф. // Успехи физических наук. 2003. Т. 173, № 12. С. 1287-1318.
5. Комаров Ф.Ф. // Успехи физических наук. 2017. Т. 187, № 5. С. 465-504.
6. Narayan R.D., Miranda R., Rez P. // Journal of Applied Physics. 2012. V. 111, № 6, P. 064910.
7. Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А. // Физика и техника полупроводников. 2020. Т. 54, № 8. С. 791-795.
8. Забавичев И.Ю., Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А. // Физика и техника полупроводников. 2020. Т. 54, № 9. С. 945-951.
9. Fischetti M.V., Laux S.E. // Physical Review B. 1988. V. 38, № 14. P. 9721-9745.

05.13.18

¹Т.Г. Макарова, ²И.К. Киямов д-р экон. наук, ²Л.С. Сабитов канд. техн. наук¹ФГБОУ ВО Альметьевский государственный нефтяной институт,
Альметьевск, dtana@mail.ru,²ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Инженерный институт,
Казань, kiyamov.ilgam@mail.ru, sabitov-kgasu@mail.ru

СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ В УЭЦН: ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ

В данной статье авторами рассмотрены актуальные на сегодняшний день проблемы, связанные с возникающими осложнениями при эксплуатации погружного электроцентробежного насосного агрегата, в частности, с отложением парафинистых соединений и солей, которые приводят к значительному падению напорной характеристики, снижению производительности насоса и преждевременному выходу его из строя. В статье рассмотрены технологии борьбы с различного рода отложениями, проанализированы концептуально отличающиеся подходы по борьбе с отложениями: с помощью применения новых защитных покрытий узлов и деталей оборудования, активно контактирующих с перекачиваемой пластовой средой, с помощью использования активных химических веществ, позволяющих изменить свойства перекачиваемой скважинной жидкости, рассмотрены физические, химические и технологические методы предупреждения солевых отложений, выделены основные технические и технологические решения.

Ключевые слова: ЭЦН; отложения парафинов, солеотложения.

Обеспечение высоких темпов и уровня нефтедобычи с высокими эксплуатационными технико-экономическими показателями оборудования является актуальной задачей при разработки месторождений. Осложнения в процессе эксплуатации нефтедобывающих скважин, приводящие к снижению производительности нефтяных скважин и преждевременным отказам погружного оборудования не позволяют эффективно решить эту задачу. Вынос твердых частиц, отложение парафинов и солей на рабочих ступенях электропогружных центробежных насосов (ЭЦН), присутствие нерастворенного газа, высокие температуры перекачиваемой пластовой жидкости - основные осложнения, влияющие на процесс эксплуатации скважин месторождения [1]. Отказы ЭЦН по причине отложений в некоторых нефтяных компаниях достигают более 30% от общего числа отказов.

Конструктивное исполнение ЭЦН является первым уровнем защиты в борьбе с отложениями. Правильный подбор габаритного размера установки дает возможность избежать чрезмерного падения давления, которое препятствует отложению солей. На втором месте в списке причин отказа ЭЦН фигурирует отложение солей и парафинов на рабочих элементах оборудования (рис.1), уступая лишь засорению механическими примесями, при этом механические примеси являются либо агломератами солей, либо частицами, содержащими соли.



Рис. 1 – Отложения солей на рабочих органах насосов и в НКТ

Выделим основные причины образования отложений на рабочих органах ЭЦН: конструктивное исполнение ЭЦН, коррозия поверхности, образование застойных зон и т.д.; изменение термобарических условий в процессе интенсивных отборов жидкости из скважин для поддержания проектных темпов разработки месторождений, приводящее к выпадению солевых осадков; повышенная обводненность и присутствие нерастворенных и растворенных природных минералов – главные источники солеобразования; смешивание пластовой воды с закачиваемой жидкостью приводит к образованию соединений образующих соли и повышению агрессивности среды [2].

Прогнозирование образования и возможность отложения неорганических солей в статических условиях рассчитывается индексом насыщения вод, описанным уравнением [3]:

$$SI = \lg\left(\frac{[Ka][An]}{K_{sp}}\right), \quad (1)$$

где SI – индекс насыщения воды, величина безразмерная; [Ka] и [An] – молярная концентрация катионов и анионов, моль/л; K_{sp} – произведение растворимости при равновесном состоянии, моль /л.

Числитель в уравнении (1) представлен произведением двух концентраций и является показателем ионной активности. Знаменатель K_{sp} , зависящий от ионной силы раствора (I) и термобарических условий, можно описать следующим образом:

$$\begin{aligned} pK_{sp} &= -\lg(K_{sp}), \\ SI &= -\lg([Ka][An]) + pK_{sp}, \\ pK_{sp} &= a_1 + a_2T + a_3T^2 + a_4P + a_5I^{0.5} + a_6I^{0.5}T + a_7I, \\ SI &= \lg([Ka][An]) + a_1 + a_2T + a_3T^2 + a_4P + a_5I^{0.5} + a_6I^{0.5}T + a_7I, \end{aligned}$$

где T – температура раствора, °C; P – давление раствора, фунт на квадратный дюйм (Па); $a_1, \dots, a_7$ – эмпирические коэффициенты для сульфатных солей, I – ионная сила раствора, моль/л.

Все технологии борьбы с отложениями солей и парафинов заключаются в предупреждении или удалении. Применяют два концептуально разных подхода к борьбе с отложениями: с использованием защитных покрытий оборудования, препятствующих отложениям; с использованием химических веществ и изменения температуры среды для изменения свойств жидкости, проходящей через установку.

Методы предупреждения отложений подразделяют на физические, технологические и химические.

Физические методы предусматривают воздействия на продукцию магнитным или акустическим полем. Недостатком данного метода является необходимость монтажа подъемного оборудования и невозможность применения при образовании солей в призабойной зоне пласта.

Технологические методы предполагают применение защитных покрытий, выбор и подготовку рабочего агента для систем поддержания пластового давления, изменение технологического режима работы скважины и погружного насосного оборудования. Применение таких методов сопряжено со значительными затратами и сложностью их реализации.

Химические методы предусматривают использование различных ингибиторов, в основе механизма действия которых лежат процессы адсорбции. Наиболее распространен способ удаления солевых отложений путем обработки ЭЦН соляной кислотой. Однако многолетний опыт показал, кратковременный эффект этого метода, и что его применение приводит к коррозии НКТ и узлов ЭЦН и эксплуатационной колонны скважины.

Для решения проблем, связанных с отложениями в ЭЦН применяют рабочие органы из полимерных материалов, преимуществами которых является коррозионная стойкость материала, используют станции управления с частотным преобразователем, имеющим

режим «встряхивания», когда на короткое время, периодически изменяется направление вращения вала насоса. Наиболее эффективным и рентабельным способом защиты насосного оборудования является использование дозирующих скважинных контейнеров, установленных под основание электродвигателя или блока телеметрии ЭЦН [4]. Контейнеры имеют различную конструкцию для разных ингибиторов (рис.2).

Преимуществами использования контейнеров являются высокая степень надежности, простота монтажа, но требуется постоянный контроль за выносом реагента; срок действия ограничен; дебит не более 150 м³/сут. Другой способ предусматривает замену материала корпусных деталей ЭЦН на материалы с высокой коррозионной стойкостью. Применение металлических и протекторных покрытий. Еще один способ защиты применение пропиток, которые обеспечивают дополнительную коррозионную защиту и защиту теневых зон.

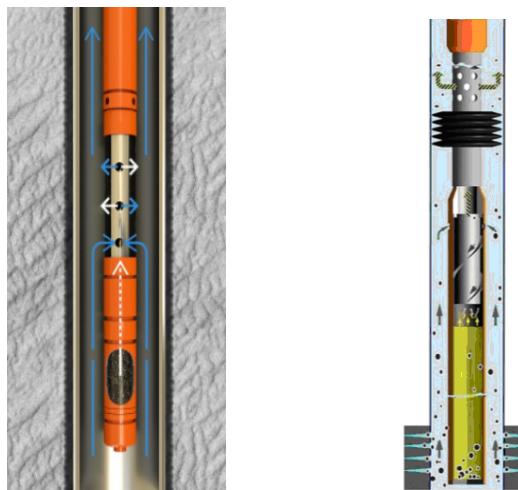


Рис. 2 – Применение скважинных контейнеров

Погружное оборудование, применяемое для механизированной добычи нефти, работает в тяжелых условиях. Это ведет к неблагоприятным последствиям эксплуатации и нарушению работы оборудования. На сегодняшний день применяют различные методы защиты от отложений, но все они имеют недостатки.

Список литературы

1. *Вахитова Р.И.* Повышение эффективности эксплуатации установок электроцентробежных насосов в наклонных и обводненных скважинах: дис. канд. техн. наук. – Уфа, 2006. 114с.
2. *Булчаев Н.Д.* Прогнозирование солеотложения в призабойной зоне пласта нефтедобывающих скважин / Н.Д. Булчаев, А.Ш. Халадов, Ф.З. булюкова, Е.Б. Думлер // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. №3. – С.220-230.
3. *Oddo J.E.* Why scale forms in the oil field and methods to predict it / J.E. Oddo, M.B. Tomson // SPE Production & Facilities. - 1994. - Vol. 9. - No. 1. - pp. 47-54. URL: <http://dx.doi.org/10.2118/21710-PA> (дата обращения: 11.07.2020)
4. *Молчанова В.А.* Повышение эффективности дозирующего устройства для подачи реагентов / В.А. Молчанова, Е.Б. Думлер Р.И. Вахитова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. №7. – С.62-65.

05.13.18

**О.И. Поддаева канд. техн. наук, А.Н. Федосова канд. техн. наук,
П.С. Чуринов канд. техн. наук**

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
кафедра физики и строительной аэродинамики,
Москва, ChurinPS@mgsu.ru

ВЛИЯНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В работе приведены результаты численного моделирования ветрового воздействия в специализированном программном комплексе гидрогазодинамики ANSYS CFD на пролетное строение балочного моста с шумозащитными экранами разных размеров. Установлено негативное влияние высоких ограждений на устойчивость конструкции в ветровом потоке.

Ключевые слова: мостовые конструкции, аэродинамическая устойчивость, шумозащитный экран, численное моделирование.

В соответствии с п.5.48 СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» [1]: «Висячие и вантовые мосты, а также стальные балочные мосты с пролетами более 100 м следует проверять на аэродинамическую устойчивость и пространственную жесткость. Для конструкций с динамическими характеристиками, существенно отличающимися от аналогичных характеристик построенных мостов, кроме аналитических расчетов следует проводить соответствующие исследования на моделях.»

Широко известно, что устойчивость конструкции в ветровом потоке существенно зависит от характера обтекания [2]. Целью данного исследования является оценка влияния шумозащитных экранов на аэродинамическую устойчивость большепролетного балочного моста.

В качестве исследуемого объекта выбрано металлическое пролетное строение с тремя главными балками (рис.1). При проведении исследований рассматривалось два варианта типовых защитных экранов – высотой 2м (вариант А) и 4м (вариант Б).

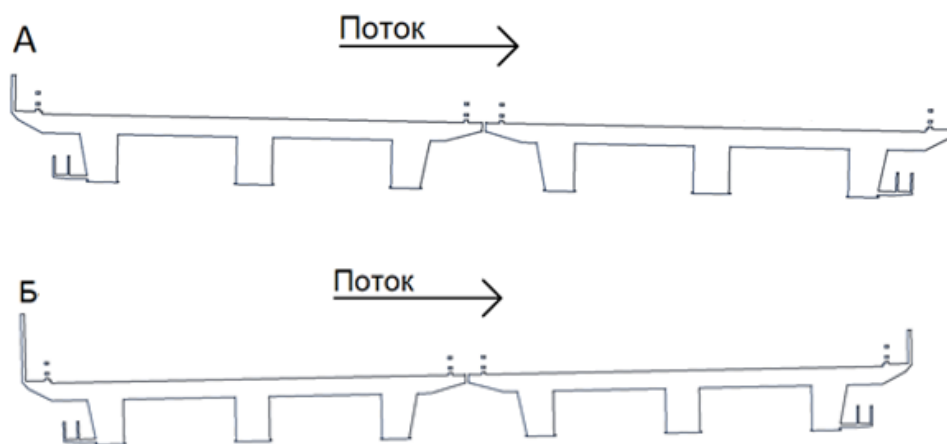


Рис. 1 – Исследуемый объект

Численное моделирование выполнено в программном комплексе ANSYS Fluent при скорости потока 20 м/с. Данная скорость потока находится в режиме автомодельности (число Рейнольдса, вычисленное по общей ширине моста, состоящего из двух элементов, составляет 72.6 млн) и обеспечивает значение ветрового давления, близкое к рекомендованному для первого ветрового района по СП [3].

Для определения величины расчетной области, типа и размеров элементов сетки в окрестности сооружения использовались рекомендации, основанные на зарубежном опыте использования пакетов вычислительной аэродинамики (CFD) в аэродинамике зданий и сооружений [4], накопленный опыт и руководство пользователя ANSYS. Создана расчетная область длиной 1500 метров и высотой 500 метров. Сперва была построена двумерная расчетная сетка, которая затем была экструдирована в поперечном направлении на 1 метр с образованием 1 слоя трехмерных ячеек (число узлов 3D сетки, используемой для расчета, в 2 раза выше числа узлов первичной двумерной структурированной сетки). Внешний вид расчетной сетки для варианта А представлен на рис. 2.

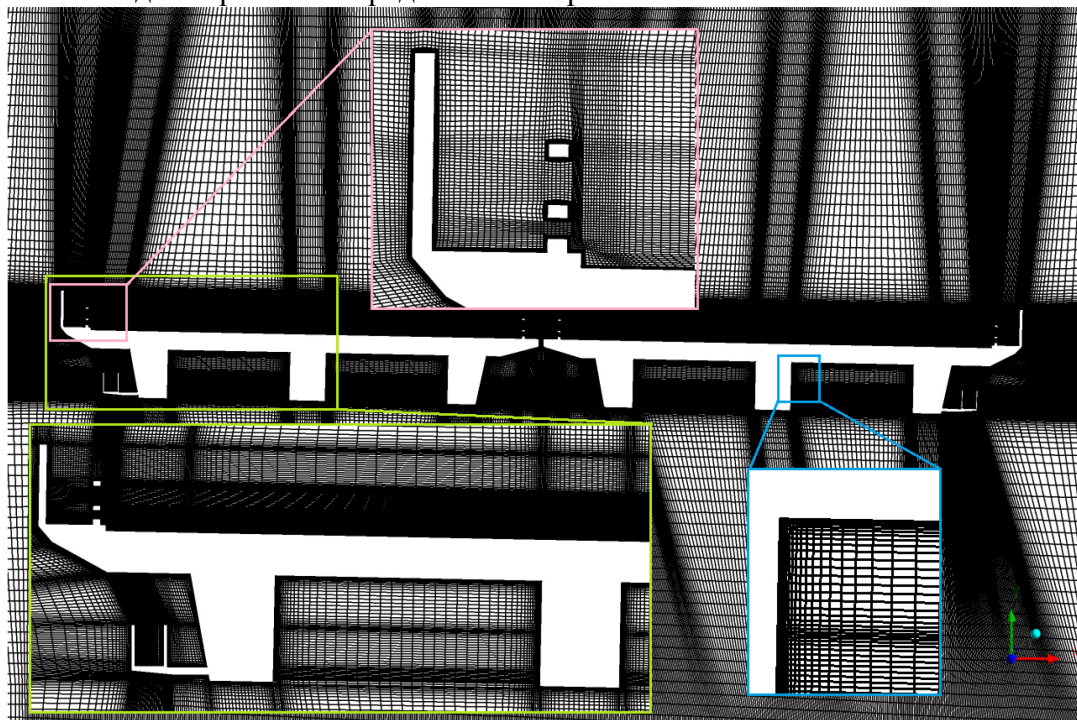


Рис. 2 – Внешний вид расчетной сетки (вариант А)

Размерность первичной двумерной структурированной расчетной сетки:

- для варианта А: 284 тысячи 941 узел в 824 блоках

- для варианта Б: 291 тысяча 668 узлов в 824 блоках

Сетка имеет Н-Н-О топологию. Характерный размер ячеек вблизи исследуемого объекта не превосходит 500 мм. Размер ячеек вблизи ребер моста 30 мм. Толщина первого слоя ячеек у поверхности моста 1 мм. Максимальный темп нарастания размеров ячеек 1.2.

Расчетная сетка для варианта Б отличается тем, что блок, приходящийся на ограждение переассоциирован на его более высокий вариант. Были добавлены дополнительные ячейки для сохранения максимального темпа нарастания.

Первичное представление о характере обтекания моста можно получить, рассматривая соответствующие поля течений. В частности, можно визуальнo определить системы периодически сходящихся вихрей, а также оценить шаг вихревой дорожки и, зная скорость набегающего потока (20 м/с), приблизительно оценить период схода вихрей и соответствующее число Струхала. Кроме того, анализ полей течения позволяет выдвинуть гипотезы относительно наиболее значимых элементов конструкции.

В настоящей статье приводятся распределения скорости потока (рис. 3-4), в качестве примера рассматривается угол атаки потока -3° .

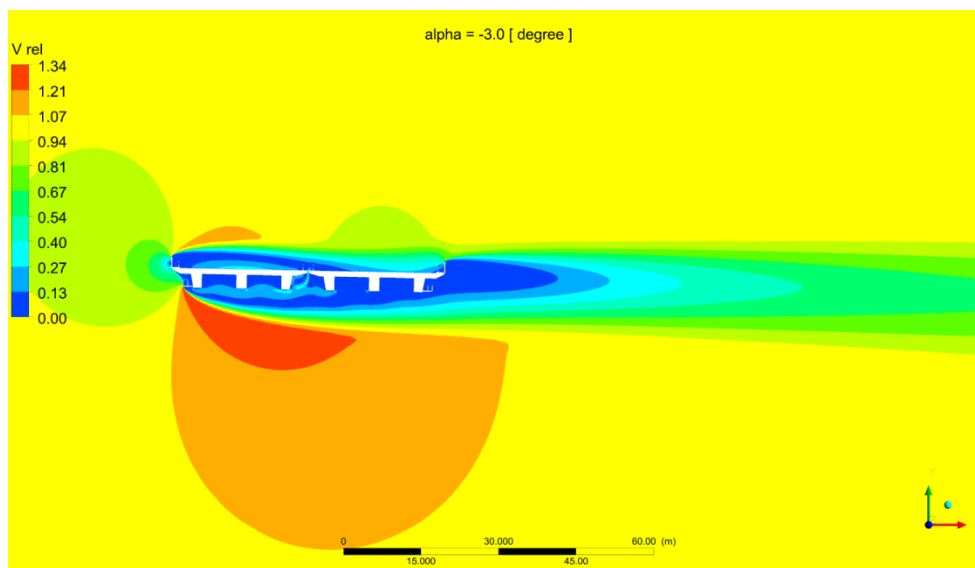


Рис. 3 – Распределения относительной скорости потока при $\alpha = -3^\circ$. Вариант А

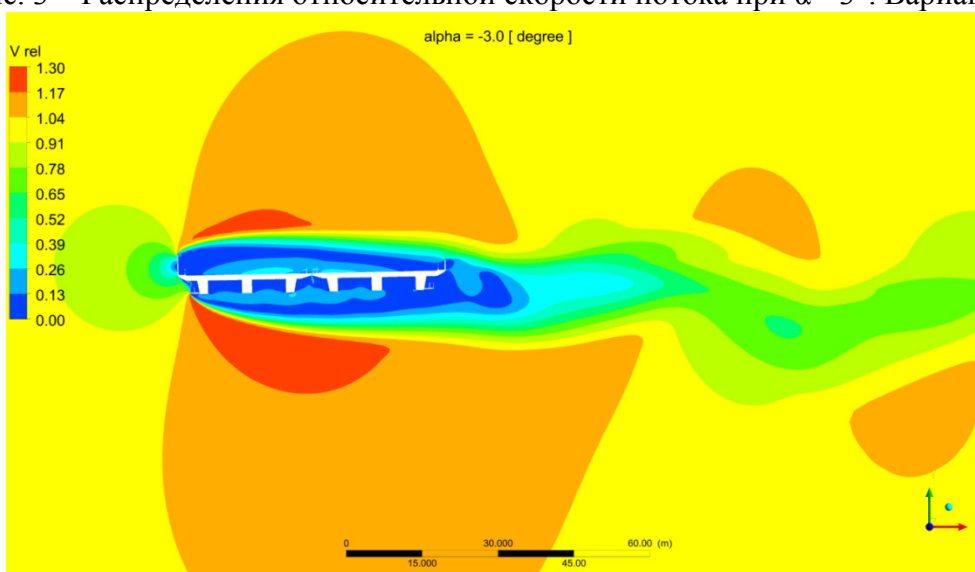


Рис. 4 – Распределения относительной скорости потока при $\alpha = -3^\circ$. Вариант Б

Полученные результаты показывают, что вариант А с шумозащитным экраном высотой 2м предпочтительнее с точки зрения аэродинамической устойчивости. Для варианта Б периодический сход вихрей наблюдается на всех рассмотренных углах атаки α . Таким образом, установка более высокого ограждения негативно влияет на сопротивляемость ветровому резонансу, что подтверждается результатами испытаний в аэродинамической трубе – установлено, что наличие защитного экрана высотой 4 м приводит к возникновению колебаний с амплитудой до 750 мм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект «Теоретико-экспериментальное конструирование новых композитных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз» №FSWG-2020-0007).

Список литературы

1. Свод правил СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*
2. Казакевич М.И. Ветровая безопасность конструкций. Теория и практика. – 2015.
3. Свод правил СП 20.13330.2016/Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия»
4. Franke, J., et al. "Recommendations on the use of CFD in wind engineering." Cost action C. Vol. 14. 2004.

05.13.18

**Е.В. Решетникова канд. техн. наук, А.Д. Ульянов канд. техн. наук,
Е.С. Вячкин канд. техн. наук, Ю.С. Гаврилова**

Новокузнецкий институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Кемеровский государственный университет»,
Новокузнецк, elenares@yandex.ru, zbrg@mail.ru, viachkine@mail.ru, mellamorry@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖАТИЯ И ИЗГИБА ТОЛСТОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОБЪЕКТНОЙ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Исследуется численная модель сжатия и изгиба толстостенных оболочек, построенная с использованием гибридного конечного элемента. Проведена функционально-объектная реализация разработанного алгоритма. Результаты моделирования при предельном значении коэффициента Пуассона сопоставляются с аналитическими решениями.

Ключевые слова: гибридный конечный элемент, моделирование толстостенных оболочек, функционально-объектная реализация, объемно несжимаемые и слабо сжимаемые материалы.

При исследовании объемно несжимаемых или слабо сжимаемых материалов конечно-элементная модель в перемещениях показала свою низкую эффективность. В этой модели точность вычисления очень малой объемной деформации, определяемой по приближенным значениям производных от перемещений, имеющих еще меньшую точность, чем сами перемещения, является очень низкой. Таким образом, даже малая неточность в вычислении перемещений приводит к большим погрешностям в напряжениях [1].

Большую эффективность в этих случаях показывают гибридные конечно-элементные схемы с использованием вариационного принципа Ху-Вашидзу [2], в котором независимыми переменными являются напряжения σ , деформации ε и перемещения u .

Целью данной работы является функционально-объектная реализация гибридного конечного элемента для моделирования слабо сжимаемых толстостенных оболочек. В условиях слабо сжимаемого материала объемные деформации будут малыми по сравнению с девиаторными, а при увеличении коэффициента Пуассона до 0,5 объемная деформация становится равна нулю, тогда как давление остается конечным. Поэтому в качестве свободных неизвестных выберем перемещения u и давление p .

Выразим напряжения через деформации:

$$\sigma_{ij} = \kappa \varepsilon_V \delta_{ij} + 2G \varepsilon'_{ij}, \quad (1)$$

где $\kappa = \frac{E}{3(1-2\nu)}$ - объемный модуль упругости;

E - модуль Юнга;

ν - коэффициента Пуассона;

$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ - модуль сдвига;

$\varepsilon_V = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$ - объемная деформация;

$\varepsilon'_{ij} = \varepsilon_{ij} - \frac{\varepsilon_V}{3} \delta_{ij}$ - компоненты девиатора деформаций;

$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, i = j, \\ 0, i \neq j. \end{cases}$ - символ Кронекера.

Отсюда получим выражение для функционала [2]:

$$\Pi(\mathbf{u}, p) = \frac{1}{2} \int_V \boldsymbol{\varepsilon}'^T \mathbf{D}' \boldsymbol{\varepsilon}' dV - \frac{1}{2} \int_V \frac{p^2}{\kappa} dV - \int_V p \varepsilon_v dV - \int_V \mathbf{u}^T \mathbf{f}^B dV - \int_S \mathbf{u}^{ST} \mathbf{f}^S dS, \quad (2)$$

где $\mathbf{D}'$ – часть матрицы упругости, соответствующая девиатору;
верхний индекс T – обозначает транспонирование;

$\mathbf{f}^B$, $\mathbf{f}^S$ – объемные и поверхностные силы соответственно.

Задачу минимизации функционала (2) будем решать методом конечных элементов [3]. Для дискретизации выберем трехмерный восьмиузловой сериндипов конечный элемент. Неизвестными на элементе являются перемещения вдоль координатных осей в его узлах (u , v и w) и постоянное на элементе давление p .

Выражая деформации через перемещения [4], перемещения на элементе через узловые неизвестные $\delta_{\mathbf{u}}$, из (2) получим

$$\Pi(\delta_{\mathbf{u}}, p) = \frac{1}{2} \int_V \delta_{\mathbf{u}}^T \mathbf{B}_D^T \mathbf{D}' \mathbf{B}_D \delta_{\mathbf{u}} dV - \frac{1}{2} \int_V \frac{p^2}{\kappa} dV - \int_V p \mathbf{B}_V \delta_{\mathbf{u}} dV - \int_V \delta_{\mathbf{u}}^T \mathbf{H}_u^T \mathbf{f}^B dV - \int_S \delta_{\mathbf{u}}^T \mathbf{f}_i^S dS, \quad (3)$$

где $\mathbf{B}_D$, $\mathbf{B}_V$ – матрицы связи деформаций с перемещениями для девиатора и объемной составляющей соответственно;

$\mathbf{H}_u$ – матрица связи узловых перемещений с перемещениями на элементе.

Приравнявая к нулю производные по аргументам в функционале (3), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi(\delta_{\mathbf{u}}, p)}{\partial \delta_{\mathbf{u}}} = \left(\int_V \mathbf{B}_D^T \mathbf{D}' \mathbf{B}_D dV \right) \delta_{\mathbf{u}} - \left(\int_V \mathbf{B}_V^T dV \right) p - \int_V \mathbf{H}_u^T \mathbf{f}^B dV - \int_S \mathbf{f}_i^S dS = 0, \\ \frac{\partial \Pi(\delta_{\mathbf{u}}, p)}{\partial p} = -\frac{V}{\kappa} p - \left(\int_V \mathbf{B}_V dV \right) \delta_{\mathbf{u}} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\mathbf{Q} = \int_V \mathbf{H}_u^T \mathbf{f}^B dV + \int_S \mathbf{f}_i^S dS, \quad \mathbf{K}_{uu} = \int_V \mathbf{B}_D^T \mathbf{D}' \mathbf{B}_D dV, \quad \mathbf{K}_{up} = \int_V \mathbf{B}_V^T dV$$

Обозначив в (4), и выразив давление через перемещения, получим

$$\begin{cases} (\mathbf{K}_{uu} - \mathbf{K}_{up} \kappa V^{-1} \mathbf{K}_{up}^T) \delta_{\mathbf{u}} = \mathbf{Q}, \\ p = \kappa V^{-1} \mathbf{K}_{pu} \delta_{\mathbf{u}}. \end{cases} \quad (5)$$

После решения последовательно систем уравнений (5), вычисляются деформации и напряжения:

$$\boldsymbol{\varepsilon}' = \mathbf{B}_D \cdot \delta_{\mathbf{u}}, \quad \boldsymbol{\sigma} = 2G \cdot \boldsymbol{\varepsilon}' - [p \quad p \quad p \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T. \quad (6)$$

Данное решение было реализовано в функционально-объектной среде программирования «Алгозит» [5]. Функционально-объектная схема алгоритма для нового гибридного элемента была создана на основе реализованной в среде «Алгозит» схемы восьмиузлового пространственного элемента. Топология схемы изменилась в связи с необходимостью введения отдельных матриц для девиаторной и шаровой составляющих деформаций, как показано на рисунках 1 и 2. Для вновь введенных объектов были созданы классы на языке C++ и написаны необходимые методы, реализующие вычисление матриц.

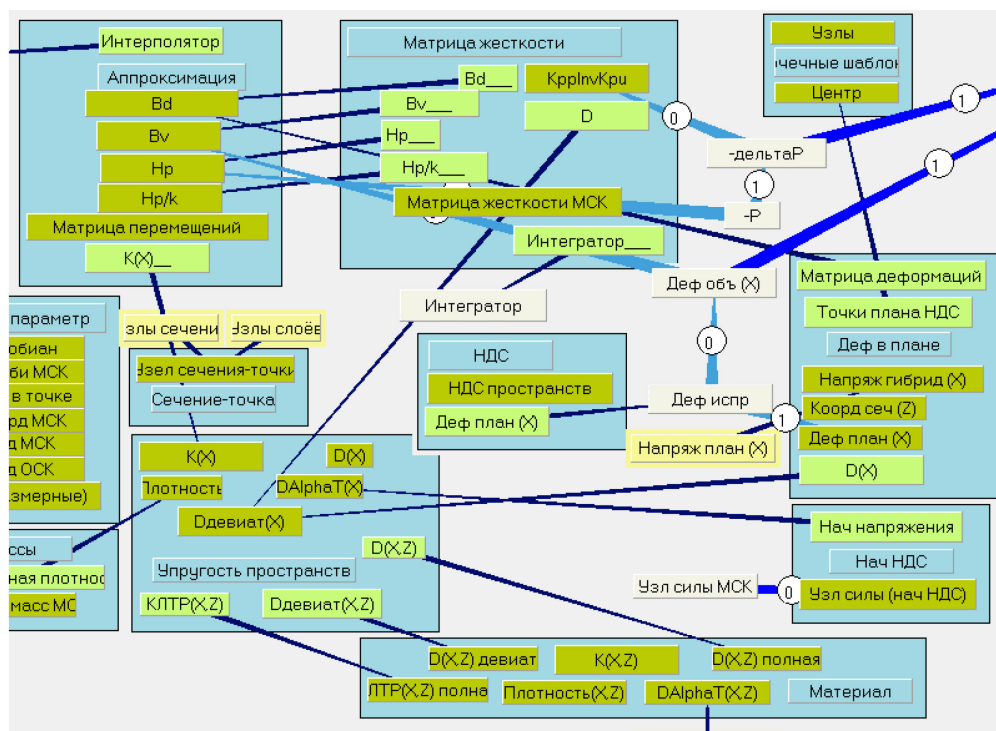


Рис. 1 – Функционально-объектная схема в среде программирования «Алгозит», реализующая гибридный конечный элемент

Разработанная программная реализация тестировалась на примерах, имеющих аналитическое решение [4]. Задание данных для реализации примеров в «Алгозите» производилось на языке «Ядро» [6].

В качестве одного из контрольных примеров производился расчет кругового толстостенного цилиндра под действием наружного и внутреннего давления, равных p_1 и p_2 соответственно. Наружный и внутренний радиусы цилиндра равны r_1 и r_2 соответственно, высота цилиндра равна l . Радиальные и окружные напряжения в зависимости от радиуса можно рассчитать по следующим формулам [7]:

$$\sigma_r(r) = A + \frac{B}{r^2}, \quad \sigma_t(r) = A - \frac{B}{r^2}, \quad (7)$$

$$A = \frac{p_2 r_2^2 - p_1 r_1^2}{r_1^2 - r_2^2}, \quad B = -\frac{(p_2 - p_1) r_2^2 r_1^2}{r_1^2 - r_2^2}$$

где

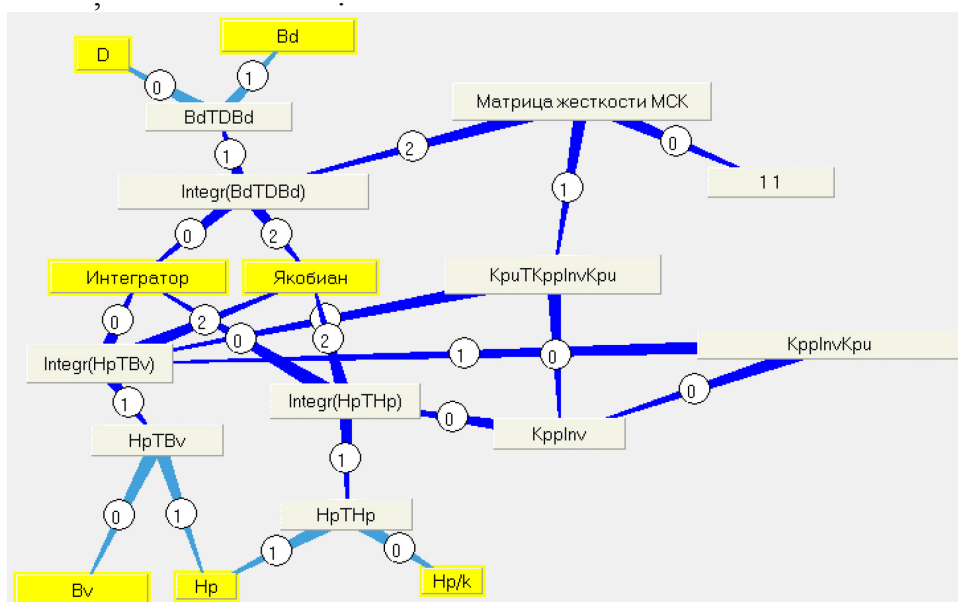


Рис. 2 – Функционально-объектная схема в среде программирования «Алгозит», реализующая объекты для панели «Матрица жесткости»

На рисунке 3 изображены результаты вычислений радиальных и окружных напряжений от радиуса.

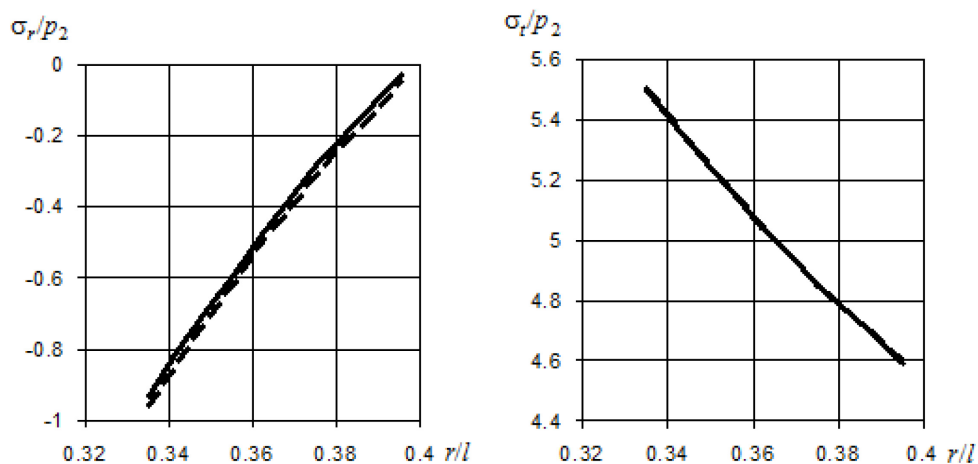


Рис. 3 – Сопоставление результатов численного моделирования (сплошная линия) с контрольным примером (пунктирная линия)

Как видно из рисунка 3, результаты численного моделирования соответствуют аналитическому решению. Относительная погрешность составляет не более 5%.

Таким образом, показана работоспособность функционально-объектной среды для программирования гибридных конечных элементов.

Список литературы

1. Вячкин Е.С. Разработка математической модели статического деформирования слоистых конструкций с несжимаемыми слоями. / Е. С. Вячкин, В. О. Каледин, Е. В. Решетникова, Е. В. Вячкина, А. Е. Гилёва // Вестник томского государственного университета. Математика и механика — Томск, 2018 — вып. 55 — с. 72-83.
2. Бате К.Ю. Методы конечных элементов / К.Ю.Бате, — Москва: Физматлит, 2010. — 1024 с.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич, - Москва: Мир, 1975. — 543 с.
4. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов, - Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. — 744 с.
5. Каледин В.О. Алгоритмизация математических моделей: учеб. пособие / В. О. Каледин, Е. И. Васильева, Е. С. Вячкин; М-во образования и науки Рос. Федерации, Новокузнец. ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та — Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2018. — 80 с.
6. Каледин В.О. Концепции языка программирования «Ядро» :метод. указ. / В.О. Каледин; НФИ КемГУ, — Новокузнецк, 2010. — 47 с.

05.13.18

Ю.А. Степанов д-р техн. наук, Л.Н. Бурмин канд. техн. наук, П.А. Лазарев

Кемеровский государственный университет,
кафедра ЮНЕСКО по информационным вычислительным технологиям,
Кемерово, dambo290@yandex.ru, LnBurmin@mail.ru, kymarimka@gmail.com

АЛГОРИТМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ВНУТРИ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ

В статье предлагается решение задачи перераспределения ресурсов внутри замкнутой системы. Описан алгоритм перераспределения, его преимущества и недостатки. Исследована зависимость факта существования решения задачи от конфигурации модели и возможность предварительного определения наличия или отсутствия решения по определенным параметрам. Для этого применяется графовая модель, на конфигурациях которой в дальнейшем будут проводиться вычисления, а также приводит требования к этой модели.

Ключевые слова: *ориентированный граф, распределение и передача ресурсов, алгоритм, конфигурация модели, расчётный путь.*

Задача распределения транспортных, информационных, финансовых и других ресурсов остро стояла в XX веке, и на сегодняшний день её актуальность продолжает расти пропорционально росту объема ресурсов. Это нахождение вариантов распределения трафика между пользователями сети или поиск оптимальных путей перевозки продуктов между предприятиями (например, складами), или корректировка объёмов бюджетов некоторых объектов. Обработка подобных массивов информации вручную не представляется возможной, что создаёт необходимость использования повышенных вычислительных мощностей. В зависимости от сферы применения задачи распределения зачастую имеют множество отличительных особенностей, что делает решения данных задач достаточно узкопрофильными. Перераспределение ресурсов внутри замкнутой системы является одной из таких [1].

Постановка задачи сводилась к перераспределению ресурсов между объектами некоторой системы, которое должно быть таким образом, чтобы каждый объект имел в итоге столько ресурсов, сколько требуется пользователю.

Идея построения модели заключается в следующем. Опишем модель для данной задачи с точки зрения ориентированного графа (рис.1). Будем считать, что каждый объект (предприятие) является узлом. Связями будем обозначать потоки, по которым передаются ресурсы от узла к узлу [2].

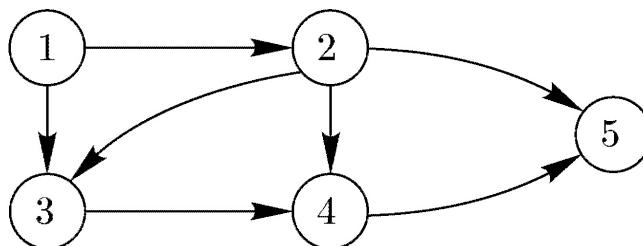


Рис. 1 – Пример ориентированного графа

В свою очередь, каждый узел имеет следующие параметры:

- Идентификационные – позволяют отличить один узел от другого.
- Константные (задаются заранее):
 - начальный ресурс - начальное количество ресурса (например, 1000 килограмм яблок);
 - конечный ресурс – то количество, которое должен иметь узел по итогу перераспределения (например, 2000 килограмм тех же яблок);
 - минимальное/максимальное количество входящих связей – минимальное/максимальное разрешенное количество входящих в узел связей;
 - минимальное/максимальное количество исходящих связей – минимальное/максимальное разрешенное количество исходящих из узла связей;
 - максимальный процент выхода - максимальная возможная процентная доля конечного ресурса узла от его исходящей суммы плюс конечного ресурса.
- Расчетные (значения определяются в процессе реализации алгоритма):
 - настоящий ресурс - количество ресурса узла на данный момент (1000 килограмм яблок на начало перераспределения, некоторое количество x во время работы алгоритма и 2000 килограмм по окончании);
 - входящая сумма – суммарное количество всех передаваемых в узел ресурсов;
 - исходящая сумма – суммарное количество всех передаваемых из узла ресурсов;
 - количество входящих/исходящих связей;
 - процент выхода - процентная доля конечного ресурса узла от его исходящей суммы плюс конечного ресурса.

Для данной модели каждая связь, создаваемая между двумя узлами, имеет такие характеристики как:

- Идентификационные:
 - узел-отправитель – информация об узле, передающим ресурс;
 - узел-получатель – информация об узле, получающим ресурс.
- Константные:
 - активность – информация о том, как работать со связью: создавать по необходимости или обязательно;
 - минимальная сумма – минимальное суммарное количество ресурса, которое должно пройти через связь за все передачи. То есть, если эта характеристика имеет значение больше нуля, сумма переданных ресурсов через данную связь должна быть не меньше указанного значения, а значит и сама связь должна быть создана обязательно;
 - максимальная сумма – максимальное суммарное количество ресурса, которое может пройти через связь за все передачи. То есть, если эта характеристика имеет нулевое значение или меньше, передачи через данную связь становятся невозможны, что равносильно запрету на создание и использование связи.
- Расчётные:
 - сумма передач – суммарное количество всех ресурсов, переданных через связь.

Стоит заметить, что некоторые связи могут быть уже запланированы как обязательные (до начала перераспределения), но большинство связей будет создаваться автоматически в ходе работы программы, реализующей алгоритм перераспределения. Для последнего случая принципиально важно задать значения константных характеристик, которые будут использоваться по умолчанию для всех связей [3].

В дополнение к особенностям структур объектов и связей для данной задачи существуют требования к некоторым из которых можно отнести:

- алгоритм должен учитывать возможность запрета на построение связей между определенными узлами;
- между двумя узлами может существовать только одна связь (рис.2);
- передача ресурсов через связь может происходить только в одном, заранее заданном направлении;
- созданную связь нельзя уничтожить;

- сумма всех начальных ресурсов должна быть равна сумме всех конечных ресурсов;
- суммарное количество входящих связей должно быть равно суммарному количеству исходящих связей.
- процент выхода узла должен быть меньше или равен максимальному по окончании работы алгоритма.

Исходя из требований, можно сделать вывод о том, что предложенная модель воспроизводит замкнутую систему с особыми условиями в виде структур узлов и связей.

Для описания алгоритма решения поставленной задачи необходимо определить, что из себя представляют входные данные. Они представлены в виде списка узлов, структура которых соответствует описанной выше модели, а также в виде списка обязательных и запрещённых связей, если такие планируются [4].

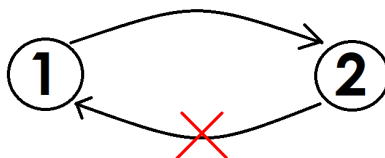


Рис. 2 – Иллюстрация требования однозначности связей между двумя узлами

При этом важно проследить, чтобы данные не содержали дублирующих узлов, каждый объект модели должен быть уникальным.

Перейдём непосредственно к алгоритму решения. Весь процесс решения делится на 3 крупных этапа:

- Обработка входных данных.
- Перераспределение ресурсов.
- Удовлетворение ограничения на максимальный процент выхода.

Рассмотрим каждый из перечисленных этапов подробнее.

I этап. Обработка входных данных.

На данном этапе подготавливается матрица смежности узлов, в которой отображаются все обязательные и запрещённые связи. Остальные связи считаются допустимыми. Стоит учитывать, что запрещённые и допустимые связи не считаются созданными. Они лишь отображают возможность или невозможность их создания. После подготовки матрицы проводится проверка признаков невозможности успешного распределения, они будут проиллюстрированы немного позже. Далее остаётся определить, какие из узлов испытывают недостаток ресурсов, а какие - избыток.

II этап. Перераспределение ресурсов.

Этот этап можно отнести как к основному этапу работы алгоритма. Его суть заключается в передаче ресурсов от узлов с избытком к узлам с недостатком через выстраиваемые связи между ними. При этом необходимо учитывать существующие ограничения и требования, приводимые к модели. Алгоритм работы начинается с проверки узлов. Если при проверке нам встретился узел с избытком, то необходимо найти узел с самой большой недостатком, построить между ними связь (или использовать уже созданную) и осуществить через неё передачу ресурсов, не забыв после этого пересчитать значения расчётных характеристик взаимодействующих объектов. Конечно, нет необходимости передавать больше ресурсов, чем нужно. Поэтому лучше всего передавать ровно столько, сколько необходимо, чтобы покрыть недостачу, или меньше, если избыточных ресурсов узла окажется недостаточно [5].

Ситуации, когда можно добиться успешного перераспределения только за счёт прямых передач от узлов с избытками к узлам с недостатками, очень редки. Практически всегда встречаются случаи, когда осуществить передачу напрямую невозможно в силу ограничений. Например, количество связей узла достигло максимума, связь между двумя узлами запрещена и т.д. В данной ситуации будет логичным попробовать осуществить передачу ресурса через промежуточные узлы. Для этого сначала необходимо найти и составить путь - порядок узлов, по которым необходимо передать ресурс от узла-источника к конечному узлу. Задачи поиска путей на графе не являются новыми и уже имеют простые и

эффективные решения. Однако, у нас нет цели искать наиболее короткий (или длинный) путь. Вместо этого нам нужно построить путь таким образом, чтобы с помощью передач через промежуточные узлы помочь итоговому результату соответствовать ограничениям модели и удовлетворять требованиям [6].

Чтобы реализовать описанный принцип, вводится процедура взвешивания узлов. Её работа заключается в том, чтобы перед включением следующего узла в путь оценить приоритетность узлов, которые могут быть в него включены. Приоритетность определяется некоторым числовым значением, исходя из того, насколько характеристики оцениваемого узла вписываются в ограничения. Например, если некоторые параметры оцениваемого узла меньше определённого минимума, приоритетность такого узла будет выше, чем у того, параметры которого вписываются в ограничения. И наоборот: если некоторые параметры узла в случае его использования для передачи станут больше определённого максимума, такой узел ни в коем случае не сможет претендовать на включение в путь. Система оценки узлов может быть скорректирована в зависимости от того, какие из ограничений для пользователя являются более критичными.

Во время поиска пути обязательно возникнет ситуация, когда ни один из узлов не может быть выбран следующим. Будем считать, что в этом случае путь является тупиковым и необходимо вернуться назад до ближайшего узла, от которого возможно строить другие пути. Таким образом, будут перебраны все возможные пути на графе и за конечное число шагов либо найдётся путь до требуемого узла, либо будет сделан вывод о невозможности построения пути. При возникновении последней ситуации алгоритм прерывается, оповещая о том, что добиться успешного перераспределения не удалось. Во избежание лишних передач в будущем желательно придерживаться дополнительного правила: передавать через построенный путь столько ресурсов, сколько сможет пройти через все узлы без уменьшения количества [7].

Стоит отметить важность постоянного обновления значений параметров объектов модели. Если информация не будет своевременно обновляться, алгоритм обязательно будет генерировать ошибки или предоставлять неправильно рассчитанный итоговый результат. Поэтому после каждой передачи ресурса или отмены передачи необходимо производить перерасчет значений параметров.

Данный этап является зацикленным, так как он повторяется до тех пор, пока не будет достигнут момент баланса или не будет выведено заключение о невозможности его достижения. Показателем того, что система находится в балансе, выступает момент, когда все узлы не имеют недостатков или избытков ресурсов. При успешном окончании данного этапа переходим к следующему.

III этап. Удовлетворение ограничения на максимальный процент выхода.

Процент выхода — это самый чувствительный параметр узла, оказывающий большое влияние на итоговый результат. Зачастую после окончания перераспределения именно этот параметр на нескольких узлах оказывается больше максимума. По этой причине принять результат работы алгоритма в качестве итогового нельзя. Однако, можно попытаться снизить проценты выхода проблемных узлов до максимального разрешенного значения. Такую цель и будет преследовать алгоритм на третьем этапе.

Напомним, что процент выхода — это процентная доля конечного ресурса узла от его исходящей суммы плюс его конечного ресурса. Это значит, что можно снижать процент выхода узла, повышая значение его исходящей суммы. Проще говоря, необходимо сделать больше пересылок ресурсов из проблемных узлов и при этом не нарушить ресурсный баланс узлов.

Конечно, нельзя создать связь, которая будет выходить из проблемного узла и входить в этот же узел (рис.3). Но можно проложить путь на графе, который будет начинаться от проблемного узла, проходить через некоторое количество других узлов и заканчиваться на том же самом проблемном узле. Таким образом, ресурс выйдя из проблемного узла, увеличив его исходящую сумму, передастся по узлам построенного пути и вернётся снова к

проблемного узлу через входящую связь. При этом ресурсный баланс не будет нарушен.



Рис. 3 – Пример обычной графовой петли, которую нельзя использовать в модели

Немного изменив процедуру поиска на графе из второго этапа таким образом, чтобы приоритетными считались узлы, имеющие возможность создания новых связей либо имеющих связи с низким значением суммы передач, можно добиться снижения процента выхода до разрешенного максимума. Также необходимо динамически подсчитывать, сколько ресурсов необходимо передать по петлевому пути (рис. 4), чтобы добиться результата.

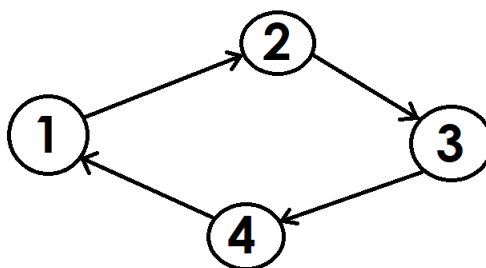


Рис. 4 – Пример графового пути с началом в узле 1 и концом в том же узле

Нередко возникают ситуации, когда построенный петлевой путь в течение использования становится не пригоден по причине переполнения параметра «сумма передач» одной из связей, используемых для передач. В таком случае можно проложить новый петлевой путь и передавать ресурсы через него. Момент, когда ни один петлевой путь не может быть построен, считается показателем того, что добиться успешного перераспределения на данной конфигурации модели не удалось.

Данный этап является циклическим, он повторяется до тех пор, пока проценты выхода всех проблемных узлов не урегулируются либо не будет сделан вывод о безуспешности попытки перераспределения.

Замечание

Результат работы алгоритмов на графах во многих случаях зависит от того, с какого узла алгоритм начинает работу и в какой очередности рассматриваются узлы. Данный алгоритм перераспределения ресурсов не является исключением. Замечено, что успешность перераспределения для данного алгоритма зависит от очередности, в которой происходит работа с узлами. Поэтому в случае, если попытка перераспределения завершилась провалом, следует перемешать очередность узлов и начать алгоритм перераспределения снова. К тому же, если количество узлов невелико, можно сгенерировать все перестановки очередности узлов и попытаться найти решение на каждой из перестановок. Тестирование предложенного алгоритма показало, что за десять тысяч попыток перераспределение всегда завершалось успешно (при учёте, что решение задачи существует).

Существуют конфигурации модели, на которых искать решение задачи бессмысленно в силу его отсутствия. На отсутствие решения указывают несколько признаков:

- отсутствие любой возможности существования связного графа;
- невозможность достижения допустимого процента выхода при максимально возможной исходящей сумме узла;
- количество узлов, с которыми может связаться узел, меньше необходимого минимума количества связей.

Данные признаки призваны помочь заранее определить, существует ли решение задачи на заданной конфигурации модели. Предлагаемый метод решения задачи обладает преимуществами, важными для программной реализации, и недостатками, которые могут быть сглажены широким использованием достоинств алгоритма.

Преимущества:

- возможность распараллеливания поиска решения;
- нахождение решения за конечное число шагов;
- относительная простота реализации;
- отсутствие аналогов;

Недостатки:

- отсутствие возможности подсчёта примерного времени, необходимого для нахождения решения;
- проведение большого количества операций.

По результатам проведённой работы была построена модель в виде ориентированного графа, разработан алгоритм решения и создана его программная реализация с графическим пользовательским интерфейсом. Такая программа позволит оперативно и качественно проводить расчёт и получать необходимое решение, на поиск которого при отсутствии программного решения было бы потрачено несравнимо большое количество времени и сил. В условиях быстро изменяющихся обстоятельств наличие программной реализации решения данной задачи представляется необходимым.

В результате выполнения поставленной задачи была выявлена проблема, связанная с присутствием в некоторых вариантах решений лишних моментов передач ресурсов. С учетом последующего объединения всех мелких передач на связи в одну единую передачу на правильность и применимость решения данный фактор влияния не оказывает. Однако алгоритм плохо справляется с решением задач, в которых процесс переноса ресурсов между узловыми объектами занимает продолжительное время. В будущем планируется исправить этот недостаток, улучшив алгоритм таким образом, чтобы избавиться от избыточных передач или постараться минимизировать их количество до некоторого константного значения.

Так же есть предположение о существовании дополнительных предварительных признаков отсутствия решения задачи. В последующем будет проведено дополнительное изучение и тестирование модели на предмет нахождения таких признаков.

Таким образом, в ходе использования программной оболочки была определена необходимость визуализации готового графового решения, для наглядного изучения и редактирования конфигурации модели и результата работы алгоритма. В будущем планируется разработать данный функционал и дополнить им существующую версию программы.

Список литературы

1. Бхаргава А.Б. Грожаем алгоритмы. Иллюстрированное пособие для программистов и любопытствующих, / А. Б. Бхаргава - СПб.: Питер, 2017. - 288 с.
2. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов: Учебник для вузов. 3-е изд. / Ф.А. Новиков — СПб.: Питер, 2009. — 384 с.
3. Прохоренок, Н.А. Python 3 и PyQt 5. Разработка приложений / Н. А. Прохоренок, В. А. Дронов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 832 с.
4. Стребков Е.В. Комбинаторика: учебное пособие / Е.В. Стребков, В.С. Желтухин, И.А. Бородаев. – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 104 с.
5. Стребков Е.В. Основы комбинаторики / Е. В. Стребков – Казань: Казан. ун-т, 2019. – 31 с.
6. Хайнеман Дж., Поллис, Г. Селков, Ст. Алгоритмы. Справочник с примерами на C, C++, Java и Python, /Дж. Хайнеман, Г. Поллис, Ст. Селков, 2-е изд. — СПб.: ООО “Альфа-книга”, 2017. — 432 с.
7. Харари. Ф. Теория графов. / Ф. Харари, Москва, “Мир”, 1973. — 300 с.

05.13.18

**Е.В. Субботин канд. техн. наук, А.В. Казаков канд. техн. наук,
С.В. Ершов канд. техн. наук, Л.И. Зорихина**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике»,
Пермь, ktei@pstu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КОНЦЕВОЙ КАБЕЛЬНОЙ МУФТЕ

С помощью математического моделирования проведены численные исследования процессов тепломассопереноса в высоковольтной концевой кабельной муфте при аномально низких температурах эксплуатации. Получены температурные поля с учетом дополнительного подогрева от внешнего источника. Задача решалась методом конечных объемов с использованием программного комплекса ANSYS.

Ключевые слова: концевая кабельная муфта, температурное поле, математическое моделирование, ANSYS.

Сегодня освоение и развитие северных регионов, обладающих огромными запасами энергоносителей и полезных ископаемых, является для России одной из важнейших стратегических задач, успешное решение которой во многом зависит от наличия современной инфраструктуры. При этом для обеспечения бесперебойной подачи электроэнергии на данных территориях важно учитывать эксплуатационные характеристики всех компонентов, входящих в линию электропередачи. Например, рассматривая кабельные ЛЭП на напряжение 110 кВ и выше, можно отметить, что нижний предел температурного диапазона эксплуатации силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, наиболее часто применяющихся в таких случаях, как правило, составляет минус 60°C [1, 2]. Однако использование определенных типов кабельных муфт при указанной температуре может быть ограничено из-за присутствия в конструкции жидкого диэлектрика [3, 4]. Возможным решением в таких случаях является принудительный обогрев арматуры.

В работе выполнялись численные исследования процессов тепломассопереноса в высоковольтной концевой муфте, оснащенной внешним источником тепла и эксплуатирующейся при аномально низких температурах окружающей среды.

На этапе моделирования поставленной задачи были сделаны следующие упрощающие допущения: процесс стационарный; внешний изолятор муфты заменяется полым цилиндром постоянного диаметра; тепло от внешней стенки изолятора отводится только за счёт конвекции; заливочная изолирующая масса – несжимаемая жидкость; теплофизические свойства постоянны, за исключением плотности заливочной массы.

Таким образом, математическая модель процессов тепломассопереноса в высоковольтной концевой муфте, основанная на законах сохранения энергии, массы и количества движения [5–7], представляет собой совокупность дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0; \quad (1)$$

$$\begin{cases} \rho \left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \\ \rho \left(v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \\ \rho \left(v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho g_z \end{cases}; \quad (2)$$

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial v_x}{\partial x}; \quad \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v_y}{\partial y}; \quad \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial v_z}{\partial z}; \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right);$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right); \quad \tau_{zx} = \tau_{xz} = \mu \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right); \quad (3)$$

$$C\rho \left(v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right); \quad (4)$$

$$\lambda_k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_V = 0; \quad (5)$$

где x , y и z – декартовы координаты; v_x , v_y и v_z – компоненты вектора скорости; P – давление; T – температура; $\rho = \rho_0 \beta (T - T_0)$ – плотность жидкости; β – температурный коэффициент расширения; g_z – ускорение свободного падения; C – теплоемкость жидкости; λ – теплопроводность жидкости; λ_k – теплопроводность твердых элементов конструкции муфты; μ – вязкость жидкости, зависящая от температуры; τ_{ij} – компоненты тензора напряжения; q_V – удельная мощность внутреннего источника тепла.

На границе раздела материалов задавалось равенство температур и тепловых потоков. На внешней поверхности муфты задавались условия конвективного теплообмена с окружающей

средой
$$-\lambda_k \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\text{стенка изолятора}} = \alpha (T - T_{\text{ср}}) \Big|_{\text{среда}} \quad (\text{где } \alpha - \text{коэффициент теплоотдачи с внешней поверхности изолятора в окружающую среду, } T_{\text{ср}} - \text{температура окружающей среды}).$$

Задача решалась в среде инженерного анализа ANSYS Fluent.

Источником нагрева являлись тепловые потери в токопроводящей жиле сечением 400 мм² при токовой нагрузке 310 А и контактный нагреватель нижней крышки (см. рис. 1, а). Расчет проводился для температуры окружающей среды минус 60,0 °С. Коэффициент теплоотдачи с поверхности внешнего изолятора концевой муфты – 30 Вт/(м²·°С) и 50 Вт/(м²·°С), что соответствует скорости ветра 10 м/с и 20 м/с.

Схема расчета температурного поля концевой муфты представлена на рис. 1, а. Высота изолятора 2,7 м, диаметр 0,4 м. Материал верхней и нижней крышки – металл; материал изолятора – стеклопластик; кабель – медная жила, изолированная сшитым полиэтиленом; заливочная масса – масло марки «MIDEL 7131».

Также на рис. 1 приведено температурное поле в концевой муфте и в области заполненной маслом при коэффициенте теплоотдачи с поверхности внешнего изолятора 30 Вт/(м²·°С) и плотности теплового потока, приложенного к нижней крышке 1000 Вт/м².

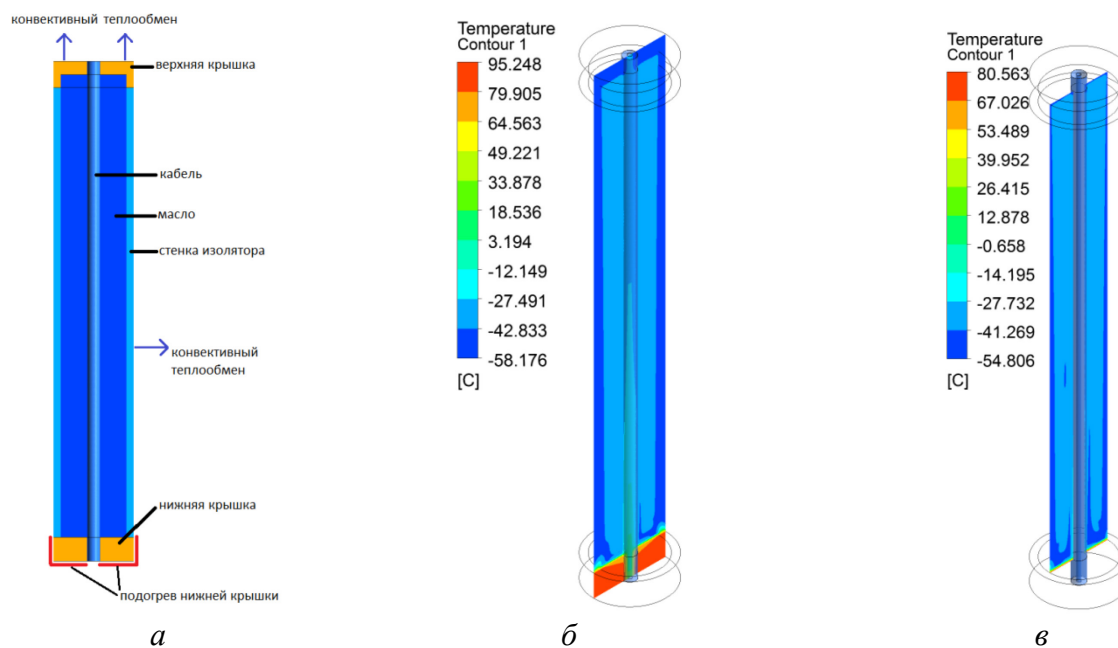


Рис. 1 – Расчетная область муфты (а), температурное поле в муфте (б), температурное поле в области, заполненной маслом (в)

Из рис. 1, б и 1, в видно, что при использовании контактного нагревателя нижней крышки муфты происходит конвективный теплообмен в области, заполненной маслом. Наибольший перепад температур (от 80 °С до минус 41 °С) при этом наблюдается в тонком слое, прилегающем к нижней крышке. Поле температур в остальной части масла достаточно равномерное. Максимальная температура металлического основания в этом случае достигает 95 °С.

В таблице приведены основные результаты численных исследований.

Таблица – Основные результаты численных исследований

Варианты расчета	Коэффициент теплоотдачи с поверхности изолятора 30 Вт/(м ² ·°С)		Коэффициент теплоотдачи с поверхности изолятора 50 Вт/(м ² ·°С)	
	$P = 317 \text{ Вт}$ ($q = 1000 \text{ Вт/м}^2$)	$P = 1268 \text{ Вт}$ ($q = 4000 \text{ Вт/м}^2$)	$P = 317 \text{ Вт}$ ($q = 1000 \text{ Вт/м}^2$)	$P = 1427 \text{ Вт}$ ($q = 4500 \text{ Вт/м}^2$)
Максимальная температура нижней крышки, °С	95,3	517,7	90,4	568,9
Минимальная температура масла, °С	-54,8	-33,8	-56,4	-39,8
Максимальная температура масла, °С	80,6	458,6	75,8	502,4
Средняя температура масла, °С	-38,7	-0,9	-40,2	-0,1

В таблице: q – плотность теплового потока, прикладываемого к нижней крышке муфты; P – мощность, определяемая произведением q и обогреваемой площади.

Видно, что при температуре нижней крышки муфты близкой к максимальной рабочей температуре изоляции кабеля (90 °С), средняя температура масла имеет достаточно низкие значения (около минус 40°С). Чтобы повысить среднюю температуру масла до 0 °С необходимо нагреть нижнюю крышку муфты до недопустимо высоких температур.

Таким образом, при практической реализации данного способа подогрева концевой муфты, может оказаться достаточно сложно оценить и обеспечить необходимый уровень плотности теплового потока, подводимого к основанию муфты. Также необходимо обратить внимание, что при таком способе подогрева может быть превышена допустимая рабочая температура для данного изделия.

Список литературы

1. ООО «Камский кабель»: официальный сайт. – Пермь. – URL: <https://www.kamkabel.ru> (дата обращения: 07.12.2020).
2. ООО «Завод Таткабель»: официальный сайт. – Казань. – URL: <http://www.tatcable.ru> (дата обращения: 07.12.2020).
3. ООО «МПК Энергосфера»: официальный сайт. – Пермь. – URL: <https://mpk-energospfera.ru> (дата обращения: 07.12.2020).
4. ООО «Аркасил СК»: официальный сайт. – Москва. – URL: <http://www.arkasil.com> (дата обращения: 07.12.2020).
5. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал УРСС, 2003. 784 с.
6. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. М.: Нау-ка, 1984. 285 с.
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. 616 с.

05.13.18

Г.М. Умнягин, В.Е. Дегтярев, С.В. Оболенский

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, obolensk@rf.unn.ru

РЕЗИСТИВНАЯ ПАМЯТЬ НА ОСНОВЕ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

Проведено численное моделирование вольт-амперных характеристик структуры резистивной памяти на основе нестехиометрических оксидов тантала. В рамках исследования приводятся результаты проведения импульсного исследования структур с разной формой проводящего филамента, такой как усеченный конус с разным углом наклона образующей. Показано как форма и общий объем проводящего филамента сказываются на амплитуде тока и количестве импульсов, необходимом для полного процесса разрыва и восстановления филамента.

Ключевые слова: *резистивная память, проводящий филамент.*

Введение

Двухслойная память с изменяемым сопротивлением на основе тантала недавно значительно улучшилась в отношении своих характеристик памяти. Известно, что образование и разрыв проводящих филаментов являются механизмом, который лежит в основе резистивного переключения. Природа филамента интенсивно изучалась, и несколько феноменологических режимов последовательно предсказывали поведение сопротивления. Однако физическая модель, описывающая полную структуру RRAM, пока не показана. В статье предлагается полная модель электротермического резистивного переключения, основанная на методе конечных объемов.

Целью работы ставилось дополнение программного продукта, проверка диффузионной модели с разными параметрами, моделирование структуры для исследования проводящего филамента.

Актуальность работы обусловлена необходимостью развития характеристик записывающих устройств, таких как энергонезависимость, емкость, мощность и других.

1. Вольт-амперные характеристики экспериментальной структуры

Для тестового расчета модели проводящего филамента с учетом допущений указанных выше была создана специальная структура. Нанесены электроды, толщиной 20 и 50 нм соответственно. Между электродами размещены нестехиометричный оксид тантала (15 нм) и пентооксид тантала (7.5 нм). Это 2D структура полученной из цилиндрической модели. Моделирование процесса, как было отмечено ранее, начинается уже после образования проводящего филамента, обозначенного на рисунке CF (Conductive filament). Размер филамента, как было замечено ранее, определялся ничем иным, как прямыми оценками, полученными с использованием сканирующей туннельной микроскопии. На рисунке 1 показан график вольт-амперной характеристикой (непрерывная линия) и результаты численного расчета (точки). Отклонение практики от теории в точке С на данный момент изучается. В моделированиях, основывающихся на методе Монте-Карло так же присутствует отклонение, но в другой области. Поэтому можно говорить, что после достижения удовлетворительных результатов методом конечных объемов, программный пакет целесообразно будет усовершенствовать с помощью этого метода.

В данном эксперименте формирование филамента происходило при отрицательном напряжении. Вначале оно подавалось при значении в -2 вольта, затем, после процесса формирования, напряжение снижалось до нуля. Поэтому процесс D-E проходит на уже имеющейся проводящей нити. При смене полярности, в процессе A-B наблюдается разрыв проводящего филамента. Именно в этих процессах и происходит запись информации.

Наша модель была откалибрована под результаты, представленные в статье [1]. Видно, что совпадение довольно четкое, чтобы говорить об успешности модели. Несовпадение точек самих с собой говорит о том, что филамент начинает «портиться». Это, очевидно, зависит уже от параметров структуры.

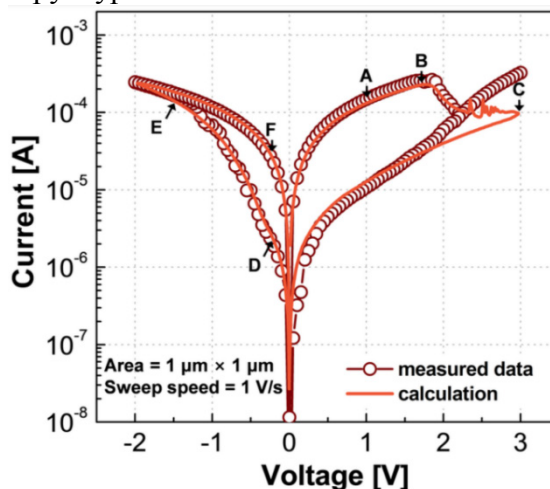


Рис. 1 – Вольт-амперная характеристика проводящего филамента.

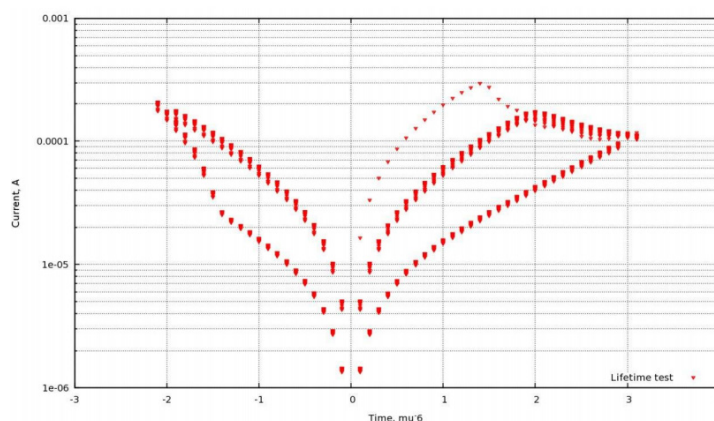


Рис. 2 – Калиброванная модель

2. Метод импульсного исследования

В работе предлагается метод «импульсного исследования». На структуру подается квадратный импульс длиной в 0,1 мкс и величиной 3В. Далее 0,9 мкс идет «релаксация» структуры, во время которой на 0,01В идет установление температуры (Рис.2). Для исследования было выбрано несколько характерных для данного расчета форм: прямой и перевернутый усеченные конусы и цилиндр, поскольку они правдоподобней описывают форму филамента после процесса формирования. Поэтому хорошими результатами можно называть изменение тока на 20%, так как уже при этом изменении можно однозначно определить, в каком состоянии находится филамент. Важность такого подхода к численному моделированию можно отнести к вопросам технического толка. Это дополнительная возможность сделать процесс записи на устройство быстрее за счет, например, переменного напряжения на контактах. Иначе говоря, в то время как стационарное решение предлагает 10 секунд на один цикл, импульсный метод сокращает это время до 44, 60 и 110 мкс для структур с различными формами (рисунок 3).

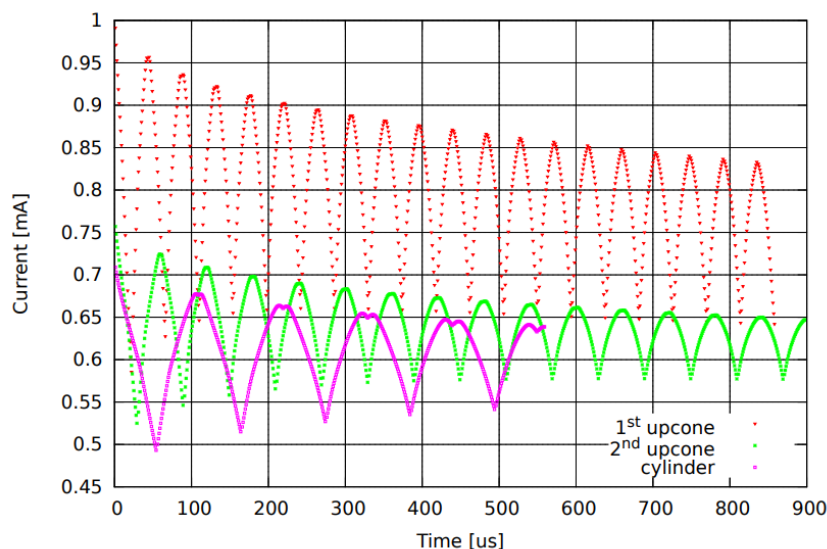


Рис. 3 – Результаты импульсного исследования структур

Основываясь на результатах, приведенных на графике, можно заключить, что цилиндрическая форма филамента не самая удачная. Возможно, первые две структуры более хорошо описывают форму филамента, формирование которого происходит посредством процесса «форминга», описанном в. Также можно предположить, что параметры выбраны не лучшим образом. Например, мы только предполагаем прямую зависимость теплопроводности от концентрации дефектов. Еще предстоит воспользоваться наработками статей для расширения предлагаемой базы материалов.

3. Выводы

В данной работе был создан комплекс настроек в имеющийся программный пакет, позволяющий с относительной легкостью добавлять в моделирование дополнительные носители (помимо электронов и дырок). Данный пакет позволяет моделировать диффузионные процессы в металлах и полупроводниках. Он был проверен тестами и аналитически. Была смоделирована структура для численной проверки экспериментальных данных, проведена калибровка к существующим результатам, и получены результаты импульсного исследования

Структуры, используемые в работе были смоделированы с использованием языка программирования "tcl". Основной целью было показать разницу между формами филамента и их объемами.

Относительно удачные результаты исследования с помощью импульсного исследования могут лечь в основу принципиально новой ветви развития RRAM. Развитие может коснуться некоторых пунктов в технологии производства и использования резистивной памяти.

В дальнейшем мы планируем обратить свое внимание на ряд аспектов, которые не были учтены в исследовании статьи. Такие, как обеднение ионами области под филаментом после его формирования, нелинейная форма CF, подача синусоидального импульса вместо квадратного.

*Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания,
проект 0729-2020-0057.*

Список литературы

1. Yang, J.J., Strukov, D.B. & Stewart, D.R. Memristive devices for computing. Nat. Nanotechnol. 8, 13–24 (2013).
2. Waser, R., Dittmann, R., Staikov, G. & Szot, K. Redox-based resistive switching memories- Nanoionic mechanisms, prospects, and challenges. Adv. Mater. 21, 2632–2663 (2009).
3. Xu, N. et al. Characteristics and mechanism of conduction/set process in TiN/ ZnO/Pt resistance switching random-access memories. Appl. Phys. Lett. 92, 232112 (2008).

05.13.18

С.В. Хазанова, С.В. Оболенский, Е.А. Тарасова, О.Л. Голиков, А.С. Пузанов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, tarasova@rf.unn.ru

**МЕТОДЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ
НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ AlGaAs/InGaAs**

В работе описан метод расчета электрофизических параметров гетеронаноструктурных транзисторов (HEMT) на основе соединений AlGaAs/InGaAs. Использование предложенного метода расчетов на основе самосогласованного решения уравнения Шредингера и Пуассона позволяет проводить моделирование зонных диаграмм структур и профилей распределения электронов с высокой точностью. На основании численных расчетов предложен метод аналитического расчета передаточных вольт-амперных характеристик исследуемых транзисторов.

Ключевые слова: *HEMT, самосогласованное решение уравнений Шредингера и Пуассона.*

Основным направлением развития современной микроэлектроники является уменьшение размеров рабочих областей диодных и транзисторных структур, что приводит к улучшению параметров быстродействия, увеличения объема памяти, увеличения предельных рабочих частот и усиливаемой мощности, снижения уровня шумов и т.д. [1]

Известные аналитические и простые численные модели, основанные на локально-полевым диффузионно-дрейфовом приближении, зачастую не позволяют проводить расчет электрофизических параметров гетероструктурных транзисторов (HEMT) с малой погрешностью. Последнее связано с сокращением размеров рабочей области полупроводниковых структур до длины релаксации энергии и импульса электронно-дырочного газа (20...50 нм для Si и GaAs в нормальных условиях) и времени пролета рабочей области до времени релаксации энергии и импульса электронно-дырочного газа (0,1...0,2 пс для Si и GaAs в нормальных условиях). Кроме того, с целью увеличения концентрации и подвижности используется введение дополнительной легирующей примеси вблизи слоя проводящего канала [1-3].

Указанные процессы приводят к нарушению условий локальности, что обуславливает рост погрешности расчета характеристик элементов. Кроме того, активное применение в приборах такого рода многослойных квантово-размерных гетеронаноструктур, то есть структур с большим количеством технологических параметров, приводит к необходимости учета уравнения Шредингера в используемых физико-топологических моделях. Методика получения и диагностики подобных структур является сложной и дорогостоящей задачей, поэтому численное моделирование даёт возможность анализировать гетероструктуры как на стадии проектирования, так и на этапе готовых изделий, помогая совершенствовать технологию производства приборов на их основе.

В данной работе предлагается метод моделирования субмикронных полупроводниковых гетероструктур на основе одномерного уравнения Пуассона, а также совместного решения уравнения Пуассона и Шредингера, широко применяемого в системах автоматизированного проектирования типа Silvaco TCAD. В работе исследовалась HEMT-структура на основе соединения AlGaAs/InAlAs, параметры которой приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры исследуемой НЕМТ-структуры AlGaAs/InAlAs

GaAs	50 нм	$3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ $x=0.22$	18 нм	
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ $x=0.22$	4 нм	10^{19} см^{-3}
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ $x=0.22$	3 нм	
GaAs	3 нм	
$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ $x=0.5$	12 нм	
GaAs	3 нм	
GaAs	1000 нм	

Обычно в системах автоматизированного проектирования типа Silvaco TCAD используется расширенная система уравнений в квазигидродинамическом приближении, которая дополняется уравнением Шредингера для расчета параметров двумерного электронного газа в квантовой яме исследуемых гетероструктур, состоящая из уравнений Пуассона, Шредингера, непрерывности, баланса энергии носителей заряда, а также выражения для плотности тока и потока энергии электронов [4].

Моделирование подобного типа структур является достаточно сложной задачей, которую достаточно сложно решить в базовых системах проектирования. Известно, что при дельта-легировании полупроводниковых структур легирующая примесь занимает область всего в несколько монослоев, т.е. имеет место наличие высокой степени пространственного ограничения примеси. При этом данные слои создают дополнительные потенциальные ямы и барьеры вблизи квантовой ямы (КЯ) и могут существенно изменить энергетический спектр квантовых состояний. При моделировании структур подобного типа с помощью автоматизированного проектирования, изложенного выше, сложно учесть ряд важных факторов, таких как: легирование различных областей структуры, взаимное расположение квантовой ямы и дельта-слоя, расстояние между квантовой ямой и дельта-слоем. Поэтому задача численного моделирования структур, содержащих дельта-легированные слои остаётся весьма актуальной и требует дополнительных независимых расчетов. В предлагаемой в работе методике численная схема решения основана на дискретизации уравнений Шредингера и Пуассона в координатном пространстве с использованием как однородной, так и неоднородной сетки. Итерационная процедура самосогласованного решения данных уравнений позволяет находить профили потенциала и уровни размерного квантования с высокой точностью (до 10^{-5} eV) [5].

С помощью процедуры самосогласованного решения уравнений Шредингера и Пуассона в работе были проведены расчеты энергетического спектра, огибающие волновых функций и профиль распределения концентрации заряда. Из анализа полученных результатов построены вольт-фарадные характеристики. Кроме того, предложенная методика позволяет проводить расчеты профиля потенциала и концентрации при плавном изменении внешнего напряжения. Таким образом, получено семейство зонных диаграмм структуры и концентраций носителей заряда при различных напряжениях на затворе транзистора в диапазоне от 0 до 1 В (рис. 1).

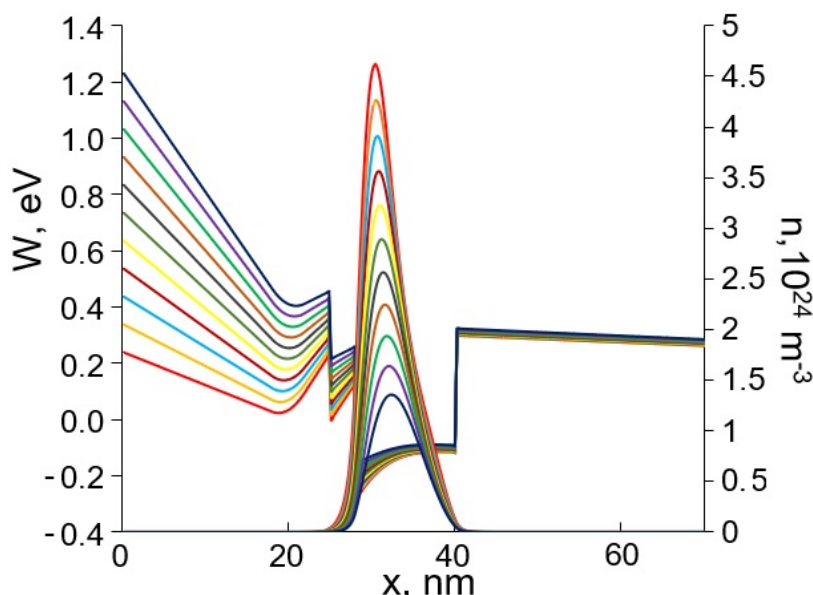


Рис. 1 – Результаты расчетов зонных диаграмм AlGaAs/InAlAs структуры и концентраций носителей заряда при напряжениях на затворе транзистора от 0 до 1 В с шагом 0.1 В.

Полученные результаты являлись входными для дальнейшего аналитического расчета статических передаточных вольт-амперных характеристик (ВАХ) транзисторов, изготавливаемых на основе исследуемых гетероструктур. Искомые ВАХ рассчитывались с помощью выражений для расчета скорости носителей заряда в канале, толщины обедненного слоя и выражения для расчета плотности тока в канале транзистора [4]. В аналитической модели учитывалась полученная из численных расчетов интегральная концентрация носителей заряда в канале HEMT при различных напряжениях на затворе, так же обязательным был учет всплеска скорости в канале транзистора. Пример рассчитанной передаточной ВАХ приведен на рис. 2. Анализ линейности полученных статических передаточных ВАХ может позволить проводить оценку уровня нелинейных искажений усилителей мощности на основе исследуемых HEMT.

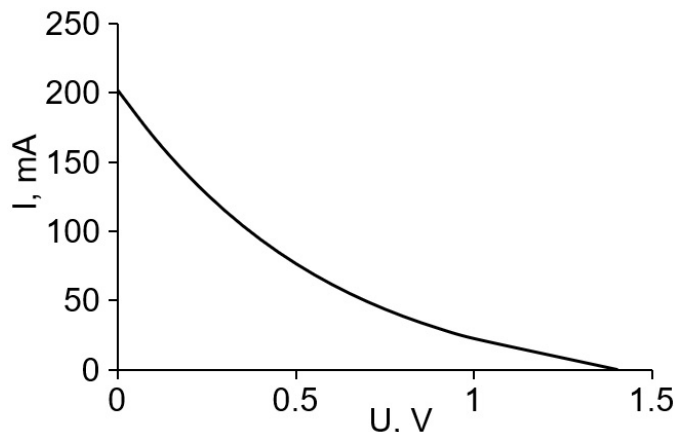


Рис.2 – Пример расчета передаточной вольт-амперной характеристики HEMT на основе соединения AlGaAs/InAlAs

Выводы

Применение описанного в работе подхода к моделированию электрофизических параметров гетероструктур и приборов на их основе с учетом особенностей проектирования при разработке современных изделий микро- и нанoeлектроники позволит уменьшить объем экспериментальных исследований, сократить сроки и стоимость проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ а та же повысить точность расчетов.

Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания, проект 0729-2020-0057.

Список литературы

1. Пожела Ю. Физика быстродействующих транзисторов. – Вильнюс: Мокслас, 264 с.
2. Киселев В.К., Оболенский С.В., Пузанов А.С., Скупов А.В. // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 2. С. 10.
3. Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А. // Физика и техника полупроводников. 2018. Т. 52, № 11. С. 1295.
4. Тарасова Е.А., Демидова Д.С., Оболенский С.В., Фефелов А.Г., Дюков Д.И. // Физика и техника полупроводников. 2012. Т. 46, № 12, С. 1587.
5. Хазанова С.В., Дегтярев В.Е., Тихов С.В., Байдусь Н.В. // Физика и техника полупроводников, 2015, том 49, выпуск 1. с. 53–57. № 1. Т. 49. 2015. С. 53-57

05.13.18

¹Т.А. Шоболова, ²А.С. Мокеев, ¹С.В. Оболенский, ²С.Д. Рудаков, ²Е.Л. Шоболов¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,²Филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю.Е.Седакова»,
Нижний Новгород,

ШИРОКИЙ КРЕМНИЕВЫЙ СУБМИКРОННЫЙ МЕТАЛЛ-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК ТРАНЗИСТОР С ЗАВИСИМЫМ КОНТАКТОМ К КАРМАНУ

В работе приведены результаты 2D и 3D численного моделирования распределения электрического поля и ВАХ, горизонтальных МОП-транзисторов на структурах «кремний на изоляторе» с совмещенным с истоком контактом к карману, с минимальным топологическим размером 350 нм. Предложена самосовмещенная технология изготовления транзистора с зависимым контактом, позволяющая изготавливать широкие транзисторы с двухслойным поликремниевым затвором, что обеспечивает уменьшение паразитной емкости затвора и увеличение скоростных характеристик микросхем.

Ключевые слова: МОП-транзистор, КНИ, двухслойный поликремний, зависимый контакт к карману, широкий транзистор.

Введение

К интегральным схемам (ИС), входящим в состав аппаратуры специального назначения, работающей в условиях воздействия внешних факторов (механических, климатических, специальных), предъявляются особые требования наиболее значимым из которых: уровень спецстойкости, миниатюризация, быстродействие, высокая надежность, малое энергопотребление, широкий диапазон рабочих температур и другие.

Фирма Honeywell в 2002 году опубликовала патент 6960810 В2, где описывается технология изготовления транзистора с двухслойным поликремниевым затвором [1]. Первый слой поликремния используется как маска для формирования «охранных колец» транзистора и способствует увеличению толщины слоя оксида кремния между вторым поликремнием и карманом транзистора, уменьшая паразитную емкость затвор-карман.

В данном патенте контакт к карману осуществляется посредством легированной области кремния под «охранным кольцом». Таким образом, контакт к слаболегированному карману осуществляется с двух сторон транзисторной структуры, что исключает возможность использования данной технологии при изготовлении широких транзисторов.

В данной статье описан способ изготовления оригинального транзистора с двухслойным затвором и зависимым контактом к карману, который позволяет получать широкие транзисторы (см.рис.1).

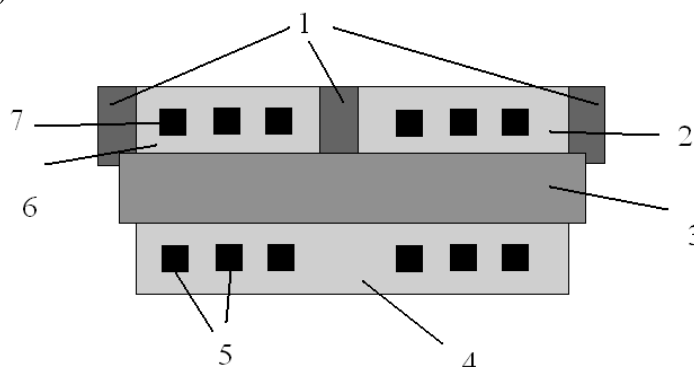


Рис. 1 – Изображение топологии широкого оригинального транзистора, где: 1 – контакт к карману; 2, 6 – кремниевый легированный слой (исток транзистора); 3 – поликремниевый затвор; 4 – кремниевый легированный слой (сток транзистора); 5 – силицидированный контакт к стоку; 7 – силицидированный контакт к истоку

Физико-топологическая модель транзисторов

Транзистор с совмещенным с истоком контактом к карману или зависимым контактом представляет собой транзистор, где контакт к карману электрически связан с истоком и, зачастую, топологически находится на области истока [2].

МОП-транзистор с двухслойным поликремниевым затвором обладает лучшими характеристиками, чем аналогичный классический транзистор. Транзистор с двухслойным поликремниевым затвором является более надежным, скоростным и спецстойким [1]. Повышенная надежность такого транзистора связана с уменьшением напряженности электрического поля в верхних углах кремниевого островка и в подзатворном диэлектрике.

При разработке технологии изготовления транзистора с зависимым контактом к карману, необходимо учитывать зависимость напряженности электрического поля от расстояния до контакта. Особенно это заметно в низколегированных образцах, так как с уменьшением концентрации примеси полупроводника, увеличивается его сопротивление [3].

Методика расчета

Численное моделирование распределения электрического поля в транзисторной структуре, транспорта носителей выполнялась при помощи программного пакета САПР TCAD.

В настоящей работе расчеты проводились в 2D и 3D квазигидродинамическом приближении [4].

Результаты и обсуждения

Для подтверждения вышесказанного утверждения об уменьшении напряженности электрического поля в транзисторе с двухслойным поликремниевым затвором были смоделированы 2D структуры транзисторов. Где на контакт затвора транзистора подавалось напряжение $V = 1$ В, на контакт кармана – напряжение $V = 0$ В. Кремниевый островок моделировался шириной 1 мкм и располагался при $0 < x < 1$. В результате было получено распределение напряженности электрического поля в подзатворном диэлектрике вблизи кремниевого островка (см.рис.2).

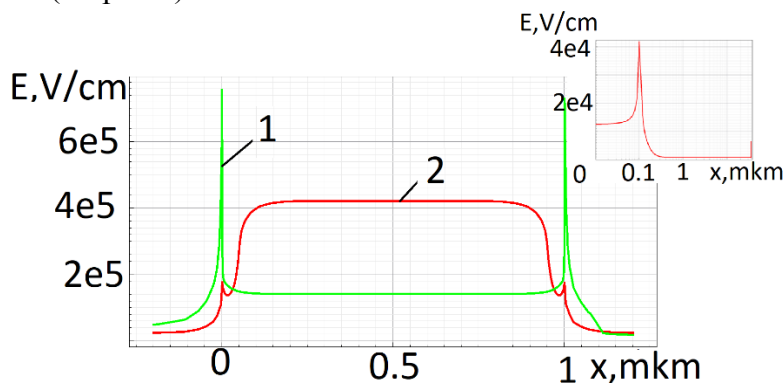


Рис. 2 – Распределение напряженности электрического поля в подзатворном диэлектрике вблизи кремниевого островка для: 1 – транзистора с однослойным поликремниевым затвором; 2 – транзистора с двухслойным поликремниевым затвором. На врезке приведено распределение напряженности электрического поля в слаболегированном полупроводниковом образце, длиной x .

Напряженность электрического поля в подзатворном диэлектрике классической структуры транзистора в 4 раза ниже чем у транзисторной структуры с двухслойным поликремниевым затвором. Таким образом, оригинальный транзистор является более надежным, чем классический.

На рисунке 4 на врезке также приведен результат моделирования в TCAD - распределение напряженности электрического поля 2D структуры между двумя контактами, с напряжением $V=0$ и $V=3,3$ В соответственно. Исследуемая структура - это кремниевый слой, толщиной 0,2мкм, что соответствует толщине рабочего слоя структуры КНИ, и шириной 35мкм, легированная фосфором, концентрацией 10^{17}см^{-3} (вставка, рис. 4). Приведенное значение

концентрации соответствует концентрации примеси в кармане транзистора. Контакты моделировались точечными на ширине 35 мкм.

Учитывая выше перечисленные особенности, был разработан способ изготовления транзистора с зависимым контактом к карману и двухслойным поликремниевым затвором на структурах КНИ (оригинальный транзистор), шириной от 10 до 100 квадратов. Самосовмещенная технология такого транзистора отличается от той, что предложена в патенте Honeywell [1] введением дополнительного топологического слоя, который на готовой структуре состоит из высоколегированной области кремния «вставки» (контакта к карману, см.рис.1) и слаболегированной области кремния, посредством которой происходит соединение «вставки» с карманом транзистора.

*Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания,
проект 0729-2020-0057.*

Список литературы

1. Патент US 6960810 B2, P.Fechner, Honeywell International Inc., Self-aligned body tie for a partially depleted SOI device structure, 2005.
2. Патент US 6154091 A, H01L, J.P.Pennings, G.E.Smith, M.H.Wood, SOI sense amplifier with body contact structure, 1999.
3. Шоболова Т.А., Кабальнов Ю.А., Оболенский С.В., Радиационно-стойкий биполярный транзистор на структурах «кремний на изоляторе, Электронная техника. Серия 2. Полупроводники, 2020.
4. Петросянц К.О., Попов Д.А., Быков Д.В., TCAD-моделирование дозовых радиационных эффектов в суб-100-нм high-k МОП-транзисторных структурах, Электроника, т.22, 2017.

05.13.18

М.А. Шурыгина канд. физ.-мат. наук, А.В. Хорьков, Ш.И. Галиев д-р техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Казань, m-akm@mail.ru, sh.galiev@mail.ru, alex22ferk@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И РАСПОЛОЖЕНИЯ КАМЕР НАБЛЮДЕНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА – ЧАСТЬ II

Представлены алгоритмы, численные результаты и программное обеспечение определения минимального числа камер и их расположения для наблюдения части территории Республики Татарстан, расположенной на левом берегу реки Волги и правом берегу реки Камы при различных возможных расстояниях, на которых наблюдение возможно. Проведены численные расчеты, демонстрирующие эффективность предложенных моделей, методов и алгоритмов.

Ключевые слова: задачи наблюдения за лесными пожарами, модели покрытия, задачи покрытия, покрытие кругами заданного радиуса.

Введение. Данная работа является продолжением работы [1], цель которой – определение минимального числа камер и их расположения для наблюдения части территории Республики Татарстан, расположенной на левом берегу реки Волги и правом берегу реки Камы при различных возможных расстояниях, на которых наблюдение возможно. В первой части работы приводится краткий обзор проблемы, дается математическая постановка задачи, приводятся математические модели и общая методика их анализа, при этом существенно используются результаты статей [2-3]. В данной части работы приводятся алгоритмы для решения представленных в [1] математических моделей определения минимального числа камер и их расположения для наблюдения указанной территории при различных возможных расстояниях, на которых наблюдение возможно. Также указывается методика и полученные результаты нахождения нижних оценок числа камер (числа покрывающих кругов), что позволяет оценить, как далеко решение от оптимального. Предложено программное обеспечение, реализующее указанные алгоритмы. Проведены численные расчеты, демонстрирующие эффективность моделей, методов и алгоритмов работы.

В данной работе мы используем те же обозначения и номера задач и формул, которые введены в [1].

Численные алгоритмы решения задач. Построенные в [1] задачи покрытия (наблюдения) являются задачами 0-1 линейного программирования (ЛП) либо задачами целочисленного ЛП. Их можно решать любым решателем задач целочисленного ЛП. При уменьшении шага Δ построения сетки, возрастает размерность n рассматриваемой задачи, и время решения становится неприемлемым. Поэтому для больших значений n , как и многие авторы, предлагаем эвристический алгоритм их решения.

Прежде отметим, что решение задачи ЛП менее затратное по времени, чем решение целочисленной задачи ЛП. Прежде рассмотрим задачи 0-1 ЛП (2)–(4). Если в задаче 0-1 ЛП условия $z_i \in \{0,1\}$, $1 \leq i \leq n$, заменить на условия $0 \leq z_i \leq 1$, $1 \leq i \leq n$, то полученная задача считается релаксированной задачей ЛП.

Эвристический алгоритм решения задачи (2)–(4) для задач покрытия состоит в следующем.

Шаг 1. Для задачи (2)–(4) строится релаксированная задача, отличающаяся от исходной только тем, что ограничения целочисленности заменяются на ограничения $0 \leq z_i$, $1 \leq i \leq n$. Отметим, что ограничения $z_i \leq 1$, $1 \leq i \leq n$, выполняются, так как целевая функция минимизируется.

Шаг 2. Решаем построенную релаксированную задачу, то есть задачу ЛП. Пусть найдено решение релаксированной задачи и оптимальные значения ее переменных равны, соответственно, $z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*$. Если все $z_i^*, 1 \leq i \leq n$, принимают значения 0 либо 1, то исходная задача 0-1 ЛП решена. Если среди z_i^* имеются нецелочисленные значения, то переходим к шагу 3.

Шаг 3. Упорядочиваем значения $z_i^*, 1 \leq i \leq n$, по невозрастанию. Выбираем величину q и в упорядоченном массиве значений $z_i^*, 1 \leq i \leq n$, выбираем q первых значений. Может оказаться, что среди q первых значений содержится только $v, v < p$, отличных от нуля. Тогда к этим v ненулевым значениям добавляем $q - v$ нулевых значений $z_i^*, 1 \leq i \leq n$, которые выбираются случайным образом (по равномерному закону распределения). Таким же образом осуществляется выборка, когда необходимо выбрать одно из нескольких одинаковых значений. Пусть указанным образом выбрали значения $z_i^*: z_{i1}^*, z_{i2}^*, \dots, z_{iq}^*$. Вводим переменные $y_l, 1 \leq l \leq q$, и коэффициенты $u_{lj} = a_{ml,j}$, где $1 \leq l \leq q, 1 \leq j \leq n$. Пусть $U = (u_{ij})$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_q)^T$, I^* – n -мерный вектор с единичными координатами. Далее строится 0-1 задача ЛП, так называемая, ядерная задача:

$$\min \{y_1 + y_2 + \dots + y_q : UY \geq I^*, y_i \in \{0,1\}, 1 \leq i \leq q\}.$$

Шаг 4. Решаем ядерную задачу. Положим, ядерная задача решена и найдены оптимальные значения $y_i: y_1^*, y_2^*, \dots, y_q^*$. Для каждого $y_l^* = 1$ полагаем, что соответствующее значение z_{il}^* равно 1. Для остальных значений полагаем, что $z_{il}^* = 0$. Полученные результаты принимаются за решение задачи (2)–(4).

Величина q выбирается таким образом, чтобы можно было решить ядерную задачу точным методом без привлечения эвристик и случайных процедур.

Если вводятся ограничения (5), то в данной работе задача (2)–(5), решается без эвристики.

В некоторых случаях для задачи k -кратного покрытия при $k > 1$, удается использовать эвристический алгоритм из работы [2]. В этом случае решаем задачу (2)–(4) либо (2)–(5), в которых ограничение (4) заменено на (6).

Численные результаты. Пусть G – часть территории Республики Татарстан, которая находится на левом берегу реки Волги и на правом берегу реки Камы, кроме того, считаем, что G не содержит территорию города Казани.

Получим численные результаты для задач P1–P3, указанных в [1].

Для получения решений с помощью указанных выше алгоритмов были разработаны программы и проведены расчеты. Разработанный комплекс программ реализует алгоритмы, представленные в данной работе. Комплекс программ реализован на языке C# с использованием .NET Framework 4.6.2 и Visual Studio 2015. Для разработки графического пользовательского интерфейса использовалась технология WPF (Windows Presentation Foundation).

В результате получены следующие числа камер и их нижние оценки в зависимости от величины r . В таблице приведены числа N_r видеокамер для (однократного) наблюдения всей области G при выбранных значениях дальности наблюдения камер. В этой таблице через r обозначена дальность наблюдения отдельной камеры, через N_r минимальное число камер для наблюдения всей области G при указанном значении r .

Таблица – Числа камер (однократного) наблюдения области G и их нижние оценки n_1 в зависимости от r дальности наблюдения камеры

r - дальность наблюдения отдельной камеры (в км)	Нижняя оценка (n_1) числа камер для наблюдения области G	Число камер (N_i) для наблюдения области G
15	37	40
16	32	36
17	30	33
19	26	27
20	25	26
20,5	24	25
21	23	24
21,5	22	22
22	20	20
24	19	19
24,5	18	18
25	17	17
30	13	13

Приведенная таблица фактически дает ответ на задачи P1–P2. Из таблицы видно, что для величин r в интервале от 21,5 до 30 км значения числа кругов N_i и их нижних оценок (величин n_1) совпадают, следовательно, число покрывающих кругов уменьшить нельзя. Когда величина r находится в интервале от 15 до 21 км значения N_i и n_1 различаются. Указанное различие означает, что либо 1) можно уменьшить N_i , либо 2) увеличить n_1 , либо 3) уменьшить N_i или увеличить n_1 (если $\varepsilon = M_i - n_1 > 1$). Указанные изменения величин N_i или n_1 возможно осуществить, например, уменьшая величину Δ – шага построения сетки, строя вновь множество T_Δ , а затем рассматривая задачи 0-1 ЛП при больших значениях их размерности. Мы привели те результаты, которые можем реализовать на нашем компьютере. Расчеты проводились на компьютере Intel Core i7-4790K, ОЗУ 8Гб, Windows 10x64.

Расположения пунктов наблюдения получаются при решении соответствующих задач 0-1 ЛП либо целочисленных задач ЛП. Приведем возможные расположения камер на области G , при некоторых значениях величин r . При этом число камер (N_i), обеспечивающих (однократное) покрытие G , указано в таблице. Камеры располагаются в центрах кругов, которые образуют покрытие области G . На Рис. 1 и 2 приведены расположения камер для радиусов кругов равных соответственно: 25 и 15 км.

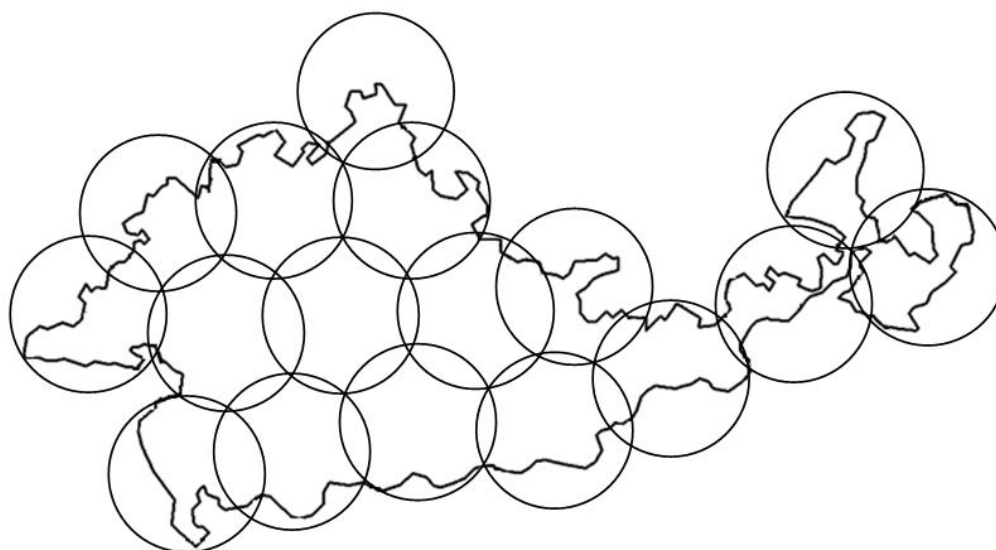


Рис. 1 – Однократное покрытие области G при $R = 25$ км, $N = 17$

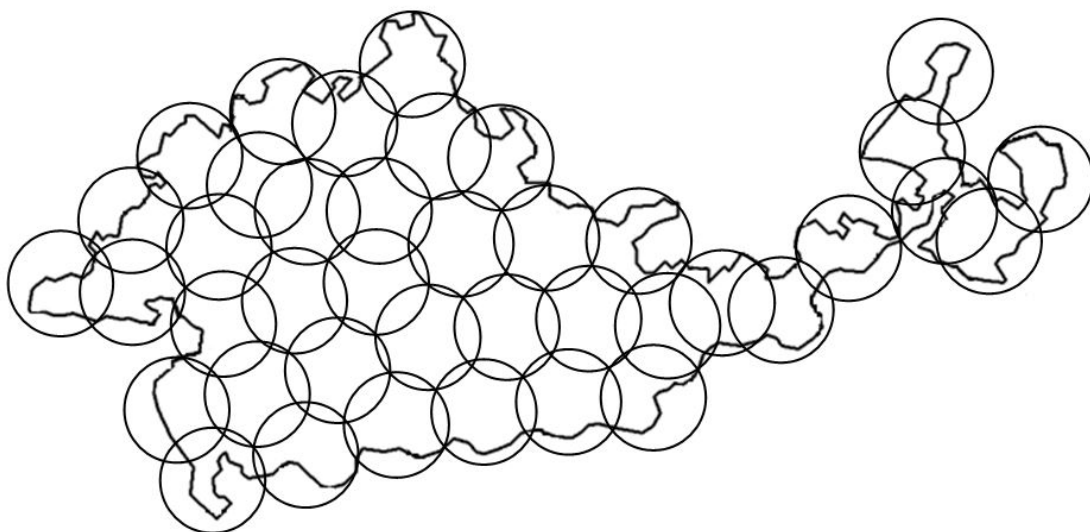


Рис. 2 – Однократное покрытие области G при $R = 15$ км, $N = 40$

Приведем результат покрытия всей территории Республики Татарстан для случая, когда находился минимально возможный радиус кругов согласно методу, предложенному в [2] при выбранном значении числа кругов. Здесь приведен результат для $r = 32,53$ км (при этом $N = 45$). Этот результат можно косвенно использовать для покрытия указанной выше области G.

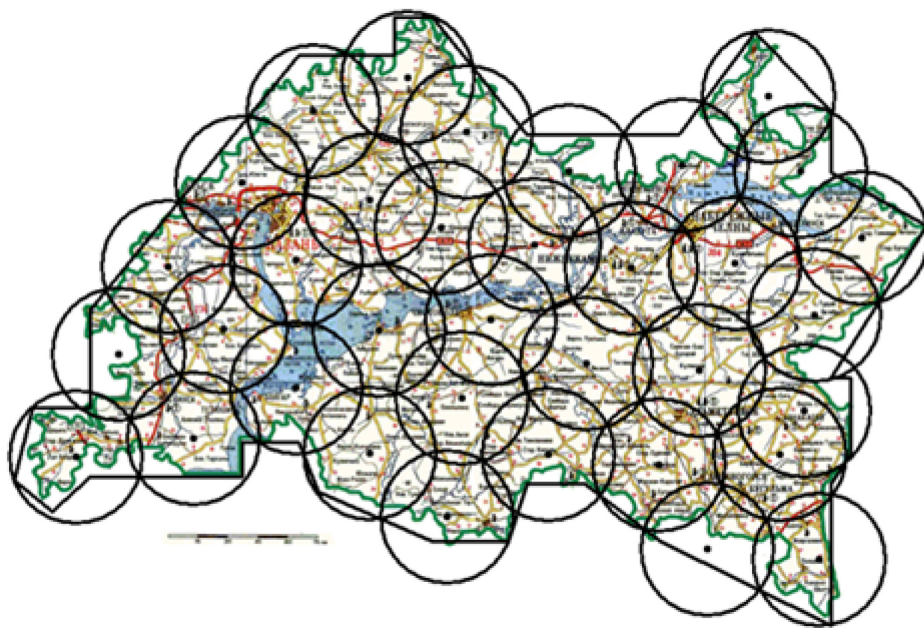


Рис. 3 – Однократное покрытие всей территории Республики Татарстан при $r = 32.535$ км, $N = 35$

Список литературы

1. Шурыгина М.А. Хорьков А.В., Галиев Ш.И. Определение числа и расположения камер наблюдения противопожарной системы для части территории Татарстана. Часть 1-я. // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. – №11. – С. 127–131.
2. Галиев Ш.И., Карпова М.А. Оптимизация многократного покрытия ограниченного множества кругами // Журнал вычисл. матем. и матем. физ. Т. 50. 2010. – №7. – С. 757–769.
3. Galiev Sh.I., Khorkov A.V. On the number and arrangement of sensors for multiple covering of bounded plane domains. // Journal of applied and industrial mathematics, 2019, Vol. 13, No. 1, pp. 43–53.

05.13.18

А.Г. Щербинин д-р техн. наук, Е.А. Бородина, Е.В. Субботин канд. техн. наук,
С.В. Ершов канд. техн. наук, В.А. Давыдова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет,
кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТЕРЬ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭКРАНАХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

С помощью математического моделирования магнитодинамических процессов проведены численные исследования потерь в металлических экранах одножильных силовых кабелей на среднее напряжение для различных способов их прокладки. Магнитодинамическая задача решалась методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS Maxwell.

Ключевые слова: силовые кабели, потери в металлических экранах, математическое моделирование, ANSYS Maxwell.

В трехфазных силовых линиях на среднее напряжение, сформированных из одножильных кабелей, часть электромагнитной энергии теряется за счет продольных токов в металлических экранах. В одножильных кабелях, у которых экраны соединены с обоих концов электрической секции, продольные токи могут достигать значений, сопоставимых с токами в токопроводящих жилах. Величина этих токов существенно зависит от взаимного расположения одножильных кабелей.

Магнитное поле, обусловленное протеканием тока по токопроводящим жилам, пронизывает замкнутые контуры, образованные экранами кабелей, в результате чего в них наводятся продольные токи, значение которых зависит от величин взаимной индуктивности между токопроводящими жилами и контурами, образованными экранами. Для определения магнитного поля и взаимных индуктивностей принимаются следующие допущения: силовые линии магнитного поля лежат в плоскости нормальной осям токопроводящих жил; токи смещения не учитываются; поскольку электромагнитное поле во времени изменяется по гармоническому закону, то применяется метод комплексных амплитуд.

С учетом сделанных допущений магнитодинамическая задача в двухмерной постановке, записанная для комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала $\dot{A}_z$, примет вид [1]:

проводящая среда

$$\frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial y^2} - i\omega\sigma\mu_a \dot{A}_z + \mu_a \dot{J}_s = 0 \quad ; \quad (1)$$

диэлектрическая среда

$$\frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial y^2} = 0 \quad , \quad (2)$$

где $\dot{A}_z$ – проекция комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала на ось z ; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость; $\dot{J}_s$ – вектор плотности источника переменного тока (в пределах одного проводника есть величина постоянная); $\dot{J}_e = -i\omega\sigma\dot{A}_z$ – вектор плотности вихревого тока; i – мнимая единица; σ – удельная электропроводность;

Уравнения (1), (2) дополняются уравнениями для заданных величин тока в проводниках. Токи в проводниках определяются по формуле

$$\dot{I} = \int_{S_C} \dot{J} ds = \int_{S_C} (-i\omega\sigma\dot{A}_z + \dot{J}_s) ds, \quad (3)$$

где S_C – площадь поперечного сечения проводника.

На бесконечно удаленной границе задается равенство векторного магнитного потенциала нулю.

Задача решается методом конечных элементов [2] в программном комплексе ANSYS Maxwell.

Численные исследования проведены для трехфазной группы, сформированной тремя силовыми кабелями марки АПвП 1×240/50-10 на напряжение 10 кВ с алюминиевой токопроводящей жилой сечением 240 мм², медным экраном сечением 50 мм² и сшитой полиэтиленовой изоляцией толщиной 3,4 мм. Ток в токопроводящих жилах задается равным 422 А. Рассматриваются следующие варианты прокладки кабелей: в горизонтальной плоскости (вплотную); в горизонтальной плоскости (с расстоянием в свету равном диаметру кабеля); треугольником.

В результате решения задачи определяется распределение комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала $\dot{A}_z$, по которому вычисляется напряженность магнитного поля. На рис. 1 приведена картина напряженности магнитного поля кабелей, проложенных треугольником и в горизонтальной плоскости (вплотную).

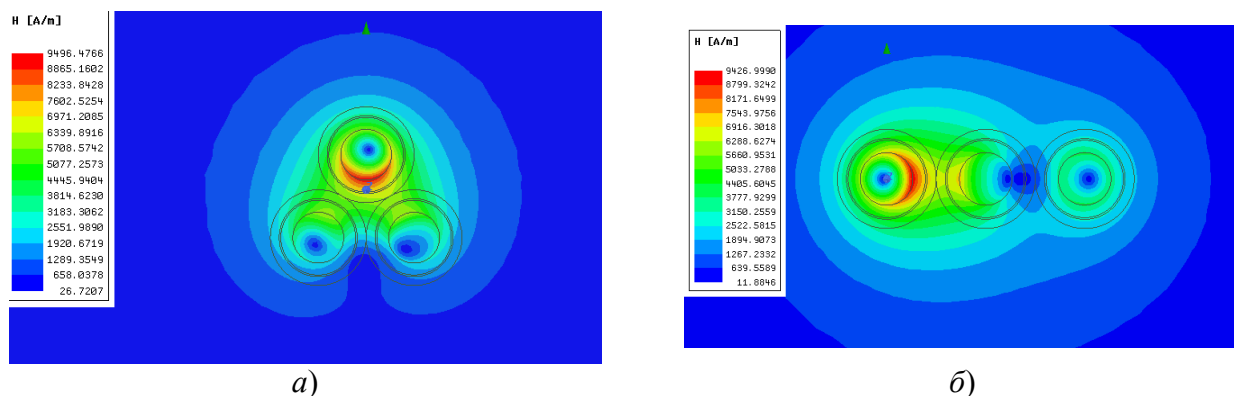
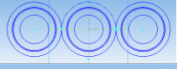
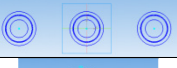


Рис. 1 – Распределение напряженности магнитного поля кабелей, проложенных треугольником (а) и в горизонтальной плоскости (б)

Кроме того, в процессе расчета магнитного поля формируется матрица индуктивностей, по которой определяются взаимные индуктивности (таблица 1). В таблице 1 в первой строке представлены результаты расчета взаимных индуктивностей при расположении кабелей в горизонтальной плоскости вплотную, во второй строке – в горизонтальной плоскости с расстоянием в свету равном диаметру кабеля, в третьей строке – треугольником. Видно, что при увеличении расстояния существенно растут взаимные индуктивности. В данном случае для M_{12} и M_{23} рост составляет 77%, а для M_{13} – 44%.

Таблица 1 – Взаимные индуктивности

Расположение кабелей	M_{12} , мкГн/м	M_{13} , мкГн/м	M_{23} , мкГн/м
	0,365	0,639	0,365
	0,644	0,921	0,644
	0,364	0,364	0,364

Токи в экранах силовых одножильных кабелей трехфазной группы определяются из системы уравнений, полученной с помощью законов Кирхгофа, с учетом вычисленных значений взаимных индуктивностей

$$\begin{cases} R_{\text{э}} \dot{I}_{\text{э}1} - i\omega M_{12}(\dot{I}_{\text{ж}2} + \dot{I}_{\text{э}2}) - i\omega M_{13}(\dot{I}_{\text{ж}3} + \dot{I}_{\text{э}3}) - \dot{U}_{\text{э}} = 0 \\ R_{\text{э}} \dot{I}_{\text{э}2} - i\omega M_{21}(\dot{I}_{\text{ж}1} + \dot{I}_{\text{э}1}) - i\omega M_{23}(\dot{I}_{\text{ж}3} + \dot{I}_{\text{э}3}) - \dot{U}_{\text{э}} = 0 \\ R_{\text{э}} \dot{I}_{\text{э}3} - i\omega M_{31}(\dot{I}_{\text{ж}1} + \dot{I}_{\text{э}1}) - i\omega M_{32}(\dot{I}_{\text{ж}2} + \dot{I}_{\text{э}2}) - \dot{U}_{\text{э}} = 0 \\ \dot{I}_{\text{э}1} + \dot{I}_{\text{э}2} + \dot{I}_{\text{э}3} = 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где $\dot{I}_{\text{ж}1}$, $\dot{I}_{\text{ж}2}$, $\dot{I}_{\text{ж}3}$ – токи в жилах, соответственно 1-го, 2-го и 3-го кабелей; $\dot{I}_{\text{э}1}$, $\dot{I}_{\text{э}2}$, $\dot{I}_{\text{э}3}$ – токи в экранах, соответственно 1-го, 2-го и 3-го кабелей; $R_{\text{э}}$ – активное сопротивление экрана; M_{12} , M_{13} , M_{23} – взаимные индуктивности между контурами, составленными из жил и экранов кабелей; $\dot{U}_{\text{э}}$ – разность потенциалов между узлами соединения экранов в начале и конце электрической секции.

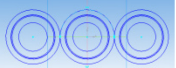
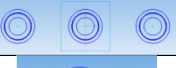
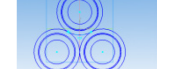
В результате решения системы уравнений (4) определяются токи в экранах $\dot{I}_{\text{э}1}$, $\dot{I}_{\text{э}2}$, $\dot{I}_{\text{э}3}$ и разность потенциалов $\dot{U}_{\text{э}}$.

При определении токовых нагрузок кабельных линий тепловые потери в экранах учитываются с помощью коэффициента потерь в экране [3], вычисляемого по формуле

$$y_{\text{э}} = \frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{ж}}} = \frac{I_{\text{э}}^2 R_{\text{э}}}{I_{\text{ж}}^2 R_{\text{ж}}}, \quad (5)$$

В таблице 2 приведены токи и коэффициенты потерь в экранах.

Таблица 2 – Токи и коэффициенты потерь в экранах

Расположение кабелей	$I_{\text{э}1}$, А	$I_{\text{э}2}$, А	$I_{\text{э}3}$, А	$y_{\text{э}1}$	$y_{\text{э}2}$	$y_{\text{э}3}$	$y_{\text{э,ср}}$
	173	85	153	0,483	0,116	0,379	0,326
	238	161	206	0,912	0,420	0,686	0,673
	111	111	111	0,198	0,198	0,198	0,198

Из таблицы 2, видно, что из рассмотренных вариантов, прокладка треугольником обеспечивает минимальное значение тепловых потерь в экранах кабелей. При прокладке в горизонтальной плоскости увеличение расстояния между кабелями приводит к росту потерь в экранах за счет увеличения взаимных индуктивностей.

Таким образом, определение потерь в экранах с помощью математического моделирования магнитодинамических процессов позволяет существенно повысить точность вычислений, поскольку данный подход позволяет учитывать особенности конструктивных и геометрических параметров кабелей и их взаимного расположения.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле : учебник для бакалавров. Москва: Юрайт, 2012. 317 с.
2. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. 895 с.
3. Основы кабельной техники. Под ред. И. Б. Пешкова. Москва: Академия. 2006. 427 с.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (05.13.19)**

05.13.19

¹А.А. Шашков, ²А.В. Власенко канд. техн. наук, ¹С.М. Чеботарев¹АО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» -
«НИИ – космического приборостроения»,
Москва, smich-kr@mail.ru,²Кубанский государственный технологический университет,
Краснодар, vlasenko@kubstu.ru**СПЕЦИФИКА ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ СКРЫТОГО УПРАВЛЕНИЯ
КРИТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ГОСУДАРСТВА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ
НЕЛЕГАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ**

В данной работе рассмотрена система скрытого управления (СУ) критическими объектами государства (КОГ), представляющая интерес для потенциальных атак злоумышленников. Проведена классификация способов программных воздействий на информационные ресурсы в защищенных компьютерных сетях скрытого управления КОГ и рассмотрена специфика защиты СУ указанных объектов.

Ключевые слова: *скрытое управление, защищенные компьютерные сети, злоумышленник, система противодействия угрозам информационной безопасности.*

К критическим объектам государства относятся объекты, нарушение функционирования которых связано с техногенными катастрофами, приводящим к массовой гибели граждан, к нарушению экономической или политической стабильности государства, ослаблению оборонного могущества государства.

Степень подверженности угрозам систем управления, указанными объектами, зависит от наличия в них уязвимых мест. Состав и специфика уязвимых мест СУ определяется видом решаемых задач, характером обрабатываемой информации, аппаратно-программными особенностями их элементов, наличием средств защиты и их характеристиками, действиями пользователей и администраторов информационной системы. Выделяются два типа угроз [1,2,3]:

- непреднамеренные или случайные действия, выражающиеся в неадекватной поддержке механизмов защиты и ошибках в управлении;
- преднамеренные угрозы - несанкционированное получение информации и несанкционированная манипуляция данными, ресурсами и самими системами.

С точки зрения систематизации способов воздействия на информационные ресурсы СУ интерес представляют преднамеренные угрозы, к которым можно отнести [4]:

- несанкционированный доступ к информации, хранящейся в памяти компьютерной системы, с целью ее нелегитимного использования;
- разработка специального программного обеспечения, предназначенного для осуществления несанкционированного доступа или других противоправных действий;
- скрытие действий, связанных с манипулированием информацией, и другие несанкционированные действия;
- ввод программных продуктов, начинающих выполняться при определенных условиях (системное событие) или после истечения определенного момента времени, и частично либо полностью выводящих из строя компьютерную систему;
- разработка и распространение компьютерных вирусов;
- манипуляция данными (например, несанкционированная модификация, приводящая к нарушению целостности данных);

- перехват (например, нарушение конфиденциальности информации);
- отрицание действий или услуги (отрицание существования утерянной информации);

Преднамеренные угрозы могут быть реализованы программным путем, с помощью отдельного модуля в составе программного обеспечения (ПО), либо внепрограммными средствами [4,5].

К внепрограммным относят злоупотребления, в основе которых лежат использование технических средств для подготовки и реализации компьютерных преступлений, которые могут осуществляться непосредственно злоумышленными лицами организаций.

А к программным, относятся нелегальные программные средства для компьютерных злоупотреблений, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Нелегальные программные средства

Наименование	Вид злоупотребления
<i>Программы получения паролей</i>	Группы программ для получения идентификаторов и паролей пользователей
<i>«Люки» или «trap door»</i>	Не описанные в документации возможности работы с программным продуктом
<i>Логические бомбы</i>	Программы, являющиеся безвредными до выполнения определенного условия, после которого выполняются злоумышленные действия
<i>«Троянский конь»</i>	Программы, выступающие в качестве средства несанкционированного доступа к содержащейся в системе информации
<i>Репликаторы</i>	Программы, создающие одну или более своих копий в компьютерной системе, что быстро переполняет памяти компьютера
<i>Программные закладки</i>	Программы, сохраняющие вводимую с клавиатуры информацию (в т.ч. и пароли) в некоторой зарезервированной для этого области
<i>«Атака салями»</i>	Программы для НСД к финансовым и банковским информационным системам
<i>«Скрытые каналы»</i>	Программы, передающие информацию лицам, которые не должны получать эту информацию
<i>Компьютерные вирусы</i>	Программные разработки, способные проникнуть в среду компьютерных систем и наносить разного рода повреждения
<i>«Отказы в обслуживании»</i>	Так называемые «жадные программы», способные захватить монопольно определенный ресурс системы (причем необязательно центральный процессор) для несанкционированного использования компьютерной системы в своих целях
<i>«Работа между строк»</i>	Программы, встраиваемые в систему через линию связи в промежутках (окнах), возникающих в действиях законного пользователя
<i>«Подкладывание свиньи»</i>	Программы, имитирующие сеанс для получения данных под видом легального пользователя
<i>«Повторное использование объектов»</i>	Программа восстанавливает и повторно использует удаленные объекты компьютерной системы
<i>«Раздевание»</i>	Программа снимает защиту от несанкционированного доступа с лицензированных программных продуктов
<i>Полиморфное программное злоупотребление</i>	Самообучающаяся программа с целью изменения поведения в соответствии с конфигурацией и состоянием системы и адаптации к внешним или внутренним условиям

Рассмотрим построение информационных элементов с точки зрения выявления уязвимых компонент и мест [5]. Материальной основой системы управления КОГ являются автоматизированные системы управления (АСУ), базирующиеся на компьютерных сетях (глобальные, региональные, корпоративные), состоящие из отдельных компьютеров, информационные ресурсы которых объединяются при помощи системы телеобработки и передачи данных. Компьютерные сети КОГ относятся к классу защищенных информационных систем.

Систематизация способов воздействий на информационные ресурсы КОГ позволяет констатировать, что эффективный несанкционированный доступ к защищаемой информации выполняется только на основе выявления слабых мест систем защиты (СМСЗ) информации. Вследствие этого взлому СМСЗ предшествует «разведка» слабых мест для выбора наиболее эффективного метода атаки [5].

Анализ показывает, что большинство уязвимостей порождается отсутствием или низкой эффективностью известных приоритетных функций, положенных в основу защиты.

Используемые в настоящее время СЗИ от несанкционированного доступа, в функциональном смысле, являются однотипными [4,5]. Отличия составляют лишь некоторые характеристики, связанные со способами использования ими вычислительных ресурсов компьютерных сетей. Это позволяет при проведении исследований в качестве типовых рассматривать СЗИ с обобщенной функциональной структурой, используя при этом характеристики известных систем [4].

Одним из важнейших требований к СЗИ является защищенность ее подсистем от попыток разрушения программными методами.

В настоящее время существует два концептуальных подхода к защите информации от вредоносных программ: традиционный и подход, основанный на принципах распределенной защиты информации [4,5].

Первый из этих подходов основан на периодической проверке памяти вычислительных средств на наличие компьютерных вирусов. Для этого используются пакеты стандартных антивирусных программ. Второй подход предполагает систему строенных проверок элементов вычислительной системы, осуществляющих автоматический контроль при включении системы в работу. При построении СУ критическими объектами государства целесообразно комбинировать оба указанных подхода для повышения эффективности защиты. Кроме того, необходимо строго соблюдать правила подготовки к работе и использование криптографических средств защиты информации.

Выводы. Для эффективной защиты СУ критическими объектами государства от воздействия вредоносных программ необходимо строить комплексную защиту путем объединения традиционного подхода с методом, основанным на принципах распределенной защиты информации, а также соблюдать правила подготовки к работе и использование криптографических средств защиты информации.

Список литературы

1. Александров А.В. Оценка защищенности объектов информатизации на основе анализа воздействий деструктивных факторов / А.В. Александров: Автореф. дис. канд. тех. наук / Всерос. НИИ проблем выч. тех. и информатиз. М., 2006.
2. Александрович Г.Я. Автоматизация оценки информационных рисков компании / Г.Я.Александрович, С.Н. Нестеров, С.А. Петренко // Защита информации. Конфидент. 2003. № 2. С. 53-57.
3. Астахов А. Анализ защищенности корпоративных автоматизированных систем / А. Астахов // JetInfo. 2002. № 7. С.3-28.
4. Анализ способов проведения атак на информационные ресурсы компьютерных сетей. / Тюнякин Р.Н., Лиходедов Д.Ю., Золотарева Е.А., // Сборник материалов 5 Всероссийской конференции «Информационная безопасность России». - М: Издательство «Бизнес + безопасность», 2003. - С. 136 -138.
5. Баутов А. Эффективность защиты информации / А. Баутов // Открытые системы. 2003. №7-8.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, Е.С. Воробьев,
А.К. Мезиков, Р.Х. Шагимуллин
МЕТОДОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОРЫВНЫХ
РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И
ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКИХ И БИТУМНЫХ НЕФТЕЙ

Ключевые слова: методология, сопряженное качественно-количественное моделирование, внутривластовое преобразование нефти.

Задача разработки оптимальных технологий бессмысленна. Поскольку термин «оптимальный» означает наилучший результат при наилучших для данного способа, действия или события условиях. Естественно, проверить все возможные сочетания условий на практике невозможно. Речь может идти о рациональных технологиях. Просто рациональные технологии, как правило, разрабатываются и применяются для конкретных способов. Прорывные рациональные технологии можно и нужно разрабатывать для целого рода схожих процессов. Они являются эффективными и универсальными.

К.З. Билятдинов
МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
БОЛЬШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ключевые слова: модель, устойчивость, время, большая техническая система, качество, управление.

Предлагается модель обеспечения устойчивости больших технических систем в виде комплекса взаимосвязанных таблиц и критериев устойчивости систем, описывающих состояние систем в условиях деструктивных воздействий. В модели представлена динамика состояний устойчивого функционирования на основе изменений количественных значений устанавливаемых показателей качества.

К.З. Билятдинов
МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: вероятность, методика, техническая система, неисправность, оценка, эксплуатация, эффективность.

Представлены методика оценки выхода из строя заданного количества элементов технической системы в зависимости от вероятности выхода одного элемента в ее составе и методика оценки вероятности достижения цели функционирования технической системы в зависимости от временных характеристик и количества отказов (неисправностей), возникающих в процессе эксплуатации.

А.А. Василец
СИММЕТРИЧНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ВЕКТОРНЫЙ
АНАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ ТАНДЕМНОЙ АМПЛИТУДНО-
ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Ключевые слова: оптические высокочастотные структуры симметричного типа; симметричный оптический векторный анализатор; двухчастотное симметричное зондирующее излучение.

В работе рассматривается оптический векторный анализатор (ОВА) симметричного типа, основанный на амплитудно-фазовой двухполосной модуляции с подавлением оптической несущей. Точные и стабильные частотные характеристики достигаются в нем путем формирования и минимизации в зондирующем излучении таких составляющих высших порядков, разностная частота которых не совпадает с разностной частотой двух основных измерительных составляющих первого порядка. По сравнению с известными решениями обработка спектральной информации ведется на частоте модуляции, а не на удвоенной частоте; в 2 раза увеличен рабочий диапазон ОВА по полосе пропускания тестируемых устройств.

B.N. Ivanov, R.N. Kostromin, E.S. Vorobyev,
A.K. Mezikov, R.Kh. Shagimullin
METHODOLOGY AND PROSPECTS OF
BREAKTHROUGH RATIONAL TECHNOLOGIES FOR
CONVERSION AND PRODUCTION OF HIGH-VISCOSITY
AND BITUMINOUS OILS

Keywords: methodology, coupled qualitative and quantitative modeling, intra-reservoir transformation of oil.

The task of developing optimal technologies is meaningless. We can talk about rational technologies. Rational technologies are usually developed and applied for specific methods. Breakthrough rational technologies can and should be developed for a whole range of similar processes. They are effective and versatile.

K.Z. Biliatdinov
MODEL OF SUPPORT OF STABILITY OF BIG
TECHNICAL SYSTEMS

Keywords: model, stability, time, big technical system, quality, management.

The article proposes a model of stability of big technical systems in a form of a set of interdependent tables and criteria of systems' stability that describe a system's condition under the destructive influence. The model presents dynamics of a state of stable functioning of a system based on changes of values of the quality indicators.

K.Z. Biliatdinov
METHODS OF ASSESSMENT OF PROBABILISTIC
CHARACTERISTICS OF TECHNICAL SYSTEMS IN
OPERATIONAL PROCESS

Keywords: probability, method, technical system, failure, assessment, operation, effectiveness.

This paper presents a method of assessment of failure of a set number of elements of a technical system depending on the probability of failure of one element within it. Also, the paper presents a method of assessment of the probability of a technical system's achievement of its purpose depending on temporal characteristics and number of failures in the process of the system's operation.

A.A. Vasilets
SYMMETRIC OPTICAL VECTOR ANALYZER BASED ON
TANDEM AMPLITUDE-PHASE MODULATION

Keywords: symmetric high-Q optical structures; symmetric optical vector analyzer; symmetrical dual-frequency probe radiation.

The paper considers an optical vector analyzer (OVA) of a symmetric type, based on amplitude-phase two-band modulation with suppression of an optical carrier. Accurate and stable frequency characteristics are achieved in it by the formation and minimization of such higher-order components in the probing radiation, the difference frequency of which does not coincide with the difference frequency of the two main measuring components of the first order. In comparison with the known solutions, the processing of spectral information is carried out at the modulation frequency, and not at the doubled frequency; the operating range of OVA has been increased by 2 times in terms of the bandwidth of the tested devices.

И.Б. Гинзбург, А.А. Ермаков, С.Н. Падалко
БЫСТРЫЙ СТАРТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Ключевые слова: организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, технологии дистанционного обучения, разработка методов дистанционного обучения.

В статье описано, как с минимальными затратами начать дистанционное обучение с использованием сети Интернет и электронной почты для студентов и аспирантов высших учебных заведений, а также слушателей курсов профессиональной переподготовки. В контексте статьи учащиеся представляются людьми взрослыми и обладающими определенной самостоятельной мотивацией к освоению учебного материала. Рассматривается минимальный набор необходимых технических и программных средств для преподавателей и студентов, а также подходы к организации процесса дистанционного обучения.

И.Б. Гинзбург, А.А. Ермаков, А.Ю. Степаненко
ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ С
ПОМОЩЬЮ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЕБ-
ПРИЛОЖЕНИЙ

Ключевые слова: организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, веб-приложения для дистанционного обучения, разработка методов дистанционного обучения.

В статье описаны возможности применения неспециализированных веб-приложений в процессе дистанционного обучения студентов и аспирантов высших учебных заведений, а также слушателей курсов профессиональной переподготовки. В контексте статьи учащиеся представляются людьми взрослыми и обладающими определенной самостоятельной мотивацией к освоению учебного материала. Рассматриваются виды неспециализированных веб-приложений, а также подходы к организации процесса дистанционного обучения с их помощью.

О.К. Головнин, П.А. Пушкин
ОПЕРАТИВНО-СОВЕТУЮЩАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО
ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Ключевые слова: распределенная координация, пространственно-временной спрос, стратегия размещения.

В работе представлена разработанная оперативно-советующая экспертная система для пространственно-временного планирования маршрутов движения в процессе курьерской доставки грузов или в службе такси. Результаты исследования показали, что использование системы увеличивает эффективность планирования маршрутов на 10%.

Н.С. Кашульская, В.И. Мельников
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕТРЯНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
МАЛОЙ МОЩНОСТИ В РАЙОНАХ
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Ключевые слова: АСММ, ветряные станции, сравнительный анализ, эффективность.

В данной работе рассмотрены основные требования и характеристики ветровых и атомных станций малой мощности для работы в условиях децентрализованного энергоснабжения. Сделаны выводы о целесообразности применения ветряных источников энергии в условиях регионов со слабой инфраструктурой, по сравнению с плавучим энергоблоком.

I.B. Ginzburg, A.A. Ermakov, S.N. Padalko
QUICK START FOR DISTANCE LEARNING USING THE
INTERNET

Keywords: distance learning organization, distance learning tools, distance learning technologies, distance learning methods development.

The article describes how to start distance learning using the Internet and email for undergraduate and postgraduate students of higher educational institutions, as well as students of professional retraining courses, at minimal cost. In the context of the article, students appear to be adults and have a certain independent motivation to master the educational material. The minimum set of necessary hardware and software for teachers and students is considered, as well as approaches to organizing the distance learning process.

I.B. Ginzburg, A.A. Ermakov, A.Y. Stepanenko
DISTANCE LEARNING OVER THE INTERNET USING
NON-SPECIALIZED WEB APPLICATIONS

Keywords: distance learning organization, distance learning tools, distance learning web applications, distance learning methods development.

The article describes the possibilities of non-specialized web applications usage in the distance learning process for undergraduate and postgraduate students of higher educational institutions, as well as students of professional retraining courses. In the context of the article, students appear to be adults and have a certain independent motivation to master the educational material. The article considers the types of non-specialized web applications, as well as approaches to organizing the distance learning process with their help.

O.K. Golovnin, P.A. Pushkin
ONLINE ADVISING EXPERT SYSTEM FOR SPATIAL-
TEMPORAL ROUTES PLANNING OF DYNAMIC
OBJECTS RELOCATION

Keywords: distributed coordination, space-time demand, placement strategy.

The paper presents the developed online advising expert system for spatial-temporal routes planning of courier delivery or in a taxi. The results of the study showed that the proposed system implementation increases the efficiency of route planning by 10%.

N.S. Kashulska, V.I. Melnikov
COMPARATIVE ANALYSIS OF WIND POWER PLANTS
AND LOW-POWER NUCLEAR POWER PLANTS IN
AREAS OF DECENTRALIZED POWER SUPPLY

Keywords: ASMM, wind farms, comparative analysis, decentralized power supply.

In this paper, the main requirements and characteristics of low-power wind and nuclear power plants for operation in conditions of decentralized power supply are considered. Conclusions are drawn about the feasibility of using wind power sources in regions with weak infrastructure, compared with a floating power unit.

С.И. Ксенофонтов, А.Н. Лепаев, О.В. Васильева,
А.В. Беляков, Л.А. Кипрова, А.В. Гаврилов
ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОНОВ ЛИТИЯ В ПЛАМЕНИ

Ключевые слова: пламя, литий, зона пламени, цветовая насыщенность, доминирующая длина волны.

Щелочные металлы легко возбуждаются в пламени. Литий имеет две резонансные линии 671 нм и 610 нм. В пламени углеводородного горючего и пиротехнического состава возникает излучение на длине волны 610 нм. В излучение пламени не все ее зоны вносят одинаковый вклад

О.Н. Кузина

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА (IQ ПРОЕКТА)

Ключевые слова: строительство, системный анализ, моделирование, информационная модель, жизненный цикл объекта, эксплуатация, сквозные цифровые технологии, технико-экономические показатели, цифровизация строительства, индекс цифровизации

В работе рассмотрены основные цифровые вызовы строительной отрасли для предприятий строительной отрасли: проектные организации, строительные организации, эксплуатирующие и/или управляющие компании, представлены результаты разработки методики оценки уровня цифровой трансформации организаций строительной отрасли. Рассмотрен принцип оценки уровня цифровизации проекта и организации в целом.

Р.В. Лебедев, А.В. Мурыгин

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ СХОДСТВА

Ключевые слова: оценка сходства, весовые коэффициенты, матрица парных сравнений, клиент-серверная система, нечеткие отношения.

В статье рассмотрены способы задания весовых коэффициентов критериев в задачах управления ограниченными ресурсами на основе оценки сходства с эталоном на примере корпоративных клиент-серверных систем. Подход к оценке важности критериев на основе нечетких отношений предпочтения делает неприменимыми некоторые распространенные методы решения через вычисление собственного вектора матрицы парных сравнений, что обуславливает необходимость поиска иных способов задания весов. В рамках приведенных исследований рассмотрен ряд способов и определены критерии их сравнения, позволяющие оценить возможность их применения для построения интервальных шкал.

И.А. Макаров

ТРЕБОВАНИЯ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕРА ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть; передатчик сетевого оптического узла; восходящий канал; система контроля центральной длины волны; требования к частотным характеристикам.

В стандартах пассивных оптических сетей (PON) второго поколения указаны две технологии, а именно, волновое (WDM) и гибридное (TWDM) мультиплексирование с временным и волновым разделением. Одна из задач обеих технологий – реализациястраиваемого передатчика (Tx) восходящего канала в сетевом оптическом узле (ONU), обеспечивающего связь линейным терминалом сети (OLT) и раздающего информацию подключенным абонентам. В статье требования к характеристикам перестраиваемого по длине волны Tx рассмотрены вместе с потенциальными методами их развития.

S.I. Ksenofontov, A.N. Lepaev, O.V. Vasilyeva,
A.V. Belyakov, L.A. Kiprova, A.V. Gavrilov
EXCITATION OF LITHIUM IONS IN A FLAME

Keywords: flame, lithium, flame zone, color saturation, dominant wavelength.

Alkali metals are easily excited in flames. Lithium has two resonance lines, 671 nm and 610 nm. In the flame of hydrocarbon fuel and pyrotechnic composition, radiation occurs at a wavelength of 610 nm. Not all of its zones make the same contribution to the radiation of the flame.

O.N. Kuzina

METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF CONSTRUCTION DIGITAL TRANSFORMATION (PROJECT IQ)

Keywords: construction, system analysis, modeling, information model, object life cycle, operation, end-to-end digital technologies, technical and economic indicators, digitalization of construction, digitalization index.

This paper considers the main digital challenges of the construction industry, to respond to them for construction companies: design organizations, construction organizations, operating and / or management companies, and presents the results of developing a methodology for assessing the level of digital transformation of organizations in the construction industry. The principle of evaluating the level of the project digitalization and the organization as a whole is considered.

R.V. Lebedev, A.V. Murigin

WEIGHT COEFFICIENTS CALCULATION IN FOR SIMILARITY ASSESSMENT

Keywords: similarity assessment, weight coefficients, pairwise comparison matrix, client-server system, fuzzy relations.

The article discusses the methods of setting weighting coefficients of criteria in the problem of managing limited resources based on assessing the similarity with the standard, using the example of corporate client-server system. The approach to assessing the importance of criteria based on fuzzy preference relations makes some common methods of solving through the calculation of the eigenvector of pairwise comparison matrix inapplicable, which necessitates the search for other ways of setting weights. Within the framework of the above studies, a number of methods are considered and criteria for their comparison are determined, which make it possible to assess the possibility of their application for constructing interval scales.

I.A. Makarov

REQUIREMENTS FOR THE CHARACTERISTICS OF THE CENTRAL LASER WAVE LENGTH MONITORING SYSTEM AT UPSTREAM CHANNEL OF PASSIVE OPTICAL NETWORKS

Keywords: passive optical network; optical network unit transmitter; upstream channel; central wavelength monitoring system; requirements for frequency characteristics.

The second generation passive optical network (PON) standards specify two technologies, namely wavelength division multiplexing (WDM) and hybrid time and wavelength division multiplexing (TWDM). One of the objectives of both technologies is to implement a tunable upstream channel transmitter (Tx) in the ONU, which provides communication by the network optical line terminal (OLT) and distributes information to connected subscribers. In this article, the requirements for the characteristics of Tx tunable lasers wavelength are considered together with potential methods for their development.

Ю.Н. Матвеев, Л.В. Лобачева
СИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СВАЛОК ТВЕРДЫХ
КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: свалка твердых коммунальных отходов, мониторинг, автоматизация, интеллектуализация, моделирование, оценка, прогнозирование.

В работе представлены системологические подходы к организации интеллектуализации автоматизированных систем мониторинга состояния свалок твердых коммунальных отходов (ТКО). Рассмотрены результаты моделирования организационной структуры системы. В моделируемой автоматизированной системе мониторинга предусмотрены блоки оценки, анализа и прогнозирования о состоянии окружающей природной среды.

В.П. Назаров, Н.О. Сапоженков, М.В. Немков
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО БАЛАНСА В
СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: Уровень заряженности, аккумуляторная батарея, система электроснабжения, положительный баланс, условия эксплуатации, холодный климат, надёжность пуска.

Низкий уровень заряженности – одна из основных причин снижения ресурса и ухудшения показателей работоспособности аккумуляторных батарей, в результате чего пуск двигателя в холодное время года затрудняется либо вовсе становится невозможным. В работе рассмотрены методы обеспечения положительного баланса в системах электроснабжения автомобилей при эксплуатации в холодных климатических условиях. Использование результатов исследования повышает надёжность пуска и снижает затраты на покупку новых аккумуляторных батарей в автотранспортных предприятиях нефтегазодобывающего комплекса.

В.В. Попцов
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ КОРОБКИ
ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЕЙ FORD FOCUS III

Ключевые слова: надёжность, коробка передач, отказ, вероятность отказа, интенсивность отказа, частота отказа. В статье представлены результаты исследования по оценке надёжности коробки передач Power Shift Ford Focus III. Сформулированы цели и задачи исследования. Проведён анализ относительной доли отказов по различным агрегатам. Рассмотрены конструктивные особенности и недостатки коробки передач. Выбраны и рассчитаны показатели надёжности с их графической иллюстрацией и предложены рекомендации по повышению надёжности исследуемого агрегата.

С.М. Чеботарев, А.В. Власенко
ЗАВИСИМОСТЬ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОРГАНА
ОБРАБОТКИ ДОКУМЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ
ГУВД ОТ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ЧИСЛЕННОСТИ ЛИЧНОГО
СОСТАВА

Ключевые слова: пропускная способность, орган обработки документированной информации, статистика потока, нагрузка, организационная численность, входящая информация. В данной работе находится зависимость пропускной способности спецоргана от организационной численности личного состава.

Е.А. Чжан
МОДИФИКАЦИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА
МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В
СЛУЧАЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ПЕРЕМЕННЫХ

Ключевые слова: нечеткие переменные, непараметрические алгоритмы, идентификация, дискретно-непрерывный процесс, выборка наблюдений, прогнозирование.

В работе рассматриваются дискретно-непрерывные

U.N. Matveev, L.V. Lobacheva
SYSTEMOLOGICAL BASIS OF ORGANIZATION OF
MONITORING OF THE MUNICIPAL SOLID WASTE
DUMP

Keywords: municipal solid waste dump, monitoring, pollution, simulation, prediction.

This paper contains the systemological approaches to the organization of intellectualization of automated systems for monitoring of municipal solid waste dump. Results of the system organization structure simulation are considered. The simulated automated monitoring system includes special modules of assessment, analysis and prediction and the formation of reports on the state of the natural environment are considered.

V.P. Nazarov, N.O. Sapozhenkov, M.V. Nemkov
ENSURING A POSITIVE BALANCE IN CAR POWER
SUPPLY SYSTEMS

Keywords: Low charge, battery, power supply system, positive balance, operating conditions, cold climate, reliable engine start.

Low charge is one of the main reasons for reducing the service life and deterioration of battery performance indicators, as a result, it is difficult or even impossible to start the engine in the cold season. The paper considers methods for ensuring a positive balance in the power supply systems of cars. Using the results obtained increases the reliability of start-up and reduces the cost of purchasing new batteries in transport corporations..

V.V. Poptsov
RELIABILITY ASSESSMENT OF THE FORD FOCUS III
ROBOTIC GEARBOX

Keywords: reliability, transmission, failure, probability of failure, intensity of failure, frequency of failure.

The article presents the results of a study to assess the reliability of the Power Shift Ford Focus III transmission. The goals and objectives of the study are formulated. The analysis of the relative failure rate for various units and systems of the car is carried out. The design features and disadvantages of the gearbox are considered. Reliability indicators with their graphic illustration are selected and calculated. Recommendations for improving the reliability of the unit under study are proposed.

S.M. Chebotarev, A.V. Vlasenko
DEPENDENCE OF THE CAPACITY OF THE BODY OF
PROCESSING OF DOCUMENTED INFORMATION OF
THE POLICE DEPARTMENT FROM THE
ORGANIZATIONAL STAFF OF PERSONNEL

Keywords: bandwidth, documented processing authority, flow statistics, load, organizing staff, incoming information. In this work is the dependence of the capacity of the special organization on the organizational number of personnel.

E.A. Chzhan
MODIFICATION OF A NONPARAMETRIC ALGORITHM
FOR MODELING MULTIDIMENSIONAL PROCESSES IN
THE CASE OF USING FUZZY VARIABLES

Keywords: fuzzy variables, nonparametric algorithms, identification, discrete-continuous process, sample of observations, forecasting.

The paper considers discrete-continuous multidimensional

многомерные безынерционные процессы с запаздыванием. Предложен непараметрический алгоритм для прогнозирования ключевых показателей процесса в случае использования нечетких переменных. Алгоритм основан на непараметрической оценке функции регрессии по наблюдениям.

Н.Д. Абросимова, И.М. Кипелкин, С.В. Оболенский
ВЛИЯНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
НИЗКОИНТЕНСИВНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР
«КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ»

Ключевые слова: кремний на изоляторе, встроенный заряд, вольт-фарадные характеристики, ртутный зонд.

В работе сопоставлены результаты исследований влияния низкоинтенсивного низкоэнергетического рентгеновского излучения на электрофизические характеристики структур «кремний на изоляторе» различных производителей. Приведены результаты вычислений плотности фиксированного заряда, поверхностных состояний. Проведено моделирование ВФХ в программе Silvaco TCAD.

В.Г. Азаров, М.Ф. Кириллина, И.Р. Федоров,
М.К. Охлопкова, А.В. Спиридонова
УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ
Ключевые слова: робототехническое оборудование,
технические средства, теплица, агротехнологические
мероприятия.

Теплица — каркасная конструкция, обычно из металлического профиля, покрытая прозрачным легким и прочным материалом. В теплице поддерживается определенный микроклимат необходимый для выращивания находящихся внутри нее растений. Для получения результата в виде выращенных плодов требуется приложить немало времени и физических усилий, осуществив комплекс агротехнических мероприятий. Необходимость автоматизации этого процесса связана с трудоемкостью процесса приготовления растворов, точного поддержания в них заданной концентрации веществ, своевременной подачи и равномерного дозирования по всей площади теплицы при различных возмущениях внешней среды. Анализ технологических операций возделывания овощей в теплице показывает, что снизить затраты труда и повысить эффективность использования культивационных сооружений возможно при выполнении работ специальным комплексом технических средств. Для принципиального совершенствования технологии производства овощей в теплице необходимы стационарные транспортные системы и робототехническое оборудование.

Н.П. Александров, Ю.А. Андросов, Дь.А. Соколов,
М.К. Охлопкова, А.В. Спиридонова, О.К. Тарабукина
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕЛЛЕТОВ
Ключевые слова: пеллеты, гранулы, спрессованные отходы,
отопительные котлы.

Пеллеты как вид топлива появились сравнительно недавно. Но благодаря натуральности и высоким теплотворным способностям они получили большое распространение в Европе, странах Северной Америки, Японии. Рост их потребления обусловлен возможностью использования гранул на промышленных теплоэлектростанциях и в установках, предназначенных для частного применения. Производят данное топливо из отходов деревообрабатывающей и лесозаготовительной промышленности на специальных линиях без применения каких либо проклеивающих веществ. Таким образом, удастся решить сразу две проблемы: переработать потенциально пожароопасные отходы и произвести высококалорийное топливо.

inertialess processes with delay. A nonparametric algorithm is proposed for predicting key process indicators in the case of using fuzzy variables. The algorithm is based on a nonparametric estimation of the regression function from observations.

N.D. Abrosimova, I.M. Kipelkin, S.V. Obolensky
RESEARCH OF LOW-ENERGY LOW-INTENSITY X-RAY
RADIATION INFLUENCE ON THE SILICON-ON-
INSULATOR WAFER ELECTROPHYSICAL
CHARACTERISTICS

Keywords: silicon on insulator, fixed charge, voltage-capacitance characteristics, mercury probe.

This paper presents the results of the study of comparable analysis of response of silicon-on-insulator wafers from different manufacturer after low-energy low-intensity X-ray radiation. The results of fixed charge and surface states density calculation is concerned here. Capacitance-voltage characteristics was simulated in Silvaco TCAD.

V.G. Azarov, M.F. Kirillina, I.R. Fedorov,
M.K. Okhlopova, A.V. Spiridonova
GREENHOUSE MICROCLIMATE MANAGEMENT
Keywords: robotic equipment, technical means, greenhouse,
agro-technological measures.

A greenhouse is a frame structure, usually of a metal profile, covered with a transparent lightweight and durable material. The greenhouse maintains a certain microclimate necessary for growing the plants inside it. To obtain a result in the form of grown fruits, it takes a lot of time and physical effort, having carried out a set of agrotechnical measures. The need to automate this process is associated with the laboriousness of the process of preparing solutions, accurately maintaining a given concentration of substances in them, timely supply and uniform dosing over the entire area of the greenhouse under various disturbances of the external environment. Analysis of technological operations of cultivation of vegetables in a greenhouse shows that it is possible to reduce labor costs and increase the efficiency of using cultivation facilities when performing work with a special complex of technical means. To fundamentally improve the technology of vegetable production in the greenhouse, stationary transport systems and robotic equipment are needed.

N.P. Alexandrov, Yu.A. Androsov, Dy.A. Sokolov,
M.K. Okhlopova, A.V. Spiridonova, O.K. Tarabukina
RESEARCH OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF
PELLETS

Keywords: pellets, pellets, compressed waste, heating boilers. Pellets as a type of fuel appeared relatively recently. But due to their naturalness and high calorific value, they are widely distributed in Europe, North America, and Japan. The increase in their consumption is due to the possibility of using pellets at industrial thermal power plants and in installations intended for private use. This fuel is produced from waste from the woodworking and logging industry on special lines without the use of any sizing agents. Thus, it is possible to solve two problems at once: to process potentially fire-hazardous waste and to produce high-calorie fuel.

Г.А. Алексеев, В.Н. Кудашов, Е.Г. Селина
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНОГО МОНОКРИСТАЛЬНОГО
ИНСТРУМЕНТА

Ключевые слова: прецизионный монокристалльный инструмент, резцедержатель, планшайба, заточная каретка.

Определены динамические воздействия на обрабатываемый кристалл, возникающие в процессе изготовления алмазного прецизионного инструмента. Рассмотрены условия устойчивости процесса обработки и определены параметры, повышающие эксплуатационные свойства инструмента.

Э.Л. Греков, Е.С. Шелихов, А.М. Черноусова
АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕТРАПОДА

Ключевые слова: тетрапод, алгоритм программы, алгоритм передвижения, имитационное моделирование.

В работе представлен алгоритм программного обеспечения, моделирующего работу системы управления электроприводами робота-тетрапода при его перемещении. Поэтапно расписана последовательность работы программного кода. Обозначены основные направления его применения на практике.

М.П. Данилаев, С.А. Карандашов
ПОЛИСИЛОКСАНОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ
ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: полисилоксановые покрытия, интегральная противобледенительная система.

Основными требованиями, предъявляемыми к нагревательным элементам интегральной противобледенительной системы, являются одновременное обеспечение высокой стойкости к истиранию, адгезии к подложке в широком диапазоне температур от -50°C до $\sim 100^{\circ}\text{C}$, а также высокая гидрофобность покрытия. В работе проводится сопоставительный анализ нескольких образцов полисилоксановых покрытий с исследованием их физико-технических свойств. Показано, что введение в состав базового полисилоксанового лака модифицирующих добавок содержащих винильный или октильный радикалы повышает гидрофобность (увеличивает угол смачиваемости) поверхности, незначительно улучшает адгезию и твердость покрытия.

Р.С. Дремин, В.С. Тынченко, Ю.С. Бец,
Д.В. Рогова, Я.А. Тынченко
МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ
УСТАНОВКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ

Ключевые слова: аэрокосмическая промышленность, пайка, индукционный нагрев, дистанционный мониторинг, автоматизация.

В данной статье рассмотрен метод организации диагностики и дистанционного мониторинга установки индукционной пайки. Построена модель взаимодействия предлагаемого программного приложения с системой управления установкой индукционной пайки.

М.З. Искандаров, Р.М. Хисамутдинов
ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ СБОРОЧНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимизационная модель, моделирование сборочных систем, логистические процессы, сборочная система.

Основной целью данной статьи является демонстрация возможностей использования имитационного моделирования производственных и логистических процессов машиностроения. Моделирование является инструментом, которое позволяет создавать цифровые модели логистических систем производства и воспроизводить отдельные события в

G.A. Alekseev, V.N. Kudashov, E.G. Selina
QUALITY ASSURANCE OF AUTOMATED
MANUFACTURING OF SINGLE-CRYSTAL DIAMOND
TOOLS

Keywords: precision single-crystal tool, tool holder, faceplate, sharpening carriage.

The dynamic effects on the processed crystal that occur during the manufacturing process of a diamond precision tool are determined. The conditions of stability of the processing process are considered and the parameters that increase the operational properties of the tool are determined.

E.L. Grekov, E.S. Shelikhov, A.M. Chernousova
OPERATION ALGORITHM OF THE TETRAPOD
MOVEMENT SIMULATION MODELING PROGRAM

Keywords: tetrapod, program algorithm, movement algorithm, simulation modeling.

The work presents an algorithm of software that simulates the operation of the control system for electric drives of a robot-tetrapod when it moves. The sequence of program code operation is described stage by stage. The main directions of its application in practice are outlined.

M.P. Danilaev, S.A. Karandashov
POLYSILOXANE COMPOSITION FOR HEATING
ELEMENTS OF AN INTEGRATED DEICING SYSTEM

Keywords: polysiloxane coatings, integrated de-icing system.

The main requirements for the heating elements of the integrated de-icing system are to simultaneously provide high resistance to abrasion, adhesion to the substrate in a wide temperature range from -50°C to $\sim 100^{\circ}\text{C}$, as well as high hydrophobicity of the coating. In this paper, a comparative analysis of several samples of polysiloxane coatings with the study of their physical and technical properties is carried out. It is shown that the introduction of modifying additives containing vinyl or acrylic radicals into the base polysiloxane varnish composition increases the hydrophobicity (increases the wetting angle) of the surface, slightly improves the adhesion and hardness of the coating.

R.S. Dremine, V.S. Tynchenko, Yu.S. Bets,
D.V. Rogova, Ya.A. Tynchenko
METHOD OF ORGANIZATION OF REMOTE
MONITORING AND DIAGNOSTICS OF THE EQUIPMENT
OF THE INDUCTION SOLDERING PLANT

Keywords: aerospace, soldering, induction heating, remote monitoring, automation.

This article describes a method for organizing diagnostics and remote monitoring with an induction soldering installation. The model of interaction of the proposed software application with the control system of the induction soldering plant has been built.

M.Z. Iskandarov, R.M. Khisamutdinov
OPTIMIZATION MODEL OF LOGISTIC PROCESSES OF
AUTOMOBILE ASSEMBLY SYSTEM

Keywords: simulation modeling, optimization model, modeling of assembly systems, logistics processes, assembly system.

The main purpose of this article is to demonstrate the possibilities of using simulation modeling of production and logistics processes in mechanical engineering. Modeling is a tool that allows you to create digital models of logistics production systems and reproduce individual events in a virtual environment in order to optimize the logistics processes of production lines or the enterprise as a whole. The article

виртуальной среде, с целью оптимизации работы логистических процессов производственных линий или предприятия в целом. В статье приведена часть теоретической базы темы и практический пример использования моделей. В качестве практического исследования разработана и изучена имитационная модель сборочной системы автомобилей для подбора оптимальных параметров поставки комплектующих изделий (например, вид поставки или объём партии) и предотвращения образования дефицита при выполнении технологических операций. Для практического исследования использовались программное обеспечение и библиотеки объектов. Будущие исследования авторов будут направлены на моделирование производственных и логистических процессов и их оптимизацию с использованием нейронных сетей или элементов искусственного интеллекта.

А.А. Капитонов, К.В. Ключкова, Л.А. Симонова
ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НАДСТРОЙКИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ
ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ключевые слова: интеллектуальная надстройка, автоматизированная система, диагностика двигателя внутреннего сгорания, неисправности двигателей, экспертная система.

В статье представлена структурная модель и принцип работы интеллектуальной надстройки автоматизированной системы, предназначенной для поиска причин неисправностей при диагностике двигателя внутреннего сгорания. Решено систему поддержки принятия решений реализовать в виде многоагентной системы с организацией блока прогнозирования.

Л.И. Медведева, А.А. Лескин, К.Г. Рыльский, А.А. Замков
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЖИЖЕНИЯ ГАЗА КАК
АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТОПЛИВА

Ключевые слова: сжиженный природный газ, математическая модель теплообменника, альтернативные виды топлива.

В статье рассмотрены основные методы сжижения природного газа и приведены технологические особенности метода с использованием смешанных компонентов. В качестве объекта для математического моделирования выбран теплообменник для предварительного охлаждения.

Н.А. Новгородов, М.С. Гринкруг, Ю.И. Ткачева
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ
НА КОММУТАЦИЮ ПОНИЖАЮЩИХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ 6(10)/0.4 кВ

Ключевые слова: понижающий трансформатор, нагрузка, коммутация, переходный процесс.

В работе представлены результаты исследований переходных процессов включения понижающих трансформаторов 6(10)/0.4кВ на нагрузку при изменении параметров нагрузки, характеристик самих трансформаторов и коммутирующих устройств; выявлены основные критерии, позволяющие снизить негативное влияние переходных процессов, происходящих при коммутации нагрузки и повысить энергоэффективность работы понижающих трансформаторов.

Л.В. Павлова, Н.К. Андреева, А.Д. Припадчев
ВЫБОР ПОКРЫТИЯ КОНЦЕВЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ
ФРЕЗ, С ПАРАМЕТРАМИ СКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ
КРОМКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ VT20

Ключевые слова: покрытие, $AlTiCrN^3$, $nAlCo^3$, концевые твердосплавные фрезы, титановые сплавы, VT20, работоспособность.

В работе представлены виды и процессы нанесения покрытий на концевые твердосплавные фрезы, с параметрами скругления режущей кромки, предназначенных для обработки деталей из титанового сплава VT20. Проведены сравнительные исследования концевых твердосплавных фрез с покрытиями $AlTiCrN^3$, $nAlCo^3$ и без покрытия в процессе эксплуатации, дана оценка работоспособности.

contains a part of the theoretical basis of the topic and a practical example of using models. As a practical research, a simulation model of the vehicle assembly system was developed and studied to select the optimal parameters for the supply of components (for example, the type of delivery or the batch size) and to prevent the formation of a shortage during technological operations. For practical research, software and object libraries were used. Future research by the authors will focus on modeling production and logistics processes and their optimization using genetic algorithms and artificial neural networks.

A.A. Kapitonov, K.V. Klochkova, L.A. Simonova
BUILDING AN INTELLIGENT ADD-ON FOR AN
AUTOMATED INTERNAL COMBUSTION ENGINE
DIAGNOSTICS SYSTEM

Keywords: intelligent add-on, automated system, internal combustion engine diagnostics, engine failures, expert system, CALS technologies.

The article presents a structural model and the principle of functioning of an intelligent add-on of an automated system designed to find the causes of failures in the diagnosis of a internal combustion engine. It was resolved to implement the decision support system as a multi-agent system with the organization of a forecasting block.

L.I. Medvedeva, A.A. Leskin, K.G. Rylsky, A.A. Zamkov
AUTOMATION OF THE PROCESS OF LIQUEFIED GAS
AS AN ALTERNATIVE TYPE OF FUEL

Keywords: liquefied natural gas, heat exchanger mathematical model, alternative fuels.

The article discusses the main methods of liquefying natural gas and presents the technological features of the method using mixed components. A heat exchanger for preliminary cooling was selected as an object for mathematical modeling.

N.A. Novgorodov, M.S. Grinkrug, J.I. Tkacheva
RESEARCH OF THE INFLUENCE OF LOAD
CHARACTERISTICS ON THE SWITCHING
OF 6(10)/0.4 kV STEP-DOWN TRANSFORMERS

Keywords: step-down transformer, load, switching, transient process.

The paper presents the study's results of switching transient processes on 6(10)/0.4 kV step-down transformers per load when changing load parameters, characteristics of the transformers themselves and switching devices; the main criteria that allow to reduce the negative impact of transient processes occurring during load switching and increase the energy efficiency of step-down transformers are identified.

L.V. Pavlova, N.K. Andreeva, A.D. Pripadchev
CHOICE OF COATING FOR END CARBIDE CUTTERS
WITH CUTTING EDGE ROUNDDING PARAMETERS
INTENDED FOR VT20 PROCESSING

Keywords: cutting tools, coating, $AlTiCrN^3$, $nAlCo^3$, carbide end mills, titanium alloys, VT20, performance.

The paper presents the types and processes of coating on end carbide cutters, with the parameters of rounding the cutting edge, intended for processing parts made of titanium alloy VT20. Comparative studies of end carbide cutters with coatings $AlTiCrN^3$, $nAlCo^3$ and without coating during operation are carried out, and the performance is evaluated.

Т.А. Парникова, В.С. Трофимова, Дь.А. Соколов,
М.К. Охлопкова
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ
И ЕЕ СТАНДАРТЫ КАЧЕСТВА

Ключевые слова: пеллеты, стандарты, производство.

В настоящее время во всем мире большое внимание уделяется биоэнергетике, одной из разновидностей возобновляемых источников энергии. Биотопливо успешно используется для декарбонизации в теплоснабжении, транспорте и электрогенерации. Пеллеты должны гарантировать качество на протяжении всей цепочки снабжения - от добычи сырья до поставки твердого биотоплива конечному потребителю и обеспечить уверенность в том, что установленные требования к их качеству выполнены.

М.В. Слепцова, В.С. Трофимова
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ГЕЛИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРО- И
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Ключевые слова: гелиоэлектрическая система, электро-теплоснабжение, горячее водоснабжение, электромагнитный подогреватель, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), гелиоэнергетика, топливно-энергетические ресурсы, ресурсосбережение.

Одна из глобальных проблем человечества на данный момент – истощение природных ресурсов, ведь они не бесконечны, их запас во всем мире ограничен. Растущий дефицит и удорожание топливно-энергетических ресурсов обусловили необходимость проведения первоочередных работ, направленных на их экономию. Затраты на обогрев сооружения достигает 45...55% себестоимости продукции. Основной резерв снижения этих расходов в южных районах страны – активное использование солнечной энергии - гелиоэнергетики. Данная проблема также напрямую касается Якутии, несмотря на его обширные и богатые земли. Так как, в резко-континентальных условиях Республики Саха (Якутия) затрачивается огромное количество теплоэнергии и сжигаемых природных ресурсов на одно лишь отопление, электроэнергию.

В работе представлены основные направления альтернативных источников энергии, более подробно разобрано направление – гелиоэнергетика: потенциал, развитие в мире и РС (Я), ее способы получения. Разработана концепция комбинированной гелиоэлектрической системы тепло- электроснабжения и ГВС, предложен метод повышения ее эффективности.

Н.А. Соловьев, С.А. Климачев
ИНСТРУМЕНТАРИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ УСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ
ДЕФЕКТОВ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА

Ключевые слова: тонколистовой прокат, поверхностные дефекты, закономерности устранения, задающие параметры.
В работе представлены результаты разработки инструментальных средств исследования закономерностей устранения поверхностных дефектов в процессе производства тонколистового проката при изменении оператором задающих параметров технологического процесса.

В.В. Черкашин, Т.А. Петрова, И.И. Саввинов
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ
ТРАДИЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ
ОБУЧЕНИЕМ

Ключевые слова: электронное обучение, виды электронного обучения, традиционное обучение, система образования, информатизация.

Рассматривается понятие «электронное обучение», его особенности и отличия от традиционного обучения. Также анализируется понятие неявного знания, и оно выступает в качестве параметра, который определяет возможность замены традиционного обучения электронным.

T.A. Parnikova, V.S. Trofimova, Dy.A. Sokolov,
M.K. Okhlopkova
FUEL PELLET PRODUCTION TECHNOLOGY AND ITS
QUALITY STANDARDS

Keywords: pellets, standards, production.

Currently, much attention is paid to bioenergy, one of the types of renewable energy sources, all over the world. Biofuel has been successfully used for the decarbonization of energy in heating, transport and electricity generation. Pellets must guarantee quality throughout the entire supply chain, from the extraction of raw materials to the delivery of solid biofuels to the end user, and ensure that the established quality requirements are met.

M.V. Sleptsova, V.S. Trofimova
INCREASING THE EFFICIENCY OF A SOLAR PLANT
FOR ELECTRICITY AND HEAT SUPPLY

Keywords: solar power system, electricity and heat supply, hot water supply, electromagnetic heater, renewable energy sources (RES), solar energy, fuel and energy resources, resource saving.

One of the global problems of mankind at the moment is the depletion of natural resources, because they are not endless, their supply is limited throughout the world. The growing deficit and rise in the cost of fuel and energy resources made it necessary to carry out priority work aimed at saving them. The cost of heating the structure reaches 45 ... 55% of the production cost. The main reserve for reducing these costs in the southern regions of the country is the active use of solar energy - solar energy. This problem also directly affects Yakutia, despite its vast and rich lands. Since, in the sharply continental conditions of the Republic of Sakha (Yakutia), a huge amount of heat energy and burned natural resources are spent on heating and electricity alone.

N.A. Solovyov, S.A. Klimachev
THE ANALYSIS TOOL FOR THE PATTERNS OF
SURFACE DEFECTS ELIMINATION OF THIN SHEET
METAL ROLLING

Keywords: thin sheet metal rolling, surface defects, patterns of elimination, setting parameters.

The article presents the results of the development of analysis tools for the patterns of surface defects elimination during thin sheet metal rolling production when the operator changes the setting parameters of the technological process.

V.V. Cherkashin, T.A. Petrova, I.I. Savvinov
STUDY OF THE POSSIBILITY OF REPLACING
TRADITIONAL LEARNING BY ELECTRONIC
LEARNING

Keywords: e-learning, types of e-learning, traditional learning, education system, informatization.

The concept of "e-learning", its features and differences from traditional education are considered. The concept of tacit knowledge is also analyzed, and it acts as a parameter that determines the possibility of replacing traditional learning with e-learning. The following types of e-learning are considered as an alternative to traditional: local e-learning (e-learning or

Рассматриваются следующие типы электронного обучения в качестве альтернативы традиционному: локальное электронное обучение (электронное самообучение или самоуправляемое онлайн обучение), два вида дистанционного электронного обучения, управляемого преподавателем асинхронно, дистанционное электронное обучение в режиме реального времени и электронное обучение с использованием различных ресурсов в интернете и образовательных платформ.

Т.А. Чуваткина, О.Ю. Коваленко, Ю.А. Дашкина,
В.С. Русайкин, А.В. Казаков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП

Ключевые слова: бактерицидная лампа, поток излучения, метод измерения, измерительная установка, автоматизация.

В данной работе приведен метод измерения потока излучения бактерицидных ламп и его основные недостатки. Представлены результаты измерения потока излучения ламп с целью выявления наличия систематической погрешности результатов измерения. Для исключения большинства недостатков и с целью автоматизации процесса контроля параметров бактерицидных ламп, была разработана измерительная установка, блок-схема и основные компоненты которой представлены в работе.

И.К. Алайцев, Т.В. Данилова, А.О. Мантуров, Г.О. Мареев
СИМУЛЯЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭПИДУРАЛЬНОГО ПРОКОЛА

Ключевые слова: виртуальная реальность, эпидуральная пункция, анатомия, симуляционное обучение, тактильная обратная связь.

При выполнении эпидуральной пункции необходимо умение точно контролировать движение иглы. Для безопасной отработки этого навыка можно использовать виртуальные обучающие тренажеры, симулирующие не только визуальную сцену пункции, но и сопутствующие тактильные ощущения. В статье представлена методика симуляции тактильных ощущений, сопровождающих выполнение эпидурального прокола.

А.В. Бадеев, А.К. Мордовской, Д.Д. Рыбдылова
О ТОЖДЕСТВАХ НЕКОТОРЫХ МНОГООБРАЗИЙ
РАЗРЕШИМЫХ КОММУТАТИВНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
АЛГЕБР

Ключевые слова: коммутативная альтернативная алгебра, тождество, базис тождеств, свободная алгебра, многообразие алгебр.

В этой работе изучаются многообразия коммутативных альтернативных алгебр над полем характеристики 3. Построена вспомогательная разрешимая ненильпотентная коммутативная альтернативная алгебра. Причем эта алгебра строится как грассманова оболочка конечномерной супералгебры. Приведены базисы тождеств свободных алгебр некоторых многообразий. Описана решетка подмногообразий многообразия центрально-метабелевых алгебр.

Т.Н. Титова
ОБ ОДНОМ СЛУЧАЕ РЕШЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО
МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ РИККАТИ

Ключевые слова: гамильтонова матрица, жорданова нормальная форма, гамильтониан, собственное значение, собственный вектор, присоединенный вектор

Предложен удобный метод решения алгебраического матричного уравнения Риккати в случае, когда соответствующая этому уравнению гамильтонова матрица является вырожденной. Получены достаточные условия существования симметрического решения.

self-directed online learning), two types of distance e-learning, managed by the teacher asynchronously, distance e-learning in real time and e-learning using various resources on the Internet and educational platforms.

T.A. Chuvatkina, O.Ju. Kovalenko, Ju.A. Dashkina,
V.S. Rusyaikin, A.V. Kazakov

AUTOMATION OF BACTERICIDE LAMP PARAMETERS CONTROL

Keywords: bactericidal lamp, radiation flux, measurement method, measuring installation, automation.

This paper presents a method for measuring the flow of measurement of bactericidal lamps and its main disadvantages. Presented are the results of measuring the radiation flux of lamps in order to identify the presence of a systematic error in the measurement results. To eliminate most of the shortcomings and to automate the process of controlling the parameters of bactericidal lamps, a measuring unit was developed, the block diagram and the main components of which are presented in the work.

I.K. Alaytsev, T.V. Danilova, A.O. Manturov, G.O. Mareev
EPIDURAL PUNCTURE SIMULATION

Keywords: virtual reality, haptic feedback, simulation, epidural puncture, anatomy.

Performing epidural puncture requires precise control of the needle movement. Virtual reality simulation systems allow training required skills in a safe controlled environment providing both visual and haptic procedure representation. The paper presents an approach to implementing such simulation using multilayer anatomical object representation and a simple mathematical model derived from experimental data and preexisting research.

A.V. Badeyev, A.K. Mordovskoi, D.D. Rybdilova
ON THE IDENTITIES OF SOME VARIETIES OF
SOLUBLE COMMUTATIVE ALTERNATIVE ALGEBRAS

Keywords: commutative alternative algebra, identity, basis of identities, free algebra, variety of algebras.

In this paper we study the variety of commutative alternative algebras over the field of characteristic 3. An auxiliary soluble non-nilpotent commutative alternative algebra was constructed. Moreover, this algebra is constructed as the Grassmann's envelope of a finite-dimensional superalgebra. Bases of identities of free algebras of some varieties are given. The lattice of subvarieties of the variety of central-by-metabelian algebras is described.

T.N. Titova
ON ONE CASE OF SOLVING THE ALGEBRAIC MATRIX
RICCATI EQUATION

Keywords: Hamiltonian matrix, Jordan normal form, Hamiltonian, eigenvalue, eigenvector, generalized eigenvector. In this paper we propose a convenient method for solving the algebraic matrix Riccati equation in the case when the Hamiltonian matrix corresponding to this equation is degenerate. We obtain the sufficient conditions for the existence of a symmetric solution.

А.И. Акимов, И.А. Акимов, А.Н. Меркулов.
ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ НЕЛИНЕЙНОЙ
ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТЕНКИ С НЕИДЕАЛЬНЫМ
ТЕПЛОВЫМ КОНТАКТОМ

Ключевые слова: бесконечный многослойный цилиндр, нелинейная задача, теплопроводность, коэффициент теплопроводности, тепловые потоки, интегральные уравнения Вольтерра типа «свертки».

В данной работе рассматривается один из вариантов возможного решения нелинейных многослойных задач теплопроводности для конструкций цилиндрической формы с неидеальными тепловыми константами между слоями.

В.С. Белоус, Н.Н. Белоус
РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАГРУЗЧИКА ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: операционная система, архитектура ОС, реализация загрузчика.

В статье представлены отдельные результаты разработки учебной операционной системы (ОС), основное внимание авторы уделяют вопросам реализации загрузчика, подробно останавливаются на программах, обеспечивающих данные процессы.

В.А. Смирнов, Е.В. Королев, Т.А. Матсеевич
ПАКЕТНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ: ДИЗАЙН,
РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОБЛЕМНО-
ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЯЗЫКОВ

Ключевые слова: проблемно-ориентированные алгоритмические языки, обработка изображений, строительное материаловедение.

Выполнено обобщение подходов, которые могут считаться наиболее перспективными с точки зрения сокращения затрат ресурсов при синтезе и обработке изображений в задачах научной визуализации. Акцент сделан на задачах, связанных с анализом цветояркихостных полей в строительном материаловедении. Показано, что средства обработки изображений, входящие в состав пакетов численной математики, не могут считаться оптимальными исходя из высокого порога вхождения для исследователя-материаловеда. Обоснована необходимость использования специализированного языка пакетной обработки, семантика которого близка к семантике микропрограмм для геометрических процессоров. Приводится пример открытой реализации подобного языка, которая разработана и поддерживается авторами настоящей работы на протяжении двух десятилетий; обсуждаются перспективы её развития.

П.П. Аврашков, И.А. Коскин, И.С. Константинов
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ
КОНВЕРТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СТЕРЕОФОРМАТ С
ПОМОЩЬЮ КАРТ ГЛУБИНЫ

Ключевые слова: трехмерное моделирование, анаглиф, карта глубины.

Рассматриваются вопросы конвертации двумерных изображений в стереоформат с применением карт глубины с помощью различных моделей. Показано, что вид модели влияет на качество получаемых стереоизображений, установлены методы с лучшими по качеству результатами.

М.А. Бобров, А. Асгари
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Ключевые слова: двигатель двойного питания, ветроэнергетическая установка, преобразователь частоты, имитационное моделирование.

В статье представлены результаты моделирования электропривода ветроэнергетической установки на базе машины двойного питания. Рассмотрена структурная схема системы управления электроприводом ветроэнергетической установки.

A.I. Akimov, I.A. Akimov, A.N. Merkulov
ONE OF THE APPROACHES TO SOLVING THE
NONLINEAR PROBLEM OF THERMAL CONDUCTIVITY
FOR A MULTILAYER CYLINDRICAL WALL WITH NON-
IDEAL THERMAL CONTACT

Keywords: infinite multilayer cylinder, nonlinear problem, thermal conductivity, coefficient of thermal conductivity, heat fluxes, Volterra integral equations of the "convolution" type. In this paper, we consider one of the possible solutions to nonlinear multilayer thermal conductivity problems for cylindrical structures with non-ideal thermal constants between layers.

V.S. Belous, N.N. Belous
IMPLEMENTATION OF THE OPERATING SYSTEM
BOOTLOADER

Keywords: operating system, OS architecture, bootloader implementation.

The article presents some results of the development of an educational operating system (OS), the authors focus on the implementation of the bootloader, dwell in detail on the application programs that provide these processes.

V.A. Smirnov, E.V. Korolev, T.A. Matseevich
BATCH IMAGE PROCESSING: DESIGN, EVOLUTION
AND PROSPECTS OF DEDICATED COMMAND
LANGUAGES

Keywords: special-purpose languages, image processing, materials science.

Different approaches to image processing are considered. The emphasis is made to scientific visualization in construction materials science. It is shown that the image processing tools included in the many packages are not appropriate for material scientist. An example of an open implementation of new language for image processing is briefly described.

P.P. Avrashkov, I.A. Koskin, I.S. Konstantinov
ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF DIFFERENT
MODELS OF IMAGE TO STEREO FORMAT
CONVERSION USING DEPTH MAPS

Keywords: 3D modeling, anaglyph, depth map.

The issues of converting two-dimensional images to stereo format using depth maps using various models are considered. It is shown that the type of the model affects the quality of the obtained stereo images; methods with the best quality results are established.

M.A. Bobrov, A. Asgari
SIMULATION OF WIND ENERGY PLANT ELECTRIC
DRIVE

Keywords: doubly-fed induction motor, wind energy turbine, power converter, simulation.

The results of simulation of wind energy plant electric drive based on a doubly-fed machine are presented in the article. The structural diagram of the control system is considered.

М.А. Бобров, А.Е. Шашункин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНО - РЕГУЛИРУЕМОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПИТАНИИ ОТ РЕЗЕРВНОГО
ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, резервный источник питания, преобразователь электрической энергии, имитационное моделирование.

В статье представлены результаты моделирования частотно - регулируемого электропривода с резервным источником постоянного тока, позволяющие исследовать динамические режимы работы регулируемого электропривода при переключении на резервный источник питания.

А.В. Бондаренко, А.В. Казаков, Н.М. Труфанова
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ
МАТЕРИАЛОВ В КАНАЛАХ КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ПРИ
НАЛОЖЕНИИ МНОГОСЛОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА
СЕКТОРНУЮ ЖИЛУ

Ключевые слова: время пребывания, полимерные материалы, траектории движения частиц.

Данная статья посвящена моделированию и изучению стационарного неизотермического совместного течения полимерных жидкостей в каналах кабельной головки сложной коническо-цилиндрической формы, применяемой для наложения многослойного изолирующего покрытия на секторную жилу. Математическая модель процесса тепломассопереноса основывается на законах сохранения. Расчеты выполнялись с помощью программного пакета ANSYS POLYFLOW.

А.В. Волков, А.В. Пантелеев, К.В. Страфеева
ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ
ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА
ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ
ПЕРЕДАЧЕЙ СИГНАЛА

Ключевые слова: математическая модель, нелинейное моделирование процессов, многослойная нейронная сеть, экспериментальные данные.

Статья посвящена обзору математической модели газоразрядных натриевых ламп высокого давления и метода нелинейного моделирования с помощью многослойной нейронной сети. Особое внимание уделяется интеллектуальному анализу данных. Для более эффективного анализа хода технологического процесса определяются параметры, которые следует включить в план анализа, чтобы выявить факторы, оказывающие существенное влияние на процесс контроля и испытания натриевых ламп высокого давления.

А.В. Волков, Д.А. Салкин, О.О. Темаева
АНАЛИЗ ОШИБОК МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ
ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: математическая модель, нелинейное моделирование процессов, аналитическая модель, экспериментальные данные.

Статья посвящена влиянию ошибок моделирования на аналитическую модель газоразрядных натриевых ламп высокого давления и метода нелинейного моделирования с варьированием переменных модели. Особое внимание уделяется вычислительному эксперименту. При выборе как аналитической, так и физической модели для более эффективного анализа процесса необходимо учитывать ошибки моделирования.

А.А. Дубанов, Б.В. Заятуев, А.В. Бадеев, А.Э. Севээн
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО
СБЛИЖЕНИЯ

Ключевые слова: цель, преследователь, траектория, сближение, моделирование.

В данной статье рассматривается модель задачи преследования методом параллельного сближения. Целью

М.А. Bobrov, A.E. Shashunkin
SIMULATION OF FREQUENCY - CONTROLLED
ELECTRIC DRIVE SUPPLIED FROM BACKUP DC
SOURCE

Keywords: frequency-controlled electric drive, backup power source, electrical energy converter, simulation.

The article presents a results of simulation modeling of a frequency-controlled electric drive with a backup DC source, which allows to resesarch a transient modes when the electric drive switching to a backup power source.

A.V. Bondarenko, A.V. Kazakov, N.M. Trufanova
FEATURES OF DETERMINING THE RESIDENCE TIME
OF MATERIALS IN THE CHANNELS OF THE CABLE
HEAD WHEN APPLYING MULTILAYER INSULATION
TO THE SECTOR CORE

Keywords: residence time, polymer materials, particle trajectories.

This article is devoted to modeling and studying the stationary non-isothermal joint flow of polymer liquids in the channels of a cable head of a complex conical-cylindrical shape used for applying a multi-layer insulating coating to a sector core. The mathematical model of the heat and mass transfer process is based on conservation laws. Calculations were performed using the ANSYS POLYFLOW software package.

A.V. Volkov, A.V. Panteleev, K.V. Strafeeva
SIMULATION OF PARAMETRIC IDENTIFICATION OF A
GAS DISCHARGE LAMP USING A MULTI-LAYER
NEURAL NETWORK WITH DIRECT SIGNAL
TRANSMISSION

Keywords: mathematical model, nonlinear modeling of processes, multi-layer neural network, experimental data.

The article reviews the mathematical model of high-pressure gas-discharge sodium lamps and the method of nonlinear modeling using a multi-layer neural network. Special attention is paid to data mining. To better analyze the process, we define parameters that should be included in the analysis plan to identify factors that have a significant impact on the process.

A.V. Volkov, D.A. Salkin, O.O. Temaeva
ANALYSIS OF SIMULATION ERRORS BASED ON THE
MATHEMATICAL MODEL OF A HIGH PRESSURE
SODIUM LAMP

Keywords: mathematical model, nonlinear modeling of processes, analytical model, experimental data.

The article is devoted to the influence of modeling errors on the analytical model of gas-discharge high-pressure sodium lamps and the nonlinear modeling method with varying model variables. Particular attention is paid to the computational experiment. When choosing both analytical and physical models for more effective process analysis, it is necessary to take into account modeling errors.

A.A. Dubanov, B.V. Zayatiev, A.V. Badeev, A.E. Seveen
KINEMATIC MODEL OF THE PARALLEL APPROACH
METHOD

Keywords: The aim, Pursuer, trajectory, approach, modeling. In this article, we consider a model of the pursuit problem using the parallel approach method. The purpose of this article is to modify the method of parallel approach in order to take

данной статьи является модификация метода параллельного сближения для того, чтобы учитывать случай, когда в момент начала преследования вектор скорости преследователя направлен не на цель. Кроме того, в рассматриваемой в статье модели, преследователь не может мгновенно изменять направление движения, то есть происходит наложение условия, что радиус кривизны траектории движения преследователя не может быть меньше определенной величины. Предлагаемый метод основан на том, преследователь, выбирая шаг на этапе итераций, будет стараться следовать прогнозируемым траекториям.

А.А. Дубанов, Б.В. Заятуев, А.В. Бадеев, А.Э. Севезэн
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ
НА ПЛОСКОСТИ МЕТОДОМ ПОГОНИ

Ключевые слова: преследование, уклонение, убежание, моделирование.

В данной статье рассматривается кинематическая, геометрическая модель задачи преследования на плоскости методом погони, где преследователь не может мгновенно изменять направление движения, двигаясь при этом с постоянной по модулю скоростью. Начальная скорость преследователя направлена в момент начала преследования не на преследуемую цель. Для того, чтобы вектор скорости преследователя по истечению некоторого времени был направлен на цель, нами разработан метод, который основывается на следовании траектории, соединяющей преследователя и цель. Данная траектория учитывает инертность преследователя в том плане, что радиус кривизны траектории не может быть меньше некоторого порогового значения. По материалам данной статьи написаны тестовые программы и изготовлено анимированное изображение.

В.Д. Ермолаева, Е.Е. Орехова
ОБЗОР ИНТЕГРАЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ КОДОВ НОВОГО
ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ
СИТУАЦИЙ В РЕАКТОРАХ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ С
ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ.
СРАВНЕНИЕ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

Ключевые слова: безопасность, интегральный расчетный код, моделирование аварий, быстрые реакторы, СОКРАТ-БН, ЕВКЛИД.

В данной статье выполнен краткий обзор интегральных расчетных кодов, используемых для моделирования аварийных ситуаций на быстрых реакторах. Был произведен сравнительный анализ российских кодов с зарубежными аналогами. В результате сравнения сделан вывод, что рассмотренные коды не уступают по функционалу зарубежным аналогам и даже превосходят их по некоторым показателям.

С.В. Ершов, Е.В. Субботин
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ЗОНЫ ДОЗИРОВАНИЯ ОДНОШНЕКОВЫХ
ЭКСТРУДЕРОВ

Ключевые слова: экструдер, расплав полимера, тепломассоперенос, математическая модель.

В статье проведено исследование процессов течения и теплообмена в зоне дозирования одношнековых экструдеров. Представлены результаты анализа влияния геометрических допущений на характер течения, значения максимальных температур и давлений в зоне дозирования экструдеров различного диаметра. Поставленная задача решалась методом конечных объемов с использованием программного комплекса ANSYS.

into account the case when the speed vector of the pursuer is not directed at the target at the moment of the beginning of the pursuit. In addition, in the model considered in the article, the pursuer cannot instantly change the direction of movement, that is, the condition is imposed that the radius of curvature of the trajectory of the pursuer cannot be less than a certain value. The proposed method is based on the fact that the pursuer, choosing a step at the iteration stage, will try to follow the predicted trajectories.

A.A. Dubanov, B.V. Zayatiev, A.V. Badeev, A.E. Seveen
KINEMATIC MODEL OF THE PURSUIT PROBLEM ON A
PLANE BY THE CHASE METHOD

Keywords: Pursuit, evasion, escape, modelling.

In this article, we consider a kinematic, geometric model of the pursuit problem on a plane by the chase method, where the pursuer cannot instantly change the direction of movement, while moving at a constant modulo speed. The initial speed of the pursuer is not directed at the target when the pursuit begins. In order for the speed vector of the pursuer to be directed at the target after some time, we have developed a method that is based on following the trajectory that connects the pursuer and the target. This trajectory takes into account the inertia of the pursuer in the sense that the radius of curvature of the trajectory can not be less than a certain threshold value. Based on the materials of this article, test programs were written and an animated image was made.

V.D. Ermolaeva, E.E. Orekhova
OVERVIEW OF NEXT GENERATION INTEGRAL
ANALYTICAL CODES FOR THE MODELING OF
ACCIDENTS AT THE FAST REACTORS WITH LIQUID-
METAL COOLANT. COMPARISON
WITH FOREIGN ANALOGUES

Keywords: safety, integral analytical code, accident modeling, fast reactors, SOCRAT-BN, EVKLID.

In this article reviewed a brief overview of integral analytical codes used for the modeling of accidents at the fast neutron reactors. The article contains a comparative analysis of Russian codes with foreign analogues. As a result of the comparison, it was concluded that the considered codes are not inferior in functionality to foreign counterparts and even surpass them in the some rates.

S.V. Ershov, E.V. Subbotin
COMPARATIVE ANALYSIS OF METERING ZONE
MATHEMATICAL MODELS OF THE SINGLE SCREW
EXTRUDERS

Keywords: extruder, polymer melt, heat and mass transfer, mathematical model

The article studies the flow and heat transfer processes in the metering zone of single-screw extruders. The analysis results of the geometry assumptions influence on the flow nature, the maximum values of temperatures and pressures in the extruders metering zone of different diameters are presented. The assigned task was solved by the finite volume method using ANSYS software.

И.Ю. Забавичев, Д.А. Кудряшова, К.А. Насеткин,
Е.С. Оболенская, А.А. Потехин, А.С. Пузанов,
Е.А. Тарасова

**РЕИНЖИНИРИНГ ПРОФИЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ДИОДНЫХ И
ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ
ИХ РЕАКЦИИ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ**

Ключевые слова: вольтамперные характеристики,
вольтфарадные характеристики, профиль легирования.

Представленная в работе методика реинжиниринга распространяется на полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы, изготовленные диффузионным методом. Для заданных функций пространственных распределений донорной и акцепторной примеси с неизвестными параметрами решается оптимизационная задача, критерием оптимизации является минимум среднеквадратичного отклонения между результатами расчета и измерений вольтфарадных характеристик. Сравнение результатов моделирования вольтамперных характеристик с экспериментальными данными показало адекватность предложенного подхода.

И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская,
А.А. Потехин, А.С. Пузанов, Е.А. Тарасова

**ВЛИЯНИЕ RLC-ПАРАМЕТРОВ МЕЖТРАНЗИСТОРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ НА ПЕРЕХОДНОЙ ИОНИЗАЦИОННЫЙ
ПРОЦЕСС В ЯЧЕЙКАХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ
СТАТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО
ПРОСТРАНСТВА**

Ключевые слова: межтранзисторные соединения, обратимые одиночные сбои.

Обнаружено сильное влияние длины межтранзисторных соединений в ячейке статической памяти на максимальную амплитуду ионизационного тока при воздействии тяжелых заряженных частиц космического пространства. Обсуждается применимость «мощностного» и «дозового» критериев для анализа сбоеустойчивости интегральных схем.

И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская,
А.С. Пузанов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВСПЛЕСКА СКОРОСТИ В
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ ПОСЛЕ
РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Ключевые слова: метод Монте-Карло, кластер радиационных дефектов, эффект всплеска скорости.

Проведено численное моделирование изменения процессов переноса носителей заряда после воздействия потока нейтронов в GaAs структурах при помощи метода Монте-Карло. Продемонстрировано, что вид потенциала рассеяния на радиационных дефектах определяет динамику всплеска скорости во времени и пространстве в полупроводниковых структурах.

И.Ю. Забавичев, К.А. Насеткин, Е.С. Оболенская,
А.С. Пузанов, Е.А. Тарасова
**ДИНАМИКА РАЗОГРЕВА И РЕЛАКСАЦИИ ЭНЕРГИИ
ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОЙ ПЛАЗМЫ В ТРЕКЕ
ПЕРВИЧНОГО АТОМА ОТДАЧИ В GAAS ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ НЕЙТРОНОВ СПЕКТРА ДЕЛЕНИЯ**

Ключевые слова: горячие неравновесные носители заряда, метод Монте-Карло, первичный атом отдачи.

На основе алгоритма Монте-Карло предложен метод расчета энергетического спектра горячих неравновесных электронов и дырок в треке первичного атома отдачи при воздействии нейтронов спектра деления. Проведены расчеты разогрева и последующей релаксации неравновесных носителей заряда в арсениде галлия в треке заряженной частицы с начальными энергиями в диапазоне 100...300 кэВ. Получена характеристная температура электронно-дырочной плазмы, равная 6650 К.

I.Yu. Zabavichev, D.A. Kudryashova, K.A. Nasetkin,
E.S. Obolenskaya, A.A. Potekhin, A.S. Puzanov,
E.A. Tarasova

**REENGINEERING OF THE DOPING PROFILE OF DIODE
AND TRANSISTOR STRUCTURES FOR CALCULATED
ESTIMATION OF THEIR RESPONSE TO IONIZING
RADIATION**

Keywords: current-voltage characteristics, capacitance-voltage characteristics, doping profile.

The reengineering technique presented in the paper applies to semiconductor diodes and bipolar transistors manufactured by the diffusion method. For given functions of spatial distributions of donor and acceptor impurities with unknown parameters, an optimization problem is solved; the optimization criterion is the minimum of the root-mean-square deviation between the results of calculation and measurements of capacitance-voltage characteristics. Comparison of the results of modeling current-voltage characteristics with experimental data showed the adequacy of the proposed approach.

I.Yu. Zabavichev, K.A. Nasetkin, E.S. Obolenskaya,
A.A. Potekhin, A.S. Puzanov, E.A. Tarasova

**THE INFLUENCE OF RLC-PARAMETERS OF
INTERCONNECT TRANSISTORS ON THE
TRANSITIONAL IONIZATION PROCESS IN FAST
STATIC MEMORY CELLS UNDER EXPOSURE TO
HEAVY CHARGED SPACE PARTICLES**

Keywords: transistor connections, single event upset.

A strong influence of the length of transistor connections in a static memory cell on the maximum amplitude of the ionization current under the influence of heavy ions has been found. The applicability of "power" and "dose" criteria for analyzing the single event upsets of integrated circuits is discussed.

I.Yu. Zabavichev, K.A. Nasetkin, E.S. Obolenskaya,
A.S. Puzanov

**SIMULATION OF SPACE AND TIME OVERSHOOT
VELOCITY EFFECTS IN SEMICONDUCTOR
STRUCTURES AFTER RADIATION**

Keywords: Monte-Carlo method, radiation defect cluster, overshoot velocity effect.

A numerical simulation of the charge carrier transport changes after radiation exposure in GaAs structures is performed by Monte Carlo method. It is demonstrated that radiation defect scattering potential form determines the dynamics of overshoot space and time velocity effects in semiconductor structures.

I.Yu. Zabavichev, K.A. Nasetkin, E.S. Obolenskaya,
A.S. Puzanov, E.A. Tarasova
**DYNAMICS OF HEATING AND RELAXATION OF
ELECTRON-HOLE PLASMA ENERGY IN THE TRACK OF
THE PRIMARY RECOIL ATOM IN GAAS UNDER THE
INFLUENCE OF FISSION NEUTRONS SPECTRUM**

Keywords: hot nonequilibrium charge carriers, Monte Carlo method, primary recoil atom.

Based on the Monte Carlo algorithm, a method is proposed for calculating the energy spectrum of hot nonequilibrium electrons and holes in the track of a primary recoil atom under the action of neutrons from the fission spectrum. Calculations of the heating and subsequent relaxation of nonequilibrium charge carriers in gallium arsenide in the track of a charged particle with initial energies in the range 100...300 keV have been performed. The characteristic temperature of the electron-hole plasma was obtained, equal to 6650 K.

Т.Г. Макарова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов
СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ В УЭЦН: ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
И МЕТОДЫ БОРЬБЫ

Ключевые слова: ЭЦН; отложения парафинов, солеотложения. В данной статье авторами рассмотрены актуальные на сегодняшний день проблемы, связанные с возникающими осложнениями при эксплуатации погружного электроцентробежного насосного агрегата, в частности, с отложением парафинистых соединений и солей, которые приводят к значительному падению напорной характеристики, снижению производительности насоса и преждевременному выходу его из строя. В статье рассмотрены технологии борьбы с различного рода отложениями, проанализированы концептуально отличающиеся подходы по борьбе с отложениями: с помощью применения новых защитных покрытий узлов и деталей оборудования, активно контактирующих с перекачиваемой пластовой средой, с помощью использования активных химических веществ, позволяющих изменить свойства перекачиваемой скважинной жидкости, рассмотрены физические, химические и технологические методы предупреждения солевых отложений, выделены основные технические и технологические решения.

О.И. Поддаева, А.Н. Федосова, П.С. Чурин
ВЛИЯНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ
НА АЭРОДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ
БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ключевые слова: мостовые конструкции, аэродинамическая устойчивость, шумозащитный экран, численное моделирование. В работе приведены результаты численного моделирования ветрового воздействия в специализированном программном комплексе гидрогазодинамики ANSYS CFD на пролетное строение балочного моста с шумозащитными экранами разных размеров. Установлено негативное влияние высоких ограждений на устойчивость конструкции в ветровом потоке.

Е.В. Решетникова, А.Д. Ульянов, Е.С. Вячкин,
Ю.С. Гаврилова
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖАТИЯ И ИЗГИБА ТОЛСТОСТЕННЫХ
ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО КОНЕЧНОГО
ЭЛЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-
ОБЪЕКТНОЙ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Ключевые слова: гибридный конечный элемент, моделирование толстостенных оболочек, функционально-объектная реализация, объемно несжимаемые и слабо сжимаемые материалы.

Исследуется численная модель сжатия и изгиба толстостенных оболочек, построенная с использованием гибридного конечного элемента. Проведена функционально-объектная реализация разработанного алгоритма. Результаты моделирования при предельном значении коэффициента Пуассона сопоставляются с аналитическими решениями.

Ю.А. Степанов, Л.Н. Бурмин, П.А. Лазарев
АЛГОРИТМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ВНУТРИ
ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: ориентированный граф, распределение и передача ресурсов, алгоритм, конфигурация модели, расчётный путь.

В статье предлагается решение задачи перераспределения ресурсов внутри замкнутой системы. Описан алгоритм перераспределения, его преимущества и недостатки. Исследована зависимость факта существования решения задачи от конфигурации модели и возможность предварительного определения наличия или отсутствия решения по определенным параметрам. Для этого применяется графовая модель, на конфигурациях которой в дальнейшем будут проводиться вычисления, а также приводит требования к этой модели.

T.G. Makarova, I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov
SALT DEPOSITS IN THE ESP: CAUSES AND METHODS
OF CONTROL

Keywords: ESP; paraffin deposits, scale deposits. In this article, the authors consider the current problems associated with complications arising during the operation of a submersible electric centrifugal pump unit, in particular, with the deposition of paraffinic compounds and salts, which lead to a significant drop in the pressure characteristic, a decrease in pump performance and its premature failure. The article discusses technologies for dealing with various kinds of deposits, analyzes conceptually different approaches to combating deposits: using new protective coatings for units and equipment parts that are actively in contact with the pumped formation medium, using active chemicals that can change the properties of the pumped well fluid, physical, chemical and technological methods of preventing salt deposits are considered, the main technical and technological solutions are highlighted.

O.I. Poddaeva, A.N. Fedosova, P.S. Churin
INFLUENCE OF NOISE BARRIERS ON THE
AERODYNAMIC STABILITY OF LARGE-SPAN BRIDGE
STRUCTURES

Keywords: bridge structures, aerodynamic stability, noise barriers, numerical simulation.

The paper presents the results of numerical simulation of wind action in a specialized software package for fluid dynamics ANSYS CFD on the span structure of a girder bridge with noise protection screens of different sizes. The negative influence of high barriers on the stability of the structure in the wind flow has been established.

E.V. Reshetnikova, A.D. Ul'yanov, E.S. Viachkin,
J.S. Gavrilova
MODELING OF COMPRESSION AND BENDING OF
THICK-WALLED SHELLS BASED ON A HYBRID FINITE
ELEMENT USING A FUNCTIONAL OBJECT
PROGRAMMING ENVIRONMENT

Keywords: hybrid finite element, thick-walled shells modeling, functional-object implementation, volumetrically incompressible and weakly compressible materials.

Compression and bending numerical model of thick-walled shells is investigated. This model constructed using a hybrid finite element. The functional-object implementation of the developed algorithm is carried out. The modeling results at the Poisson's ratio limit value are compared with analytical solutions.

Yu.A. Stepanov, L.N. Burmin, P.A. Lazarev
ALGORITHM FOR REALLOCATION OF RESOURCES
WITHIN A CLOSED SYSTEM

Keywords: directed graph, the distribution and transfer of resources, algorithm, configuration of the model, the estimated path.

The article offers a solution to the problem of resource redistribution within a closed system. The algorithm of redistribution, its advantages and disadvantages are described. The dependence of the existence of a solution to the problem on the model configuration and the possibility of preliminary determination of the presence or absence of a solution for certain parameters is studied. For this purpose, a graph model is used, which configurations will be used for calculations in the future, and also specifies the requirements for this model.

Е.В. Субботин, А.В. Казаков, С.В. Ершов, Л.И. Зорихина
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА
В КОНЦЕВОЙ КАБЕЛЬНОЙ МУФТЕ

Ключевые слова: концевая кабельная муфта, температурное поле, математическое моделирование, ANSYS.

С помощью математического моделирования проведены численные исследования процессов тепломассопереноса в высоковольтной концевой кабельной муфте при аномально низких температурах эксплуатации. Получены температурные поля с учетом дополнительного подогрева от внешнего источника. Задача решалась методом конечных объемов с использованием программного комплекса ANSYS.

Г.М. Умнягин, В.Е. Дегтярев, С.В. Оболенский
РЕЗИСТИВНАЯ ПАМЯТЬ НА ОСНОВЕ
НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

Ключевые слова: резистивная память, проводящий филамент.

Проведено численное моделирование вольт-амперных характеристик структуры резистивной памяти на основе нестехиометрических оксидов тантала. В рамках исследования приводятся результаты проведения импульсного исследования структур с разной формой проводящего филамента, такой как усеченный конус с разным углом наклона образующей. Показано как форма и общий объем проводящего филамента сказываются на амплитуде тока и количестве импульсов, необходимом для полного процесса разрыва и восстановления филамента.

С.В. Хазанова, С.В. Оболенский, Е.А. Тарасова,
О.Л. Голиков, А.С. Пузанов
МЕТОДЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ
НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ AlGaAs/InGaAs

Ключевые слова: HEMT, самосогласованное решение уравнений Шредингера и Пуассона.

В работе описан метод расчета электрофизических параметров гетеронаноструктурных транзисторов (HEMT) на основе соединений AlGaAs/InGaAs. Использование предложенного метода расчетов на основе самосогласованного решения уравнения Шредингера и Пуассона позволяет проводить моделирование зонных диаграмм структур и профилей распределения электронов с высокой точностью. На основании численных расчетов предложен метод аналитического расчета передаточных вольт-амперных характеристик исследуемых транзисторов.

Т.А. Шоболова, А.С. Мокеев, С.В. Оболенский,
С.Д. Рудаков, Е.Л. Шоболов
ШИРОКИЙ КРЕМНИЕВЫЙ СУБМИКРОННЫЙ МЕТАЛЛ-
ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК ТРАНЗИСТОР С ЗАВИСИМЫМ
КОНТАКТОМ К КАРМАНУ

Ключевые слова: МОП-транзистор, КНИ, двухслойный поликремний, зависимый контакт к карману, широкий транзистор.

В работе приведены результаты 2D и 3D численного моделирования распределения электрического поля и ВАХ, горизонтальных МОП-транзисторов на структурах «кремний на изоляторе» с совмещенным с истоком контактом к карману, с минимальным топологическим размером 350 нм. Предложена самосовмещенная технология изготовления транзистора с зависимым контактом, позволяющая изготавливать широкие транзисторы с двухслойным поликремниевым затвором, что обеспечивает уменьшение паразитной емкости затвора и увеличение скоростных характеристик микросхем.

E.V. Subbotin, A.V. Kazakov, S.V. Ershov, L.I. Zorihina
MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS
TRANSFER PROCESSES IN CABLE TERMINATION
Keywords: cable termination, temperature field, mathematical modeling, ANSYS.

By mathematical modeling the numerical investigations of heat and mass transfer processes in high-voltage cable termination at anomalously low operating temperatures have been carried out. The temperature fields taking into account additional heating from an external source were obtained. The task was solved by the finite volume method using the ANSYS software package.

G.M. Umnyagin, V.E. Degtyarev, S.V. Obolensky
RESISTIVE MEMORY BASED ON
NONSTOICHIOMETRIC METAL OXIDES
Keywords: resistive-memory structure, filament.

The current-voltage characteristics of a resistive-memory structure based on non-stoichiometric tantalum oxides is numerically simulated. The results of pulsed studies of structures with different shapes of the conductive filament, such as a truncated cone with different generatrix inclination angles, are presented. It is shown how the shape and total volume of the conductive filament affects the current amplitude and the number of pulses necessary for complete filament breaking and restoration.

S.V. Khazanova, S.V. Obolensky, E.A. Tarasova,
O.V. Golikov, A.S. Puzanov
CALCULATED - EXPERIMENTAL METHODS FOR
SIMULATION OF ELECTROPHYSICAL PARAMETERS IN
PROSPECTIVE SEMICONDUCTOR
HETEROSTRUCTURES BASED ON COMPOUNDS OF
AlGaAs/InGaAs
Keywords: HEMT, Schrödinger's and Poisson's self-consistent solution.

The paper describes a method for calculating the electrical parameters of heteronanostructured transistors (HEMT) based on AlGaAs / InGaAs compounds. The use of the proposed calculation method based on the self-consistent solution of the Schrödinger and Poisson equation makes it possible to simulate the band diagrams of structures and electron distribution profiles with high accuracy. On the basis of numerical calculations, a method for analytical calculation of the transfer volt-ampere characteristics of the investigated transistors is proposed.

T.A. Shobolova, A.S. Mokeev, S.V. Obolensky,
S.D. Rudakov, Ye.L. Shobolov
WIDE SILICON SUB-MICRON MOS (METAL-OXIDE-
SEMICONDUCTOR) TRANSISTOR WITH ADDICTED
POCKET CONTACT

Keywords: MOP - transistor, KNI, two-layer polysilicon, dependent contact to the pocket, wide transistor.

The work presents results of 2D and 3D numerical simulation for distribution of electric field and VAC, lateral SOI MOS transistors with addicted pocket contact overlapped to the source addicted pocket contact having 350 nm minimal topological size. There is proposed a self-aligned fabrication method for transistors with dependent contact, permitting to manufacture two-layer polysilicon gate wide transistors, which provides decrease of the spurious gate capacitance and increase of microcircuits velocity performance.

М.А. Шурыгина, А.В. Хорьков, Ш.И. Галиев
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И РАСПОЛОЖЕНИЯ
КАМЕР НАБЛЮДЕНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА – ЧАСТЬ II

Ключевые слова: задачи наблюдения за лесными пожарами, модели покрытия, задачи покрытия, покрытие кругами заданного радиуса.

Представлены алгоритмы, численные результаты и программное обеспечение определения минимального числа камер и их расположения для наблюдения части территории Республики Татарстан, расположенной на левом берегу реки Волги и правом берегу реки Камы при различных возможных расстояниях, на которых наблюдение возможно. Проведены численные расчеты, демонстрирующие эффективность предложенных моделей, методов и алгоритмов.

А.Г. Щербинин, Е.А. Бородина, Е.В. Субботин,
С.В. Ершов, В.А. Давыдова
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ
ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТЕРЬ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭКРАНАХ
СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Ключевые слова: силовые кабели, потери в металлических экранах, математическое моделирование, ANSYS Maxwell.

С помощью математического моделирования магнитодинамических процессов проведены численные исследования потерь в металлических экранах одножильных силовых кабелей на среднее напряжение для различных способов их прокладки. Магнитодинамическая задача решалась методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS Maxwell.

А.А. Шашков, А.В. Власенко, С.М. Чеботарев
СПЕЦИФИКА ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ СКРЫТОГО
УПРАВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ
ГОСУДАРСТВА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕЛЕГАЛЬНЫХ
ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Ключевые слова: скрытое управление, защищенные компьютерные сети, злоумышленник, система противодействия угрозам информационной безопасности.

В данной работе рассмотрена система скрытого управления (СУ) критическими объектами государства (КОГ), представляющая интерес для потенциальных атак злоумышленников. Проведена классификация способов программных воздействий на информационные ресурсы в защищенных компьютерных сетях скрытого управления КОГ и рассмотрена специфика защиты СУ указанных объектов.

M.A. Shurygina, A.V. Khorkov, Sh.I. Galiev
DETERMINATION OF NUMBER AND LOCATION OF
FIRE DETECTION CAMERAS FOR THE PART OF
TATARSTAN TERRITORY – PART II

Keywords: forest fire detection, circle covering models, covering problem, covering with given radius circles.

Algorithms, numerical results and software for detection of the minimal number of fire watch cameras and their location for observation (covering) of the part of territory of the Republic of Tatarstan, located on the left Volga river bank and right Kama river bank, for different possible distances are presented. Numerical calculations performed demonstrate efficiency of introduced models, methods and algorithms.

A.G. Shcherbinin, E.A. Borodina, E.V. Subbotin,
S.V. Ershov, V.A. Davydova
MATHEMATICAL MODELING OF MAGNETODYNAMIC
PROCESSES IN DETERMINING THE METAL SCREENS
LOSSES OF POWER CABLES

Keywords: power cables, metal screens losses, mathematical modeling, ANSYS Maxwell.

By mathematical modeling of magnetodynamic processes the numerical investigations of losses in metal screens of single-core medium-voltage power cables for various methods laying are carried out. Magnetodynamic task was solved by the finite element method using the ANSYS Maxwell software package.

A.A. Shashkov, A.V. Vlasenko, S.M. Chebotarev
THE SPECIFICS OF PROTECTING THE HIDDEN
CONTROL SYSTEM CRITICAL OBJECTS OF THE STATE
FROM THE IMPACT OF ILLEGAL SOFTWARE

Keywords: Hidden Control, Secure Computer Networks, Attacker, Information Security Threat System.

This paper examines the System of Hidden Control (SHC) of critical objects of the state (COS), which is of interest to potential attacks by attackers. The classification of the ways of programmatic influences on information resources in protected computer networks of hidden control of COS was carried out and the specifics of the protection SHC of these objects were considered.

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 "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**

№12 2020

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 21.12.2020 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 21.12.2020

13,4 усл.печ.л. 15,6 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3130.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Цена свободная.

© Рашин Сайнс

тел. (843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Рашин Сайнс»