

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№12 2019

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
2019**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №12 2019г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2019. – 248 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, 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, Р.Х. Шагимуллин, В.С. Минкин</i> АЛГОРИТМ РАЦИОНАЛЬНОГО ВНУТРИПЛАСТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ И БИТУМИНОЗНЫХ НЕФТЕЙ. СООБЩЕНИЕ 2. ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ И ОПЕРАЦИИ. ЧАСТЬ 1. СОПРЯЖЕННОЕ КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	11
<i>В.С. Минкин, Р.Х. Зиятдинов, А.В. Ретина, Р.Х. Шагимуллин</i> ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА	16
<i>В.С. Минкин, Ю.Н. Хакимуллин, Т.Ю. Миракова, Т.Ю. Старостина, Р.Х. Шагимуллин</i> ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БИТУМСОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОМЕРОВ	19

05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Аббаси Мохсин Маншад</i> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОТРИЦАНИЙ НА ТЕКСТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И КОЛЕСА ЭМОЦИЙ ПЛУТЧИКА	23
<i>В.И. Ампилов</i> СИСТЕМА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПОВ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ И ЧЕРТЕЖЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ	29
<i>В.В. Андреев, Н.Г. Андреев, Ж.В. Гладкова, Е.В. Панина, В.В. Слюсарь</i> РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ НЕЙТРОННОГО КОНВЕРТЕРА	33
<i>О.В. Андреева, Я.С. Антонова, В.В. Андреев</i> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ОБ УСЛОВИЯХ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ОБОБЩЕННОГО АНАЛИЗА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	37
<i>О.В. Андреева, Ю.С. Тарасова, Д.В. Тоскин</i> КЛАССИФИКАЦИЯ СКОПЛЕНИЙ ОБЛАКОВ О ИЗОБРАЖЕНИЯМ СО СПУТНИКА	40
<i>О.В. Артюшкин</i> КОМПОНЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРУКТУРНО-ИДЕНТИФИКАЦИОННОМ СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ ЭРГАТИЧЕСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ	44
<i>А.П. Буйносов, А.С. Баитов</i> ВЫЯВЛЕНИЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ И РЕЛЬСОВЫХ АВТОБУСОВ НАИБОЛЕЕ ПОДВЕРЖЕННЫХ ОТКАЗАМ	47
<i>Л.А. Влацкая, Н.Г. Семенова, Э.Л. Греков</i> СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	51
<i>И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев</i> СОЗДАНИЕ ОБЛАЧНОЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЙ	56
<i>Д.С. Горбатенко</i> АВАРИЙНОСТЬ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОМ В РЕЖИМЕ КАРШЕРИНГА	59
<i>Л.С. Григорьева, В.А. Григорьев, М.Г. Бруяко</i> СИСТЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ	62
<i>П.А. Давыденко, Самба Диарра, Этьен Хаба</i> СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ПОЛИКАНАЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ СОЖ НА ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ	65
<i>Н.И. Корякина, К.Р. Медведева, В.А. Чирков, В.М. Штейн, А.А. Яковлев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГОРИЗОНТЕ К 2050 ГОДУ	68

<i>В.В. Ломакин, Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, О.П. Пусная, А.В. Жуков</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	71
<i>А.О. Махорин</i> ЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЪЕКТИВНЫХ И БИЕКТИВНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ	75
<i>М.А. Надежкин</i> АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ТАБЛИЦ РЕКОНФИГУРАЦИИ СТРУКТУРЫ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ	80
<i>А.Д. Плужников, Е.Н. Приблудова, А.Г. Рындык, Д.М. Балашова, Л.В. Когтева, Е.Г. Чужайкин</i> ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ СКОРОСТИ ОБЗОРА	83
<i>И.С. Полевищников, К.Н. Баяндин</i> РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НАВЫКАМ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МЕТОДОВ «ЧЕРНОГО ЯЩИКА»)	88

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

<i>Д.Г. Алленов, Р.А. Пинаев, В.И. Кравченя, Г. Сиамак</i> АНАЛИЗ ИЗНОСА ПОДШИПНИКОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО СПЕКТРА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ КРУТЯЩЕГО ДВИЖЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОМОТОРА	92
<i>Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, Е.И. Клечкин, М.В. Сеськин</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЯ МАЛОМОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ	96
<i>О.А. Билоус, А.В. Кухарчук, Г.А. Тимофеева</i> ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НА УЧАСТКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕХА	100
<i>Н.А. Бухтоярова, В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	103
<i>Н.А. Бухтоярова, В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко</i> СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	106
<i>А.В. Жданов, И.В. Шинаков, Д.А. Родионов, Д.О. Кочетов, А.В. Черкасова</i> КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОДОВЫХ ВИНТОВ РВМ	109
<i>Б.Р. Исакулов, М.В. Акулова, М.Д. Джумабаев, Х.Т. Абдуллаев, Ж.О. Конысбаева, С.И. Шалабаева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ СЛАБЫХ И СИЛЬНЫХ КИСЛОТ	113
<i>Е.Н. Канинина, В.В. Родин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ	116
<i>А.Н. Кузенков</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ РЕГРЕССИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ	119
<i>Л.И. Медведева, П.М. Факанов, М.С. Долматова</i> АНАЛИЗ ЭТАПОВ РАЗРАБОТКИ АСУТП НА ПРИМЕРЕ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	122
<i>Ж.В. Овадыкова, П.С. Шичёв, Э.Х. Овадыков</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ	126

<i>А.В. Савчиц, В.В. Корзин, Е.Я. Пономарев, М.В. Трухина, А.В. Поклонская, Н.В. Карнавская</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫМИ АППАРАТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIMINTESN	132
<i>А.Р. Фардеев</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	136
<i>А.Р. Фардеев</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК К СИСТЕМЕ ЦИРКУЛЯЦИИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ	139

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

<i>Т.Н. Титова</i> НЕКОТОРЫЕ СЛУЧАИ РЕШЕНИЯ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ РИККАТИ	142
<i>М.А. Черноскотов</i> МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ГРАФОВ	147

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

<i>А.В. Бродский</i> КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗАДАЧ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ, В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	150
<i>С.А. Даденков, А.П. Даденкова</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОТОКОЛА ДОСТУПА P-PERSISTENT-CSMA	156
<i>С.А. Даденков, А.П. Даденкова</i> ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕНСОРНОЙ СЕТИ LONWORKS	160
<i>Ю.А. Ушаков, А.Л. Коннов, Н.Ю. Ушакова</i> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОСПРИЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МНОГОТОЧЕЧНЫХ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ WEBRTC	163

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

<i>М.М. Балачков, В.В. Верхотурова, О.Ю. Долматов, В.В. Закусилов, М.С. Кузнецов, А.А. Пермикин</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ СИНТЕЗЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКИ	168
<i>А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, В.М. Нигметзянова, Ш.С. Хуснетдинов</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ МУФТЫ СЦЕПЛЕНИЯ	174
<i>А.П. Буйносов, К.В. Панов</i> ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛУЖИВАНИЙ И ТЕКУЩИХ РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ В СЕРВИСНОМ ЛОКОМОТИВНОМ ДЕПО	177
<i>А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева</i> ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ	181

<i>А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ ПЕРЕМЕННЫХ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	185
<i>Г.Н. Гусев, В.В. Епин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ НА ЖИЛОЕ ЗДАНИЕ. ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ, НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ	188
<i>Г.Н. Гусев, В.В. Епин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕРГИВАНИЯ АРМАТУРНОГО СТЕРЖНЯ ИЗ БЕТОННОГО ОБРАЗЦА	191
<i>А.А. Каменских, А.П. Панькова</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ ГЕРЦА	194
<i>В.В. Корепанов</i> ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СХЕМ, НАПРАВЛЕННЫЙ НА ПОИСК МОМЕНТНЫХ ЭФФЕКТОВ	197
<i>Т.О. Корепанова, Е.А. Николаева, И.А. Оборина</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА–КОЛЬСКОГО	200
<i>В.Ю. Помелов, О.И. Поддаева, П.С. Чурин</i> ОЦЕНКА ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРУПНОГАБАРИТНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ СКЛАДСКИЕ ПОМЕЩЕНИЯ	203
<i>А.А. Рачишкин</i> СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	207
<i>Л.С. Сабитов, Ю.Г. Коноплев</i> К ВОПРОСУ О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМЫ «БАШНЯ – ФУНДАМЕНТ – ГРУНТ ОСНОВАНИЯ» ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	210
<i>О.В. Соловьева, Р.Р. Хусаинов</i> СРАВНЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ФИЛЬТРОВ С РАЗНЫМИ ПО ФОРМЕ ЧАСТИЦАМИ	214
<i>Т.А. Чуваткина, А.В. Агапов, Н.А. Балашов, Д.А. Агапов</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП	218
<i>Р.Р. Яфизов, С.А. Соловьев, А.В. Антипин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНА ФИЛЬТРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ	222

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

<i>А.А. Шашков, Ф.Г. Хисамов</i> СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ	225
<i>А.А. Шашков, Ф.Г. Хисамов</i> МЕТОД ИМИТОЗАЩИТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ОТ РЕТРАНСЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ С МАЛЫМ ВРЕМЕНЕМ ЗАПАЗДЫВАНИЯ	229

АННОТАЦИИ	232
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>B.N. Ivanov, R.N. Kostromin, R.Kh. Shagimullin, V.S. Minkin</i> ALGORITHM FOR RATIONAL INLAST PLASTIC TRANSFORMATION OF HIGH-VISCOUS AND BITUMINOUS OILS. MESSAGE 2. BASIC RECEPTIONS AND OPERATIONS. PART 1. CONNECTED QUALITATIVE QUANTITATIVE MODELING	11
<i>V.S. Minkin, R.H. Ziyatdinov, A.V. Repina, R.Kh. Shagimullin</i> POSSIBLE FIELDS OF USE THE MAGNETIC PLANETARY GEAR	16
<i>V.S. Minkin, Yu.N. Khakimullin, T.Yu. Mirakova, T.Yu. Starostina, R.Kh. Shagimullin</i> PROTECTIVE COATINGS BASED ON BITUMEN-CONTAINING OLIGOMERS	19

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

<i>Abbasi Mohsin Manshad</i> ANALYZING THE AFFECT OF NEGATION ON TEXT USING CLUSTERING AND PLUTCHIK WHEEL OF EMOTION	23
<i>V.I. Ampilov</i> AUTOMATED SYSTEM FOR METHODOLOGICAL SUPPORT OF CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL STAGES FOR MODELLING AND DESIGN ON MACHINE ENGINEERING COMPONENTS	29
<i>V.V. Andreev, N.G. Andreev, Z.V. Gladkova, E.V. Panina, V.V. Slyusar</i> CALCULATION AND THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE NEUTRON CONVERTER DESIGN	33
<i>O.V. Andreeva, Ya.S. Antonova, V.V. Andreev</i> THE INFORMATION RESTORATION ABOUT THE CONDITIONS OF TESTS ON FATIGUE OF METALLS BASED ON THE GENERALIZED ANALYSIS METHODOLOGY AND INTELLECTUAL INFORMATION SYSTEMS	37
<i>O.V. Andreeva, I.S. Tarasova, D.V. Toskin</i> CLASSIFICATION OF CLOUD CLUSTERS BY SATELLITE IMAGES	40
<i>O.V. Artyushkin</i> COMPONENT MODELING IN STRUCTURAL IDENTIFICATION SYSTEM ANALYSIS OF ERGATIC AUTOMATED TRAINING SYSTEMS	44
<i>A.P. Buinosov, A.S. Baitov</i> IDENTIFICATION OF ASSEMBLIES AND DETAILS OF ELECTRIC TRAINS AND RAIL BUSES THE MOST FAILED	47
<i>L.A. Vlatskaya, N.G. Semenov, E.L. Grekov</i> COMPARISON OF FASHION ALGORITHMS DECOMPOSITIONS IN RE-SEARCH NONSINUSOIDAL ELECTRICAL SIGNALS	51
<i>I.B. Ginzburg, S.N. Padalko, M.N. Terentiev</i> CREATING A CLOUD FAULT-TOLERANT PRODUCT LIFE CYCLE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM	56
<i>D.S. Gorbatenko</i> ACCIDENT IN MOTOR VEHICLES USED IN CARSHING MODE	59
<i>L.S. Grigoryeva, V.A. Grigoryev, M.G. Bruyako</i> EXPERIMENTAL CONTROL SYSTEM	62
<i>P.A. Davydenko, Samba Diarra, Etienne Haba</i> SYSTEM ANALISYS DESIGN OF CUTTING TOOL DEVELOPMENT WITH POLYGONAL COOLANT SUPPLY ON CNC EQUIPMENT	65
<i>N.I. Koryakina, K.R. Medvedeva, V.A. Chirkov, V.M. Shteyn, A.A. Yakovlev</i> MODELING OF THE NUCLEAR ENERGY COMPLEX OF THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON SOCIO-ECONOMIC AND DEMOGRAPHIC FACTORS ON THE HORIZON BY 2050	68
<i>V.V. Lomakin, N.P. Putivzeva, T.V. Zaitseva, O.P. Pusnaya, A.V. Zhukov</i> COMPARATIVE MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF RUSSIAN PLATFORMS FOR THE DEVELOPMENT OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS	71
<i>A.O. Makhorin</i> INTEGER FORMULATIONS OF INJECTIONS AND BIJECTIONS	75
<i>M.A. Nadezhkin</i> THE ALGORITHM OF RECONFIGURATION TABLES FORMING OF A FAULT TOLERANT SYSTEM STRUCTURE	80

<i>A.D. Pluzhnikov, E.N. Pribludova, A.G. Ryndyk, D.M. Balashova, L.V. Kogteva, E.G. Chuzhaykin</i> FEATURES OF RADAR INFORMATION PROCESSING AT SCANNING RATE INCREASE	83
<i>I.S. Polevshchikov, K.N. Bayandin</i> DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AUTOMATION TOOLS FOR TEACHING SOFTWARE TESTING SKILLS (ON THE EXAMPLE OF “BLACK BOX” METHODS)	88

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

<i>D.G. Allenov, R.A. Pinaev, V.I. Kravchenya, G. Siamak</i> WEAR ANALYSIS OF BEARINGS BY DIRECT SPECTRUM METHOD WHEN TRANSMITTING TORQUE MOTION FROM ELECTRIC MOTOR	92
<i>N.N. Bepalov, Y.V. Goryachkin, E.I. Klechkin, M. V. Seskin</i> AUTOMATION OF THE TEST PROCESS OF LOW POWER SEMICONDUCTOR DEVICES UNDER THE REDUCED TEMPERATURE ACTION	96
<i>O.A. Bilous, A.V. Kuharchuk, G.A. Timofeeva</i> INCREASING POWER FACTOR AT THE PRODUCTION SECTION	100
<i>N.A. Bukhtoyarova, V.V. Bukhtoyarov, V.S. Tynchenko</i> RESEARCH OF METHODS OF NEURAL NETWORKS TRAINING ALGORITHMS FOR DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT	103
<i>N.A. Bukhtoyarova, V.V. Bukhtoyarov, V.S. Tynchenko</i> SYNTHESIS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PROBLEMS OF TECHNICAL CONDITION RECOGNITION	106
<i>A.V. Zhdanov, I.V. Shinakov, D.A. Rodionov, D.O. Kochetov, A.V. Cherkasova</i> DESIGN AND TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MANUFACTURE OF RSM RUNNING SCREWS	109
<i>B.R. Isakulov, M.V. Akulova, M.D. Dzhumabaev, H.T. Abdullaev, Zh.O. Konysbaeva, S.I. Shalabayeva</i> STUDY OF THE ACTIVITY OF SLAG-ALKALINE BINDING COMPOSITIONS BASED ON SALTS OF WEAK AND STRONG ACIDS	113
<i>E.N. Kaninina, V.V. Rodin</i> A STUDY OF THE FEASIBILITY OF AUTOMATION OF MEASUREMENTS OF LEDS	116
<i>A.N. Kuzenkov</i> MODELING THE FUNCTIONING OF A CEMENT GRINDING SYSTEM USING THE PROGRESS OF REGRESSIONAL IDENTIFICATION	119
<i>L.I. Medvedeva, P.M. Fakanow, M.S. Dolmatova</i> ANALYSIS OF DEVELOPMENT STAGES OF APCs BY THE EXAMPLE OF MASS-EXCHANGE PROCESSES	122
<i>Zh.V. Ovadykova, P.S. Shichev, E.Kh. Ovadykov</i> SOFTWARE PRODUCT DEVELOPMENT FOR ELECTRIC PARAMETRIC TECHNICAL DIAGNOSTICS OF CENTRIFUGAL PUMP UNITS	126
<i>A.V. Savchits, V.V. Korzin, E.Y. Ponomarev, M.V. Trukhina, A.V. Poklonskaya</i> SIMULATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS BY HEAT EXCHANGERS USING SIMINTECH	132
<i>A.R. Fardeev</i> THE USE OF WIND ENERGY IN HYDRAULIC SYSTEMS	136
<i>A.R. Fardeev</i> THE AUTOMATION OF THE CONNECTION OF WIND PUMP UNITS TO THE CUTTING FLUID CIRCULATION SYSTEM	139

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

<i>T.N. Titova</i> SOME CASES OF SOLVING THE RICCATI MATRIX EQUATION	142
<i>M.A. Chernoskutov</i> MULTILEVEL ARCHITECTURE FOR GRAPH PROCESSING SYSTEMS	147

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

A.V. Brodskii CATEGORIZATION OF SUBTASKS RESULTING FROM DECOMPOSITION OF OPTIMIZATION PROBLEM IN CAD SYSTEM FOR AEROSPACE ENGINEERING	150
S.A. Dadenkov, A.P. Dadenkova DESIGN OF THE P-PERSISTENT-CSMA ACCESS PROTOCOL SIMULATION MODEL	156
S.A. Dadenkov, A.P. Dadenkova LONWORKS SENSOR NETWORK SIMULATION MODEL	160
U.A. Ushakov, A.L. Konnov, N.U. Ushakova WEBRTC QUALITY IMPROVEMENT IN THE LEARNING MULTIPOINT VIDEO CONFERENCE	163

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

M.M. Balachkov, V.V. Verkhoturova, O.Yu. Dolmatov, V.V. Zakusilov, M.S. Kuznetsov, A.A. Permikin MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMICS OF TEMPERATURE FIELDS IN DIRECTED SYNTHESIS OF MATERIALS FOR NUCLEAR TECHNIQUE	168
A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, V.M. Nigmatzyanova, Sh.S. Husnetdinov MATHEMATICAL LOAD MODEL CLUTCH COUPLINGS	174
A.P. Buinosov, K.V. Panov IMITATION MODELING OF THE PROCESS OF MAINTENANCE AND CURRENT REPAIRS OF ELECTRIC CARS IN THE SERVICE LOCOMOTIVE DEPOT	177
A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF A SODIUM LAMP OF HIGH PRESSURE BY THE METHOD OF MATRIX OPERATORS	181
A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva MATHEMATICAL MODEL OF HIGH-PRESSURE SODIUM LAMP IN THE STATE VARIABLES	185
G.N. Gusev, V.V. Epin MODELLING OF THE TRANSPORT LOAD VIBRATION IMPACT ON RESIDENTIAL BUILDING. NUMERICAL MODEL, FULL-SCALE EXPERIMENT	188
G.N. Gusev, V.V. Epin MODELLING OF REINFORCEMENT EXTRACTION PROCESS FROM CONCRETE SAMPLE.	191
A.A. Kamenskikh, A.P. Pankova COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONTACT INTERACTION OF MODERN POLYMERIC MATERIALS ON THE EXAMPLE OF THE HERZZ PROBLEM	194
V.V. Korepanov NUMERICAL ANALYSIS OF EXPERIMENTAL SCHEMES AIMED AT SEARCH FOR COUPLE-STRESS EFFECTS	197
T.O. Korepanova, E.A. Nikolaeva, I.A. Oborina DETERMINATION OF THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS DURING HIGH-SPEED TESTS ON A SPLIT HOPKINSON-KOLSKY PRESSURE BAR	200
V.Yu. Pomelov, O.I. Poddaeva, P.S. Churin ASSESSMENT OF WIND IMPACT ON LARGE INDUSTRIAL STORAGE FACILITIES	203
A.A. Rachishkin DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR CONDUCTING RESEARCH OF TECHNICAL SURFACES CONTACT INTERACTION ON THE BASIS OF COMPUTING EXPERIMENTS	207
L.S. Sabitov, Yu.G. Konoplev ON THE ISSUE OF NUMERICAL MODELING OF THE SYSTEM "TOWER-FOUNDATION - GROUND BASE" OF WIND POWER PLANTS	210
O.V. Soloveva, R.R. Khusainov COMPARISON OF GRANULAR FILTERS WITH VARIOUS FORMS OF PARTICLES	214

<i>T.A. Chuvatkina, A.V. Agapov, N.A. Balashov, D.A. Agapov</i> MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF MEASURING THE FLOW OF RADIATION OF BACTERICIDAL LAMPS	218
<i>R.R. Yafizov, S.A. Solovov, A.V. Antipin</i> INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FILTER FIBER MODIFICATIONS ON PARTICLE DEPOSITION EFFICIENCY	222

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

<i>A.A. Shashkov, F.G. Khisamov</i> SPECIFICITY OF APPLICATION OF PSEUDORANDOM SEQUENCES IN INFORMATION PROTECTION SYSTEMS	225
<i>A.A. Shashkov, F.G. Khisamov</i> IMIT PROTECTION METHOD OF SPECIAL COMMUNICATION SYSTEMS FROM RELAYED INTERFERENCE WITH A LOW TIME OF DELAY	229

ABSTRACTS	232
------------------	-----

¹Б.Н. Иванов д-р техн. наук, ²Р.Н. Костромин канд. техн. наук,
³Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук, ⁴В.С. Минкин д-р хим. наук

¹Казанский научно-исследовательский технологический университет,
кафедра общей химической технологии,

²ООО «Миррико менеджмент»,

³Главный редактор журнала «Научно-технический вестник Поволжья»,

⁴Казанский научно-исследовательский технологический университет,
кафедра физики,

Казань, ivanovbn@rambler.ru, kostromin-rn@rambler.ru,
shagimullin@ntvp.ru, yerus@yandex.ru

АЛГОРИТМ РАЦИОНАЛЬНОГО ВНУТРИПЛАСТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ И БИТУМИНОЗНЫХ НЕФТЕЙ.

СООБЩЕНИЕ 2. ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ И ОПЕРАЦИИ.

ЧАСТЬ 1. СОПРЯЖЕННОЕ КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Сама идея внутрипластового преобразования углерод- и углеводородного сырья, по сути, принадлежит великому химику, технологу и предпринимателю Д.И. Менделееву, который еще во второй половине 19-го века предложил осуществлять подземную газификацию угля. Причем образовавшиеся в результате замедленного горения пустоты в угольном пласте рекомендовал использовать в качестве хранилища газа. Ранее [1], мы достаточно подробно охарактеризовали состояние искомой проблемы, обосновали постановку задач исследований, предложили авторские отправные посылки. В Сообщении 2 дается характеристика основных операций и приемов предлагаемого алгоритма внутрипластового преобразования нефтей. При этом в первой части Сообщения 2 авторы сосредоточились на таком целесообразном, с нашей точки зрения, приеме, как сопряженное качественно-количественное моделирование.

Поставленные цели и задачи исследований предполагают исключительную по сложности и благодарности работу. В случае достаточно удовлетворительного достижения цели только в Татарстане в эксплуатацию будут вовлечены ~ 5 млрд.т. вполне качественной нефти, что в денежном эквиваленте составляет ~ 1,9 трл. \$ (5 млрд.т.·6,2 бар·60 \$/бар ≈ 1,92 трл. \$). Причем предполагается установить и поддерживать баланс между количествами образовавшейся и выкачиваемой нефти. Для чего нагнетание волны и «качание» нефти осуществлять с частотой, резонансной для широты данного региона, глубины залегания нефти, степени и вклада соответствующих техногенных воздействий. При этом, кроме учета генетического и фациально-литологического факторов, нефтеносный пласт необходимо рассматривать как симбиоз конденсатора, резистора, индуктора и резонатора собственных и вынужденных волновых движений.

Как упоминалось в Сообщении 1 [1] «раскачать» флюиды нефтяного пласта можно в критических (глобальном или локальных) условиях с обязательным, по нашему мнению, использованием каталитических наносистем¹.

В качестве каталитических наносистем, по мнению авторов, целесообразно использовать паровые растворы солей и оксидов металлов, которые содержатся в искоемых нефтях, битумах и в породах коллектора пласта.

Поскольку желаемой областью протекания процессов является область экстремального равновесия, каталитическая система также должна оставаться в данном состоянии на значительных расстояниях от точки ввода. Только в этом случае она успеет инициировать и

¹ Иначе этот процесс будет очень медленным, затратным и затухающим, либо вообще пойдет не в нужном направлении.

интенсифицировать процессы внутрипластового преобразования тяжелых высоковязких и битуминозных нефтей.

Далее, естественно, нужно поддерживать режим, обеспечивающий псевдоравновесное состояние¹ (стационарный режим).

Достаточно уверенную надежду на успех данного алгоритма дает наше понятие времени [2]: *время* – это *объективный относительный* параметр, характеризующий, прежде всего, очередность и соотношение событий. Следовательно, хотя ни один процесс нельзя вернуть в исходную точку, вполне посильной является задача изменения соотношения составляющих его явлений и операций.

При решении поставленных задач представляется целесообразным использование разработанного нами варианта сопряженного качественного-количественного моделирования [3-8].

В литературе более распространено понятие: сопряженное физико-математическое моделирование, основная идея которого – непосредственный переход от компьютера к промышленному воплощению.

Казалось бы, эта заманчивая идея вполне может реализоваться. Ведь, как материальная точка в пространстве, так и макросистемы подчиняются одним и тем же формам проявления закона сохранения. Однако, невозможность точной количественной оценки не только внутренней энергии, но и ее изменения, сводит почти на «нет» этот волшебный посыл, заставляя применять множество приближенных математических описаний различного масштаба.

Поэтому мы предлагаем при описании коренных явлений использовать вариант качественно-количественного моделирования². Во-первых, любое моделирование только тогда достаточно корректно, когда имеет четкое физическое содержание. И в этом смысле, качественно-количественное моделирование более общно и ясно отражает физическую суть моделируемых объектов. Во-вторых, в предлагаемом варианте учитывается не столько сопряжение физических явлений и их математических образов, сколько сопряжение их качественных и количественных оценок. В-третьих, нам представляется целесообразным вернуть в практику моделирования сочетание аналоговых (отражающих основные законы физики и химии) и цифровых машин.

В результате легче использовать подход, предсказанный Природой и названный нами *принципом дифференциации и интеграции явлений*.

При нем изменения энергии, оценивающие различные явления, составляющие рассматриваемый процесс, следует первоначально приводить к единице массы и единице поверхности, заполняемой этой массой, затем определять их общее количество [1]:

$$\Delta E \approx \sum_{m_i}^{m_i} \int_{i=1}^k E_i^a \cdot didm_i \quad (1)$$

где ΔE – энергия процесса; E_i – энергия составного i -го ключевого взаимодействия; m_i – единица массы.

При построении модели сложной системы из ее ингредиентов выбираются ключевые, для которых записываются характеристические энергетические неравенства³.

Анализ системы таких неравенств определяет не энергию ключевого процесса, а область и направления ее изменения. При этом неравенства отражают всего два вида энергии: работу и энергию, не связанную с работой⁴. Одновременно в ходе анализа осуществляется коррекция целей исследований.

¹ Чтобы процесс не замедлялся, и не переходил в неуправляемое лавинообразное движение.

² С целью экономии места и обеспечения сохранности прав авторов, а также облегчение понимания поставленных задач, далее будем использовать относительно схематичное изложение материала

³ Применение неравенств обусловлено отсутствием абсолютного равновесия в материальных образованиях.

⁴ Подробнее смотреть [13].

Введение в моделирование этапа предварительных выбора и качественной оценки ключевых компонентов, видов и параметров их взаимодействий позволяет полнее отобразить физическую сущность объектов моделирования и предсказать основные противоречия, возникающие при экспериментальном исследовании.

Перспективы применения энергетических неравенств при оценке процессов добычи исходной и техногенно-измененной нефти, разрушения и упорядочения нефтяных эмульсий, депарафинизации нефтепродуктов и окисления жидких парафинов до СЖК и СЖС и др. рассмотрены нами ~ в двух десятках работ. Квинтэссенция их достаточно подробно представлена в монографии [12].

Представленные положения и результаты анализов относится, в первую очередь, к качественной стадии сопряженного количественно-качественного моделирования. Для перехода к количественным оценкам предлагается в качестве связующего звена использовать универсальное характеристическое волновое уравнение (ХВУ) (2) Иванова-Костромина; отражающее распространение волны в пространстве.

$$y = ae^{(bx+c)} \quad (2)$$

где: y – исходная функция; x – варьируемый фактор (может быть и функцией нескольких параметров); a – множитель, учитывающий варьирование колебаний относительно медианы; b , c – поправочные коэффициенты для конкретных характеристик: вязкости, межфазного натяжения, плотности, теплоемкости и др.

ХВУ успешно заменяет уравнение Аррениуса при характеристике жидкофазных, конденсированных и твердотельных систем¹.

Исходные положения применения ХВУ нашли подтверждение в результатах многих наших работ [3-12]. В настоящем Сообщении приведем некоторые новые данные, полученные при анализе справочных данных по вязкости практически всех нефтей бывшего СССР.

Расчетные значения вязкости² более 500 нефтей были сравнены со справочными данными. Большинство из них (> 90 %) дали хорошую сходимость. Малая часть результатов приведена в таблице 1. Расчет производился по модернизированной Р.Н. Костроминым формуле (3):

$$v_{50} = \frac{e^{(A \cdot \rho_4^{20} + B \cdot \%350 + C)}}{10} \quad (3)$$

где ρ_4^{20} – плотность нефти при 20 °С относительно плотности воды при 4 °С; %350 – массовый процент отгона светлых фракций нефти (до 350 °С); A , B – коэффициенты характеризующие диапазоны разброса относительно плотности нефтей и выходов светлых фракций соответственно; C – поправочный коэффициент, учитывающий взаимное влияние количественных характеристик указанных параметров (плотности и массового содержания светлых нефтепродуктов).

Алгоритм расчета v_{50} и др. важных характеристик представлен в работах [3-5, 7, 8].

Представленные результаты указывают на возможность и целесообразность применения ХВУ при переходной стадии от качественного к количественному моделированию.

Во-первых, ХВУ соответствует геометрии распространения волны в пространстве, то есть отображает физический смысл моделируемых процессов, а во-вторых обладает достаточной степенью гомоморфизма.

¹ В этих случаях уравнение Аррениуса нельзя в принципе, по мнению авторов настоящей статьи, использовать из-за универсальной газовой постоянной (R). Удивительно, что это обстоятельство впервые в мире заметил Б.Н. Иванов еще ~ 25 лет назад.

² Одной из важнейших аддитивных характеристик сложных материальных образований.

Таблица 1 – Сравнительные данные вязкости нефтей при 50 °С

Нефть	Справочные данные			Расчетные данные		
	ρ ₄₂₀	Вязкость ν ₅₀ , сСт	Выход фракций (до 350 °С), % масс.	А	В	С
				2,326	- 0,01134	0,0001023
				Коэффициенты сходимости		
				Пирсона		R2
				0,9654		0,9321
				Вязкость ν ₅₀ , сСт		
Андижанская	0,8778	8,22	50,20	7,85		
Арланская	0,8918	13,50	42,80	13,45		
Балаханская масляная	0,8760	8,00	50,40	7,63		
Банкалийская	0,8693	8,94	44,90	9,39		
Бахметьевская	0,8710	6,09	50,80	7,12		
Белозерская	0,8453	5,94	44,80	7,37		
Восточносусловская	0,8465	4,63	55,20	4,62		
Гашинская	0,8859	17,90	34,00	20,91		
Знаменская	0,8980	17,40	39,60	17,36		
Козловская	0,8693	8,78	45,70	9,01		
Коробковская	0,8182	2,59	63,10	2,66		
Котуртепинская центрального и западного участков	0,8580	8,60	47,00	7,52		
Кудиновская	0,8313	3,21	62,00	3,07		
Кулешевская	0,7980	1,85	68,50	1,90		
Кыласовская	0,8491	3,62	57,80	4,23		
Лебяжинская	0,8476	4,69	54,00	4,92		
Марковская	0,8065	2,44	64,30	2,33		
Мектебская	0,8619	6,28	51,50	6,30		
Мухановская	0,8462	4,84	54,00	4,85		
Нефтяные камни (северо- восточное крыло)	0,8794	7,30	52,00	7,30		
Ножовская	0,8733	8,14	48,50	8,16		
Павловская	0,8958	13,82	40,40	16,15		
Серноводская	0,8220	2,31	67,00	2,37		
Фоминовская	0,9100	25,30	33,40	29,57		
Хилковская	0,8398	6,03	51,80	5,05		
Чутырская	0,8824	10,58	47,90	9,24		

Кроме того, по мнению авторов настоящей статьи, характеристическое волновое уравнение можно использовать для первоначальной приближенной количественной оценке экстремального внутрипластового состояния нефтяных флюидов. Для чего в качестве характеристических и корректирующих коэффициентов следует применять оценки ключевых конденсаторных, резисторных, индукционных и резонаторных явлений в нефтеносном пласте.

Конкретизация ключевых факторов и характеристик нефтяного пласта, используемая для моделирования его состояния экстремального равновесия, будет представлена в Части 2 Сообщения 2.

Список литературы

1. Иванов Б.Н., Костромин Р.Н., Шагимуллин Р.Х., Минкин В.С. Алгоритм рационального внутрипластового преобразования высоковязких и битуминозных нефтей. Сообщение 1. Обоснование и постановка задач / Научно-технический вестник Поволжья, Казань, 2019, № 8. - С. 12 – 17.
2. Иванов Б.Н. Онтология теоретических основ химической технологии (учебное пособие) / Казань: КГТУ, 2006, -72с.
3. Иванов Б.Н., Костромин Р.Н., Дацков А.В. К вопросу о характеристиках ассоциативности сложных жидкофазных органических систем и их математическом отображении. Часть 1 / Вестник КТУ, 2006, № 1, с. 217-222.
4. Иванов Б.Н., Дацков А.В., Билалов М.И., Костромин Р.Н. К вопросу о характеристиках ассоциативности сложных жидкофазных органических систем и их математическом отображении. Часть 2 / Вестник КТУ, 2007, № 3-4, с. 161-171.
5. Иванов Б.Н., Дацков А.А., Лебедев Н.А. О применимости универсального волнового уравнения при характеристике нефтесодержащих систем. Сообщение 1 / Вестник КТУ. — 2008. — № 1. — С. 20-31.
6. Иванов Б.Н. Общий базис основных методов увеличения нефтеотдачи / Б.Н. Иванов, Е.Л. Древницкая, Н.А. Лебедев // Нефтяное хозяйство. – М. – 2010. – № 3. – С.80-82.
7. Иванов Б.Н., Билалов М.И., Костромин Р.Н. Универсальное характеристическое уравнение нефтесодержащих систем. Обоснование применения / Энергетика Татарстана: ООО "Печатный двор", Казань, 2010, Вып. 3 (19), с. 63-67.
8. Иванов Б.Н., Древницкая Е.Л., Костромин Р.Н. Универсальное характеристическое уравнение нефтесодержащих систем. Некоторые аспекты практического приложения / // Энергетика Татарстана: ООО "Печатный двор". - Казань, 2012. - Вып. 3. - С. 64-69.
9. Иванов Б.Н., Костромин Р.Н., Алексеев Е.В. / Общий базис жидкофазных нефтяных и растительных ресурсов // Энергетика Татарстана: ООО "Печатный двор". - Казань, 2014. - Вып. 2. - С. 27-41.
10. 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.
11. Ivanov B.N. Application of conjugate qualitative-quantitative modeling to describe formation processes at oil recovery / B.N. Ivanov, E.I. Garifullina, R.N. Kostromin, K.G. Nikolaev, D.R. Isakov // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. - SGEM 2018. - V. 18. - Is. 1.4. - P. 245-252.
12. Иванов, Б.Н. Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти /Б.Н. Иванов, А.И. Гурьянов, А.М. Гумеров // Казань: АН РТ, «ФЭН», - 2009. - 400 с.

05.13.06

**В.С. Минкин д-р хим. наук, Р.Х. Зиятдинов канд. техн. наук,
А.В. Репина канд. техн. наук, Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук**

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Факультет наноматериалов и нанотехнологий,
Кафедра «Физика», Казань, nastia_repina@mail.ru

ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА

Рассмотрены возможности применения механизмов с магнитными связями передаточных звеньев. Показано, что подобные механизмы могут быть эффективными в различных технологических процессах благодаря особенностям конструкции цевочного механизма, обеспечивающего кольцевое магнитное поле.

Ключевые слова: *магнитное поле, передаточный механизм, цевки.*

Передаточные механизмы с магнитными связями звеньев пригодны в использовании при кондиционировании помещений, дроблении кускового материала и тонком помоле мелкозернистого материала, соскребаии отложений с рабочих поверхностей химических и теплообменных аппаратов, перемешивании различных сред, приготовлении растворов, эмульсий и суспензий, нагнетании жидкостей в резервуары, раскалывании ледяных покровов, перемещении объектов над водой, по воде и под водой, а также в приводах бытовой техники.

Интерес к передаточным механизмам с магнитными связями звеньев объясняется участием в передаче движения от одних звеньев к другим звеньям магнитного поля, создаваемого укрепленными на звеньях магнитами. Этот фактор существенно повышает энергоэффективность механизма. Кроме того, долговечность таких механизмов сравнительно высокая из-за отсутствия износа рабочих поверхностей взаимодействующих между собой звеньев.

Наиболее простыми по устройству механизмами с магнитными связями звеньев являются зубчатые колеса с параллельным расположением осей вращения [1-3]. К их недостаткам следует отнести большие габариты и слабое магнитное поле, возникающее только вблизи расположенных друг к другу зубцов обоих колес. Указанных недостатков лишен цевочный механизм с магнитными связями звеньев [4], в котором оси обоих колес расположены соосно, а равнорасположенные по диаметру колес магнитные цевки создают кольцевое магнитное поле.

На рис 1 (а,б) схематично показан планетарный редуктор с магнитными связями звеньев. Зубцы колес редуктора выполнены из немагнитного материала, а магнитные пластинки укреплены на рабочих поверхностях зубцов центрального колеса и сателлита и обращены полюсами N наружу. Межосевое расстояние, обеспечивающее магнитную связь между зубчатыми колесами, определяются неравенствами:

$$A_{2-3} > \frac{d_{H_2} + d_{H_3}}{2}, \quad (1)$$

$$A_{3-5} > \frac{d_{H_3} + d_{H_5}}{2}, \quad (2)$$

где A_{2-3} - межосевое расстояние между центральным зубчатым колесом и сателлитом;
 A_{3-5} - межосевое расстояние между сателлитом и опорным зубчатым колесом;
 $d_{H_2}, d_{H_3}, d_{H_5}$ - начальные окружности колес.

При соблюдении неравенств (1) и (2) исключается контакт зубцов колес и кинематическая цепь редуктора становится незамкнутой.

Степень подвижности редуктора равна:

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

где n – число подвижных звеньев (колесо 2, сателлит 3, водило 4); p_5 – количество низших кинематических пар (колесо 2 – стойка 1, сателлит 3 – водило 4); p_4 – число высших кинематических пар (магнитная связь между колесом 2 и сателлитом 3; нормальное зубчатое зацепление между сателлитом 3 и опорным колесом 5).

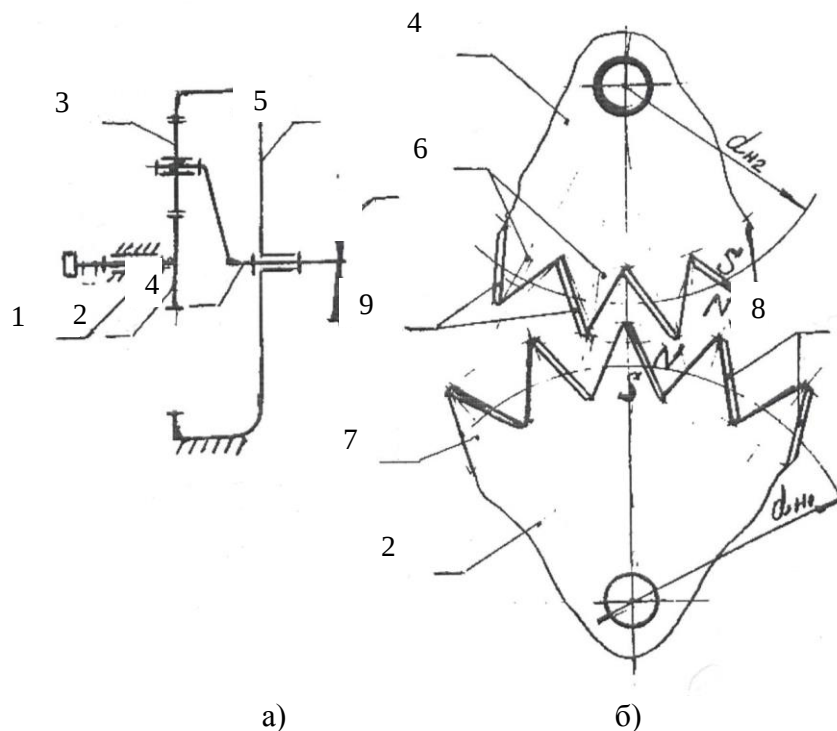


Рис. 1 – Планетарный редуктор с магнитными связями звеньев (а,б):

1 – стойка; 2 – центральное колесо; 3 – сателлит; 4 – водило; 5 – опорное колесо;
6,7 – зубцы; 8,9 – магнитные пластинки.

Степень подвижности $W = 1$ указывает на то, что редуктор обладает одной степенью свободы.

При вращении центрального колеса сателлит совершает сложное движение, вращаясь вокруг своей оси и совершая движение по круговой орбите, заставляя вращаться водило вокруг общей оси вращения центрального колеса и водила. Вращение сателлита при отсутствии его контакта с центральным колесом происходит в результате отталкивания близко расположенных зубцов центрального колеса к зубцам сателлита. Отталкивание зубцов колеса друг от друга происходит за счет магнитных пластин, обращенных друг к другу одноименными полюсами.

Передаточное отношение планетарного редуктора рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{вц/вм}}^{\text{пл}} = 1 - U_{\text{вц/вм}}^{\text{нпл}}, \quad (4)$$

где $U_{\text{вц/вм}}^{\text{пл}}$ – передаточное отношение планетарного редуктора; $U_{\text{вц/вм}}^{\text{нпл}}$ – передаточное отношение преобразованного редуктора, в котором водило закрепляется за стойку.

Неизвестные моменты определяются из системы уравнений:

$$M_{\text{вм}}^{\text{ср}} = -M_{\text{вц}}^{\text{акт}} \cdot U_{\text{вц/вм}}^{\text{н}} \cdot \eta^H, \quad (5)$$

$$M_{\text{вм}} + M_{\text{вц}} + M_{\text{кор}} = 0, \quad (6)$$

где $M_{\text{вм}}^{\text{спр}}$ – момент полезного сопротивления на ведомом валу; $M_{\text{виц}}^{\text{акт}}$ – активный момент на ведущем валу; $M_{\text{вм}}, M_{\text{виц}}, M_{\text{кор}}$ – соответственно, моменты приложенные к ведомому, ведущему валам и к корпусу редуктора.

Ведущее звено непланетарного редуктора выявляется из условия, чтобы у звена направления момента и угловой скорости совпадали.

КПД планетарного редуктора определяется по формуле:

$$\eta^n = \frac{-M_{\text{вм}}^n \cdot \omega_{\text{вм}}^n}{M_{\text{виц}}^n \cdot \omega_{\text{виц}}^n} = -\frac{M_{\text{вм}}^n}{M_{\text{виц}}^n \cdot U_{\text{виц/вм}}^n} = \frac{1 - U_{\text{виц/вм}}^n \cdot \eta^n}{U_{\text{виц/вм}}^n}. \quad (7)$$

В представленной ниже таблице 1 показаны возможности использования механизмов с магнитными связями звеньев в процессах и аппаратах химической технологии в зависимости от установленных на водиле рабочих органов.

Таблица 1

Рабочие органы	Использование
Щетки	Очистка резервуаров от загрязнений
Крыльчатки	Кондиционирование помещений
Мешалки	Перемешивание различных сред. Приготовление растворов, эмульсий и суспензий
Скребки	Соскребание отложений с рабочих поверхностей химических и теплообменных аппаратов
Молотки	Дробление и тонкий помол кускового и мелкозернистого материала
Ножи	Резка резинового, полиэтиленового и пластмассового материала
Винты	Нагнетание текучих сред в резервуары

Таким образом, использование механизмов с магнитными связями звеньев позволяет существенно повысить энергоэффективность химических технологий и повысить долговечность оборудования. Способность надежной работы механизмов с магнитными связями звеньев с агрессивными и неагрессивными средами в широком диапазоне изменения температур и давлений позволяет считать такие механизмы перспективными.

Список литературы

1. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам. Машиностроение, М., 1987, 560 с.
2. Патент РФ 2681417 (2019).
3. Минкин В.С., Замалиев А.Г., Мухаметзянов М.А., Галимуллин Р.Г., Набиуллин И.Н. Механизмы движения звеньев с магнитной связью // Научно-технический вестник Поволжья, №4, 2018, с.9-11.
4. Минкин В.С., Шагимуллин Р.Х., Замалиев А.Г., Мухаметзянов М.А. Цевочная передача с магнитной связью // Научно-технический вестник Поволжья, №4, 2019, с. 9-10.

05.13.06

**В.С. Минкин д-р хим. наук, Ю.Н. Хакимуллин д-р техн. наук,
Т.Ю. Миракова канд. хим. наук, Т.Ю. Старостина канд. педагог. наук,
Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук**

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
факультет наноматериалов и нанотехнологий,
кафедра физики,
Казань, yerus@yandex.ru

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БИТУМСОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОМЕРОВ

Исследованы кинетика отверждения и свойства защитных покрытий на основе полисульфидных олигомеров в зависимости от дозировки битумсодержащей добавки (битума или битуминозного песчаника). Обсуждаются механизмы влияния битумсодержащих компонентов на процессы отверждения полисульфидных герметизирующих композиций различными вулканизирующими агентами.

Ключевые слова: *герметизирующая композиция, полисульфидный олигомер, битум, битуминозный песчаник.*

Герметики на основе полисульфидных олигомеров (ПСО) находят широкое применение не только как продукты специального назначения, но и как защитные покрытия для герметизации стыков стеклопакетов, межпанельных и аэродромных стыков, а также для получения наливных мастичных кровельных покрытий [1,2].

Однако масштабы использования полисульфидных композиций в качестве покрытий намного отстают от потребности строительной индустрии в подобных материалах. Основным препятствием тому является их высокая стоимость, а также дефицитность олигомеров полисульфидной природы, связанная преимущественно с экологическими особенностями технологии их получения.

Особую ценность представляет возможность привлечения доступных и широко распространенных в строительстве материалов, способных проявлять в полисульфидных олигомерах свойства наполнителей и пластификаторов. В литературе уже имеются примеры введения в рецептуру полисульфидных герметиков каменноугольных смол, рубракса и битума [2,3], однако к настоящему времени была установлена лишь сама возможность модификации битумом полисульфидных композиций без изучения взаимосвязи их состава со свойствами и механизмами формирования защитного материала.

Экспериментальная часть

В работе изучалась кинетика отверждения ПСО, модифицированного битумсодержащими продуктами (БСП), методом ЯМР-релаксометрии по изменению времени спин-спиновой релаксации T_2 [4]. Для этих целей использовалась композиция, включающая ПСО марки П (с содержанием концевых SH-групп 2–2,5% масс.), технический углерод П-803 (в количестве 15–20 мас.ч.), а также БСП, которые вводились в герметизирующую пасту (жидкий ПСО и техуглерод) при температуре +120°C в количестве до 50 мас.ч. В качестве вулканизирующих агентов использовались диоксид марганца в виде пасты №9, бихромат натрия и оксид цинка, а битумсодержащие компоненты представляли собой битум строительный БН-70/30 и Ашальчинский (Татарстан) битуминозный песчаник (БП) со средним содержанием битума 12,5 мас. %, усредненной удельной поверхностью 0,7 м²/г и содержанием серы 0,4–0,7 мас. %.

Определение параметров и выбор рецептур исследованных композиций осуществлялись в соответствии с действующими ГОСТами [1,2].

Кинетические исследования проводились при нормальных условиях на лабораторном ЯМР релаксметре на частоте 19 МГц на протонах, время поперечной ядерной магнитной релаксации T_2 определялось методом Хана [4].

Результаты и их обсуждение

Как видно из рис.1, в отсутствие вулканизующего агента (нулевая точка на оси ординат) при увеличении содержания битума (T_2 битума = 0,3 мс) снижается начальное значение T_2 композиции (T_2 герметизирующей пасты = 4,0 мс). Из данных рис.1а можно заметить, что на начальной стадии отверждения диоксидом марганца увеличение содержания битума приводит к уменьшению скорости отверждения. Исключение составляет композиция с 5 масс.ч. битума, где отверждение протекает быстрее, чем у контрольного состава. Дальнейший ход процесса, описывающий фазу отверждения герметика после точки гелеобразования, до конца отражен на рис.1б.

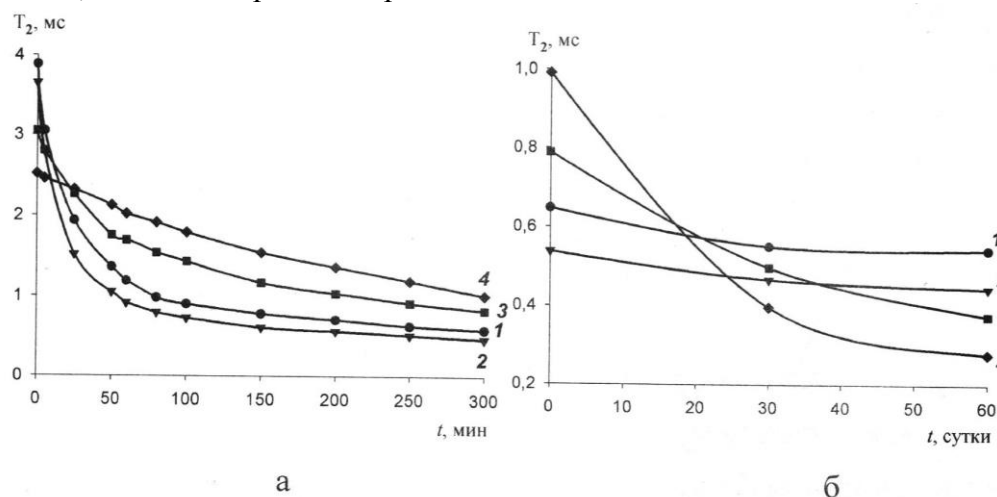


Рис. 1 – Изменение T_2 при отверждении полисульфидных герметиков диоксидом марганца от содержания битума (масс.ч.): 1 – 0; 2 – 5; 3 – 25; 4 – 50; а – начальный период отверждения, б – конечный.

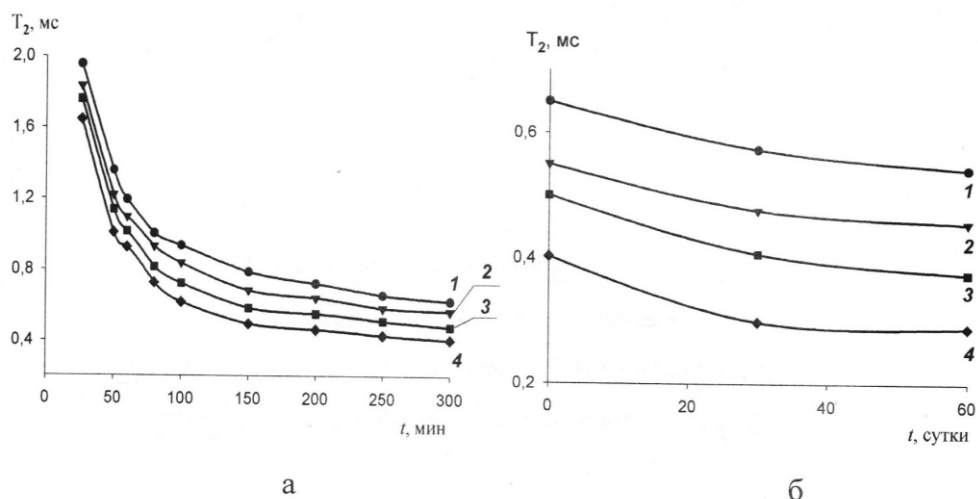


Рис. 2 – Изменение T_2 при отверждении полисульфидных герметиков оксидом цинка от содержания битума (масс.ч.): 1 – 0; 2 – 5; 3 – 25; 4 – 50; а – начальный период отверждения, б – конечный.

Видно, что конечное значение T_2 герметика с содержанием в нем битума, равным 50 мас.ч., опускается для значения T_2 для чистого битума.

Это свидетельствует о том, что введение битума, замедляя процесс отверждения полисульфидного герметика, не только не сказывается отрицательно на его полноте, но и увеличивает ее.

При использовании оксида цинка введение битума ускоряет процессы отверждения (рис.2). Следует также отметить, что потеря жизнеспособности (начало гелеобразования) и достижение полного отверждения при использовании оксида цинка наблюдаются существенно раньше, чем для диоксида марганца (рис.1 и 2). Данные по жизнеспособности полисульфидных олигомеров также свидетельствуют о различном влиянии битума на скорость их отверждения в зависимости от природы вулканизирующего агента (табл.).

Если при использовании диоксида марганца и бихромата натрия при введении битума до 25 мас.ч. процессы отверждения замедляются в 4 – 5 раз, то для оксида цинка – ускоряются в 2 раза (табл.). В таблице также приведены свойства модифицированных битумом полисульфидных герметиков. Как видно из таблицы, степень влияния битума на свойства герметиков зависит от природы вулканизирующего агента. В том случае, когда используется диоксид марганца или бихромат натрия, показатель прочности проходит через максимум при содержании битума, равном 5 мас.ч. По всей видимости, в небольших количествах битум способствует более активному участию ПСО в присутствии наполнителя в реакции отверждения за счет улучшения адсорбционных, а затем и химических взаимодействий с диоксидом марганца.

Улучшению адсорбции, возможно, способствует появление в композиции вместе с битумом мальтеновой фракции, хорошо растворяющейся в ПСО и повышающей его молекулярную подвижность. Это подтверждается и увеличением плотности поперечных связей (ППС) как физических, так и химических (рис.3).

Таблица – Основные физико-механические и технологические характеристики битумсодержащих полисульфидных композиций в зависимости от природы вулканизирующего агента и дозировки БСП (битума или БП).

мас.ч. битума	Показатели	MnO ₂		битум	
		БП	битум	Na ₂ Cr ₂ O ₇	ZnO
1	2	3	4	5	6
0	Условная прочность, МПа		2,25	2,12	2,8
	Относительное удлинение, %		100	50	130
	Адгезия к бетону, МПа		10 адгез.	-	-
	Жизнеспособность, час	-	1	0,5	4
5	Условная прочность, МПа	1,90	2,4	2,2	2,5
	Относительное удлинение, %	310	120	60	140
	Адгезия к бетону, МПа	-	14 адгез.	-	-
	Жизнеспособность, час	2,7	1,2	0,7	3,5
10	Условная прочность, МПа		1,73	2,0	2,2
	Относительное удлинение, %		140	80	150
	Адгезия к бетону, МПа		18 адгез.	-	-
	Жизнеспособность, час		2	1,5	3
25	Условная прочность, МПа		1,43	1,63	1,8
	Относительное удлинение, %		200	30	170
	Адгезия к бетону, МПа		16 когез.	-	-
	Жизнеспособность, час				
50	Условная прочность, МПа		1,05	1,08	1,1
	Относительное удлинение, %		50	10	50
	Адгезия к бетону, МПа		8 когез.	-	-
	Жизнеспособность, час		8	5	1

Наблюдаемое при введении 5 мас.ч. битума ускорение процесса отверждения можно связать с наличием в битуме гетероатомов, способных катализировать процессы окисления SH-групп ПСО диоксидом марганца (азот, ванадий, никель и др.) [2]. При дальнейшем увеличении их содержания битум начинает вести себя как типичный пластификатор, что приводит к уменьшению прочности, увеличению относительного удлинения и некоторому снижению химической ППС герметиков независимо от природы вулканизирующего агента (табл., рис.3).

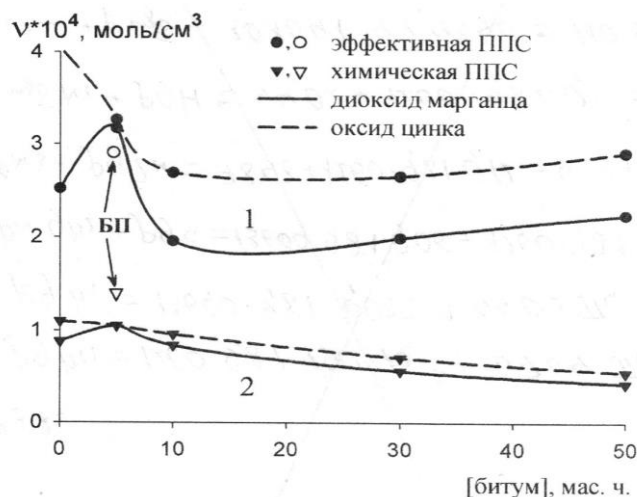


Рис.3. Зависимость плотности поперечных связей (1 – эффективных, 2 – химических [2]) от содержания битума в герметике, отвержденном диоксидом марганца;

БП – значения тех же параметров для герметика с битумсодержащим песчаником.

Увеличение в композиции битума (более 15-20 мас.ч.) приводит к постепенному повышению физической составляющей ППС, по всей видимости, это связано с образованием в полисульфидном герметике непрерывной фазы битума, в которой частица асфальтена способны участвовать в образовании физических взаимодействий как друг с другом, так и с ПСО и техническим углеродом.

Таким образом, защитные покрытия на основе битумсодержащего ПСО могут быть рекомендованы в строительной индустрии.

Список литературы

1. Минкин В.С., Хакимуллин Ю.Н и др. Герметики на основе полисульфидных олигомеров. М: Наука, 2007. – 301с.
2. Аверко-Антонович А.А., Кирпичников П.А., Смылова Р.А. Полисульфидные олигомеры и герметики на их основе. Л: Химия, 1983. – 128с.
3. Минкин В.С., Дебердеев Р.Я., Хакимуллин Ю.Н., Палютин Ф.М. Промышленные полисульфидные олигомеры (синтез, вулканизация, модификация). Казань: Новое знание, 2004. – 175с.
4. Минкин В.С. ЯМР в промышленных полисульфидных олигомерах. Казань: Абак, 1997. – 222с.

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

05.13.01

Аббаси Мохсин Маншад

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»,
Кафедра теоретических основ информатики,
Ижевск, mohsinmanshad@gmail.com

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОТРИЦАНИЙ НА ТЕКСТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КЛАСТЕРИЗАЦИИ И КОЛЕСА ЭМОЦИЙ ПЛУТЧИКА**

Системы, разработанные для анализа текста и эмоций из Интернета, имеют различные приложения, такие как прогнозирование будущего события, выявление групп ненависти через Интернет, приложение для онлайн-покупок и т.д. Для анализа и наблюдения реальных эмоций из текста, необходимо уделить особое внимание некоторым факторам, которые могут изменить семантику текста и его полярность, такие как отрицания в тексте. Мы используем кластеризацию, чтобы идентифицировать группу отрицаний в тексте, а затем предоставляем механизм для работы с ними, чтобы сохранить реальную полярность текста.

Ключевые слова: *эмоции, текст, отрицания, общество, мнения, анализ.*

Введение

Анализ эмоций из текста - тема растущего интереса для исследователей. Это из-за важности анализа эмоций в НЛП (обработка естественного языка). Исследователи работают над эмоциями, их характеристиками и исследуют их скрытые свойства. Предлагаются различные системы и методологии для анализа эмоций от текста на разных языках. Семантика и синтаксис играет жизненно важную роль в анализе эмоций. Выявление подкатегорий эмоций и зависимостей между ними улучшает процесс анализа эмоций из текста [1].

Иногда эмоции и их семантика зависят от других слов в предложении, таких как отрицания. Отрицание меняет смысл и полярность эмоции. При выявлении эмоций необходимо выявить отрицания, которые существуют перед словами, несущими эмоции в тексте. Мы также заметили, что при извлечении слов, несущих эмоции, не должно быть отрицания, которое не может, не может существовать перед словом, несущим эмоции. Если это произойдет, тогда слово полярность будет изменено. Позитивные эмоции станут негативными, а негативные станут позитивными.

Связанных с работой

В 1977 году (Хэллидей и Хасан, [2]) классифицировали лексическую сплоченность на две категории: категория повторения и категория коллокации. Категория повторения учитывает повторение, синоним и гипонимы, в то время как категория размещения имеет дело с одновременным вхождением слов в текстовый документ. После этого основными усилиями стали работы по удивительному поведению метрик расстояния в многомерном пространстве [3]. В этом исследовании было объяснено, что показатель дробного расстояния обеспечивает более значимые результаты как с теоретической, так и с эмпирической точки зрения. Основными факторами, влияющими на эффективность при поиске метрических пространств, являются внутренняя размерность пространства и радиус поиска [4].

Аналогичным образом логические формулы используются для определения наиболее распространенных методов анализа эмоций из текста. Логические свойства эмоциональных модальностей, логика эмоциональных оценок и определение различных модальностей позволяют проводить аффективный анализ эмоций [5]. (Edgar C. et al. 2001 [6]) в своей работе описывают методику поиска в пространствах с использованием расстояния.

Kruengkrai и Jaruskululchi пытаются определить заголовок текста [7]. Их подход использует преимущества как локальных, так и глобальных свойств предложений. Они использовали группы значимых слов в каждом предложении, чтобы вычислить локальное свойство предложения и отношения всех предложений в документе, чтобы определить глобальное свойство текстового документа. В 2012 году Maryam Kiabod et al. [8] представить подход для обобщения текста путем определения значимых слов из текста. Они использовали экстрактивный метод, чтобы выбрать подмножество предложений, которое содержит основную концепцию текста. Алгоритмы предварительной обработки текста перед анализом эмоций повышают эффективность и результативность всего процесса [9]. Пространство слова является мерой для определения силы эмоций и их частоты в тексте [10].

Методология

Наше исследование начинается с выбора текста из блога в Интернете. Затем мы определяем слова, несущие эмоции. На следующем этапе мы идентифицируем отрицания, которые появляются перед словами, представляющими эмоции в тексте (самые сильные отрицания существуют перед словами, выражающими эмоции). Отрицания, расположенные далеко от эмоций, теряют свою силу. Для привязки эмоций к определенным отрицаниям которые существуют в тексте, мы применяем различные алгоритмы интеллектуального анализа данных и контролируемые методики обучения, такие как Метод Опорных Векторов, Наивный Байесовский Метод, CART, K-Means и т. д. Лучшее соотношение между эмоциями и отрицаниями наблюдается с помощью программы «K-Means кластеризация». Ее результаты представлены на рисунке 1 ниже.

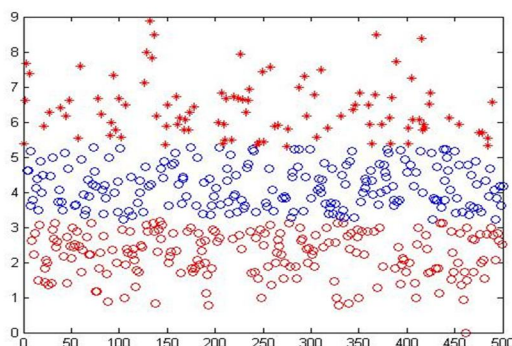


Рис. 1 показывает разброс эмоций в тексте

На приведенном выше рисунке показан разброс эмоций в тексте до применения кластеризации. Розовый цвет представляет собой отрицательные эмоции, голубой цвет показывает позитивные эмоции, красный цвет – отрицания перед положительными эмоциями. В примененной кластеризации полученных данных, мы наблюдаем лучшее соотношение между эмоциями, как показано на рисунке 2

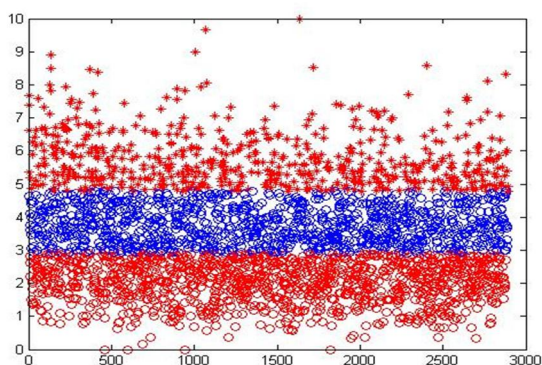


Рис. 2 показывает результаты кластеризации по тексту

Таким образом, из рисунка выше мы видим группы положительных и отрицательных эмоций вместе с отрицаниями в тексте. Также можно заметить, что некоторые отрицания расположены близко к словам, несущим эмоции, а другие - далеко. Близкое отрицание - это сильное отрицание, которое меняет полярность слова, несущее эмоции. При применении отрицания, наблюдается уменьшение положительных эмоций и увеличение количества отрицательных, так как некоторые из положительных эмоций станут отрицательными. После применения кластеризации и обработки отрицаний текста наблюдаются две группы эмоций, как показано ниже на рисунке 3.

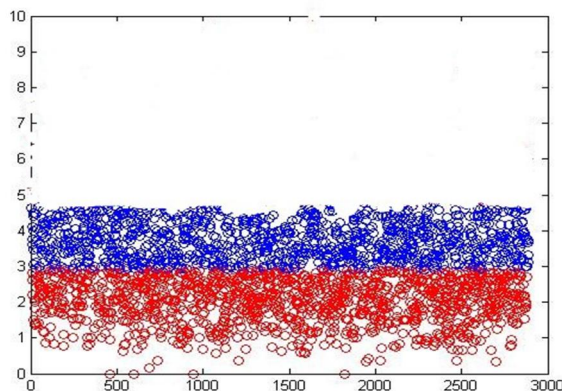


Рис. 3 показывает результаты кластеризации на эмоции из текста после обработки отрицаний

Как обсуждалось в [1], эмоции находятся в тесной взаимосвязи друг с другом. Некоторые из них рассматриваются как первичные эмоции, в то время как другие - вторичные, третичные и более отдаленные эмоции. Предполагается, что первичные эмоции несут оценку полярности своих вторичных и третичных эмоций, вторичные эмоции содержат оценку полярности третичных эмоций и продолжают до последнего уровня эмоций. Мы применяем нашу методологию в блоге текста, и результаты обсуждаются ниже.

Результаты и обсуждение

Мы применили созданную нами методологию к выбранному тексту для определения эмоций и влияния отрицания на их полярность. Наш эксперимент начинается с определения текста из онлайн-блога, в котором мы выявили эмоции. Основными категориями эмоций в блоге были положительные и отрицательные эмоции. На первом этапе анализа рассматривается полярность эмоций. Вес присваивается каждой эмоции на основе ее группы, будь то первичная, вторичная, третичная или дальнейшая эмоция по колесу эмоций Плутчика [1,2]. На рисунке 4 представлены детали группировки эмоций.

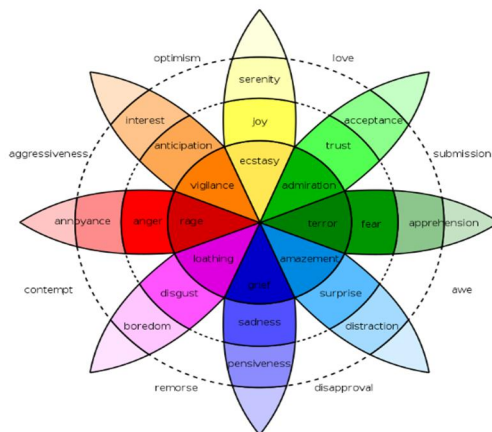


Рис. 4 Колесо эмоций Плутчика [1]

В 1980-х годах Роберт Плутчик разделил эмоции на восемь основных категорий. Половина этих эмоций - положительные, а другая половина - отрицательные. Они рассматриваются как противоположность друг другу. Мы можем наблюдать это среди вторичных эмоций, например: радость противоположна печали, удивление противоположно ожиданию, доверие противоположно отвращению, а гнев противоположен страху. Ученый объяснил каждую эмоцию в деталях и разделил ее на подгруппы, рассматривая их как вторичные и третичные эмоции в форме колеса. Его работа описывает интересные отношения между эмоциями, их интенсивностью и полярностью. Плутчик также заметил, что интенсивность эмоции высокая, когда она расположена в центре колеса, и уменьшается с увеличением расстояния от центра. Первичные эмоции демонстрируют максимальный вес, равный 4, поскольку эмоции делятся на четыре различных уровня [2]. Вес уменьшается на 1 от уровня к уровню, что означает, что эмоциям с самого низкого уровня назначается вес 1, который является последним уровнем эмоций. Таким образом, мы применили кластеризацию к тексту, чтобы идентифицировать четыре группы или уровни эмоций из текста в соответствии с колесом эмоций Плутчика. Результат кластеризации представлен на рисунке 5.

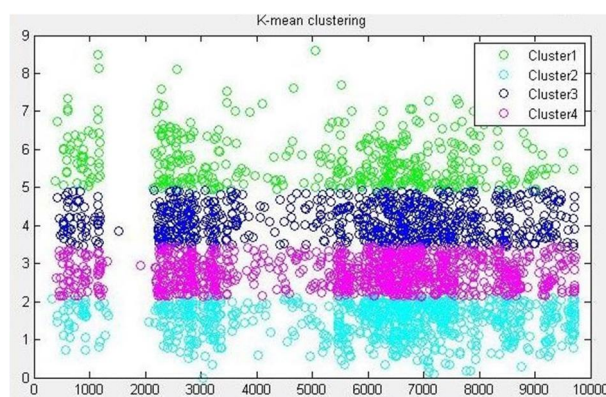


Рис. 5 показывает четыре группы эмоций при применении кластеризации

Разные цвета на рисунке представляют разные кластеры, и каждый кластер представляет определенный уровень эмоций в соответствии с теорией Плутчика [1]. После проведенного анализа был получен список эмоций из текста с разной полярностью. Сначала нами были выявлены положительные эмоции, подсчитана их частота и определен вес. Умножая частоту эмоции на ее вес, мы наблюдали значение интенсивности конкретной эмоции в тексте. Суммируя интенсивность всех положительных эмоций, мы получили общую интенсивность таких эмоций в тексте, как описано в таблице 1 ниже.

Таблица 1 описывает положительные эмоции в тексте до выявления отрицания

Эмоции	Положительные эмоции в тексте		
	<i>Частота</i>	<i>Масса</i>	<i>Интенсивность</i>
Доверие	15	3	45
Восхищение	10	4	40
Интерес	9	2	18
Удивление	5	3	15
Принятие	4	2	8
Радость	5	2	10
Всего	48		136

Из приведенного выше анализа можно наблюдать наиболее часто встречающиеся положительные эмоции в тексте. Мы суммировали частоты всех положительных эмоций, чтобы получить общую частоту положительных эмоций в тексте. Таким же образом мы выявили отрицательные эмоции в тексте, подсчитали их частоту и идентифицировали вес.

Умножая частоту эмоции на ее вес, мы наблюдали интенсивность конкретной эмоции в тексте. Суммируя интенсивность всех отрицательных эмоций, мы получили общую интенсивность отрицательных эмоций в тексте, как описано в таблице 2.

Таблица 2 представляет отрицательные эмоции в тексте

Эмоции	Отрицательные эмоции в тексте		
	<i>Частота</i>	<i>Масса</i>	<i>Интенсивность</i>
Печаль	6	3	18
Ожидание	4	3	12
Отвращение	4	3	12
Скука	2	2	4
Отвлечение	2	2	4
Всего	18		50

Результат приведенного выше анализа показывает частоту появления отрицательных эмоций в тексте. Суммируя все отрицательные эмоции в тексте, мы можем получить общую частоту отрицательных эмоций в тексте. Таким же образом мы можем рассчитать общий вес и значения отрицательных эмоций в тексте. Можно заметить, что количество отрицательных эмоций, их частота и вес составляют менее половины веса положительных эмоций в тексте. На втором этапе мы идентифицировали отрицания в тексте и, наблюдали их влияние на полярность эмоций. Было замечено, что сила положительных эмоций в тексте уменьшается. Снижение силы добавляется к силе отрицательных эмоций. В ходе анализа наблюдалось снижение интенсивности каждой положительной эмоции в тексте. Уменьшение интенсивности каждой эмоции добавляется к противоположной отрицательной эмоции при расчете полярности текста. Новые интенсивности негативных эмоций в тексте представлены ниже в таблице 3.

Таблица 3 Отрицательные эмоции в тексте после выявления отрицаний из текста

Эмоции	Оригинальная отрицательная полярность		
	<i>Частота</i>	<i>Масса</i>	<i>Интенсивность</i>
Печаль	6	3	18
Ожидание	6	3	18
Отвращени	7	3	21
Скука	2	2	4
Отвлечение	6	2	12
Всего	27		73

Из приведенного выше анализа можно наблюдать наиболее частые негативные эмоции в тексте. Можно заметить, что сила отрицательных эмоций в тексте увеличена с 50 до 73. Мы видим, что сила негативных эмоций увеличивается в тексте. Это увеличение силы влияет на общее положительное и отрицательное соотношение эмоций в тексте.

Заключение

Проведя анализ влияния отрицаний на эмоции из текста с использованием Кластеризации и колеса эмоций Плутчика, было выявлено, что отрицание влияет на полярность эмоций, проанализированных в тексте. Подсчета частоты положительных и отрицательных эмоций из текста недостаточно для определения полярности документов. Применяемая методология помогает сохранить семантику текста при анализе эмоций из него. Мы обнаружили, что роль уже проверенных теорий, таких как колесо эмоций Плутчика, может помочь более точно анализировать текст в контексте существующих в нем эмоций. В нашей работе используется метод анализа данных для анализа статистики полярности в тексте. Эта работа может быть расширена за счет увеличения объема текста и изменения типа текста, используемого для эксперимента. Кроме этого, существующие работы дают основу для анализа полярности текста в новом спектре.

Список литературы

1. *Robert P.* (1980). *Emotion Theory*, eds. *Research and experience: Theories of emotion*, New York Academic. Vol. 1.
2. *Abbasi M.M., Beltiukov A.P.* (2019). Summarizing Emotions from Text Using Plutchik's Wheel of Emotions // *Advances in Intelligent systems research*, In *Proceedings of the 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS)*. Atlantis press, vol. 166, pp. 291-294.
3. *Ashmita S., Ruhi B.* (2015). Auto Text Summarization with Categorization and Sentiment Analysis // *International Journal of Computer Applications*, 130(1), 7-10.
4. *Maryam K., Mohammad N. D., Sayed M. S.* (2012). A Novel Method of Significant Words Identification in Text Summarization. // *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, 4(1), 212-217.
5. *Fachrian A., Arif D.* (2017). Improving the Performance of Repeated Character Preprocessing in Recognizing Words in the Indonesian Sentiment Classification // *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 1(1), 1-9.
6. *Pronoza E., Yagunova E.* (2015). Comparison of sentence similarity measures for Russian paraphrase identification. // *Artificial Intelligence and Natural Language and Information Extraction, Social Media and Web Search FRUCT Conference (AINL-ISMW FRUCT)*, 1(1), 74-82.
7. *Cecilia O.A., Dan R., Richard S.* (2005). Emotions from text: machine learning for text-based emotion prediction. // In *Proceedings of the 5th conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing*. Canada. 576-586.
8. *Stone P.J., Dunphy D.C., Smith M.S.* (1966). *The General Inquirer: A Computer Approach to Content Analysis* / MIT Press - Cambridge, 519p.
9. *Wiebe, Janyce M.* (1990). Identifying Subjectivity characters in Narrative // *Proc. 13th International Conference on Computational Linguistics*. Helsinki, pp. 401-408.
10. *Vasileios H., Kathleen R.M.* (1997). Predicting the Semantic Orientation of Adjectives // *Proc. 8th Conference on European chapter of the Association for Computational Linguistics*. Spain, pp 174-181.

05.13.01

В.И. Ампилов канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра прикладной информатики,
Москва, via69@mail.ru

СИСТЕМА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПОВ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ И ЧЕРТЕЖЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Статья посвящена вопросам разработки дидактических компонент системы управления данными об изделии. Предлагаемая информационная среда может рассматриваться как средство методической поддержки этапов конструирования и изготовления машиностроительных деталей сложной структуры и формы. Представлен алгоритм применения методических материалов в обучающей системе.

Ключевые слова: информационная среда, методические компоненты, электронные модели деталей, электронная документация.

Объектом исследования является процесс формирования электронных моделей типовых деталей и электронных чертежей. Предмет исследования – технология создания чертежа и 3D модели в среде Solid Edge. Целью данного исследования является разработка системы и обоснование её эффективности в процессе обучения и повышения квалификации специалистов.

Для выполнения поставленной цели в работе решена следующая исследовательская задача: разработана подсистема подготовки технической документации с элементами обучения, содержащая электронные модели деталей разных типов (теоретические материалы, чертежи технологических переходов и 3D модели).

Практическая значимость данной работы состоит в разработке дидактического компонента системы информационного и обучающего плана в среде Solid Edge.

Указанная система включает:

1. Справочные материалы по ЕСКД;
2. Материалы, раскрывающие технологические процессы изготовления типовых машиностроительных деталей;
3. Обучающие материалы;
4. Материалы контроля и оценки знаний, полученных в процессе обучения.

Структура системы построена таким образом, чтобы специалист, использующий ее, мог получить интересующие его сведения, затратив наименьшее время. Система не обязательно должна быть, привязана к среде разработки Solid Edge. Все чертежи и модели, хранящиеся в системе, можно открыть в любой другой среде моделирования.

К основным требованиям, предъявляемым к системе, следует отнести: открытость, возможность многопользовательского доступа, соответствие современным требованиям и тенденциям в разработке программного обеспечения. Система должна предоставлять простой и понятный интерфейс, в котором пользователь может легко освоиться; предоставлять доступ к разнообразным материалам учебного, справочного и информационного характера. Информационная среда должна быть адаптирована для применения на различных платформах. Разработанная по результатам исследования система дидактической поддержки этапа создания электронной конструкторско-технологической документации удовлетворяет всем предъявляемым требованиям.

Инструментом разработки является Open Server – это удобная и продуманная система, созданная для веб-разработчиков. Она включает в себя большое количество серверного ПО, которое необходимо при разработке веб-сайтов любой сложности, обладает большими возможностями по администрированию и настройке компонентов; инструмент широко используется в разработке, отладке и тестировании веб-проектов, а также для предоставления веб-сервисов в локальных сетях.

Все манипуляции и управление функциональностью веб-сервера производятся из контекстного меню посредством указания на соответствующие пиктограммы. Благодаря тому, что для системы не нужны никакие установочные файлы, доступ к системе может получить любой желающий на любом компьютере, который подключен к сети интернет.

После перехода по адресу пользователь попадает на главную страницу системы. На главной странице представлена классификация машиностроительных деталей, в основу которой положены геометрические, конструктивные и технологические признаки [1].

Для перехода к учебным материалам нужно нажать на название вида деталей, например: зубчатые колеса, валы, литейные детали. После перехода открывается описание способов изготовления выбранного типа деталей, например, ступенчатый вал (Рис.1).

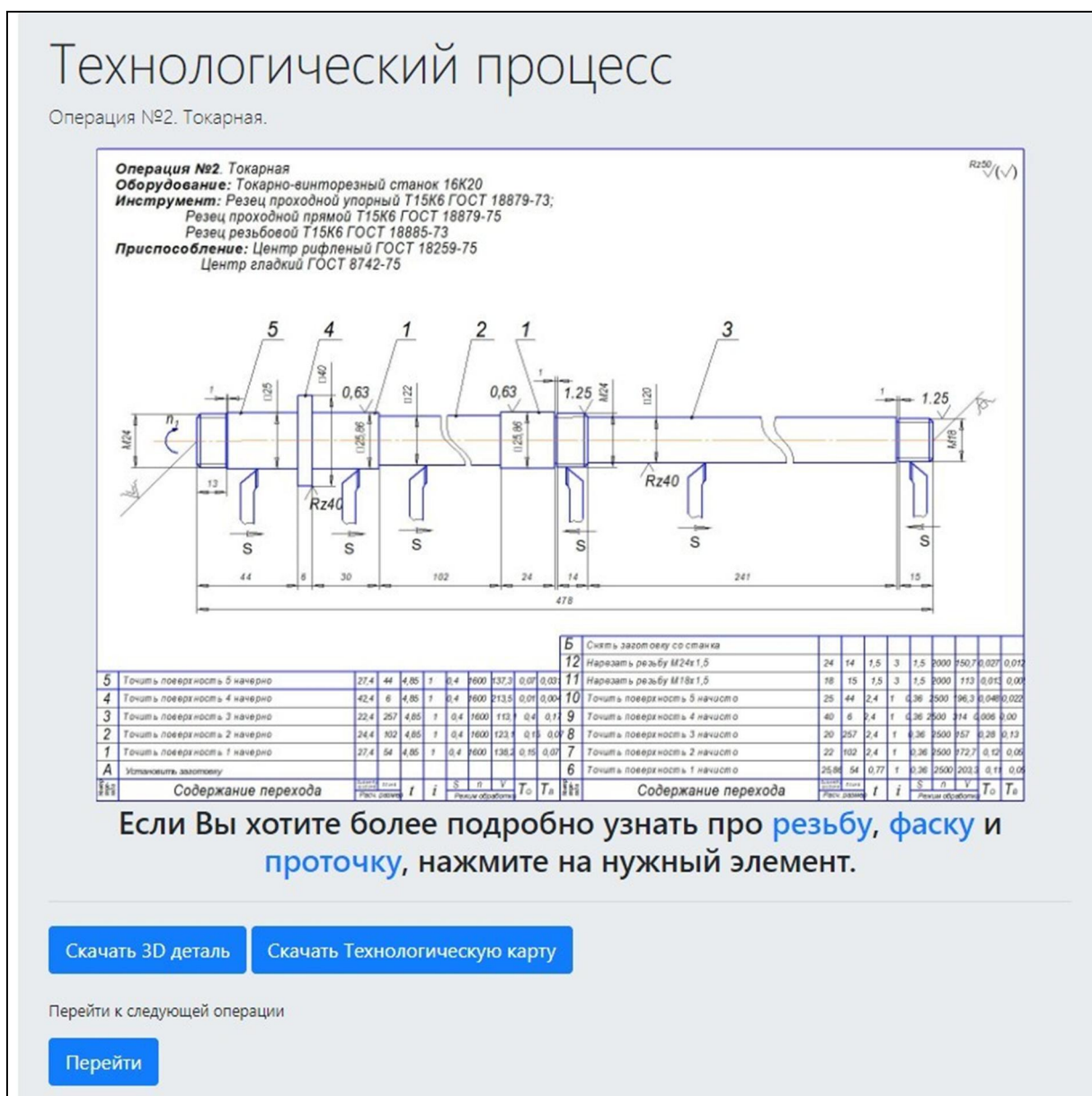


Рис. 1-Токарная операция

Изготовление ступенчатого вала состоит из нескольких технологических операций, которые отражаются в таблице маршрутной технологии: заготовительная, фрезерно-центровальная, токарная, фрезерная, шлифовальная и контрольная операция- контроль всех диаметров и длин, параметров резьбы, шпоночных пазов. Они сопровождаются электронными чертежами, на которых обозначаются размеры обрабатываемых участков детали на каждом технологическом переходе.

В результате выполнения фрезерно-центровальной операции будут установлена длина вала, что найдет отражение на чертеже. На следующем переходе будут выполняться токарные операции, в результате чего составятся размерные цепи цилиндрических участков поверхностей разного диаметра. Здесь необходимо обозначить фаски и проточки, которые необходимы по технологическим соображениям, а также обозначить резьбу. Таким образом, на чертежах технологических операций от заготовки до готовой детали увеличивается количество размеров. Они обозначают те элементы, которые обрабатываются на данном шаге (переходе).

Для того чтобы пользователь мог более подробно ознакомиться с каждым элементом, который добавляется на чертеже, были разработаны дидактические материалы по таким элементам, как резьба, фаска, проточка, шпоночный паз. Если перейти по ссылке, относящейся к слову «фаска», откроется страница, на которой приведена подробная информация о назначении фаски, применении, правилах нанесения размеров фасок на валах и в отверстиях. Нажав на кнопку «Вернуться», пользователь возвращается к токарной операции и продолжает работу с чертежами.

После окончания обучения пользователю предлагается: пройти тестирование, ознакомиться с нормативной документацией, перейти в электронную библиотеку или пройти обучение заново.

Для контроля полученных знаний в процессе изучения технологического процесса детали типа «вал», целесообразней использовать такую форму контроля, как тестовые задания с выбором ответов из нескольких предложенных вариантов.

Данный метод позволяет в удобной форме определить, усвоен ли материал. Систематическая проверка знаний способствует осознанному изучению материала. При подобном тестировании обеспечиваются равные условия обучения для всех.

Тесты содержат 6-10 вопросов с 4-5 вариантами ответов, в которых один является правильным. Для проверки, усвоил ли пользователь информацию, разработан тест из шести базовых вопросов по темам, рассмотренным в технологическом процессе. При нажатии на кнопку «Начать тестирование» пользователь попадает на стартовую страницу теста

После нажатия на кнопку «Приступить к тесту» начинается отсчет затраченного времени и открывается первый вопрос (Рис.2).

The screenshot shows a web-based test interface. At the top, there is a navigation bar with links: Главная, Классификация, Нормативная документация, Электронная библиотека. Below this, a timer displays 'Затрачено времени: 17 сек'. The main question is 'На какие два вида разделяется объёмная штамповка'. There are five radio button options: 'мокрая, сухая', 'горячая, холодная', 'твёрдая, жидкая', 'горячая, мокрая, твёрдая', and 'Начать сначала' (highlighted in blue).

Рис. 2-Тестовые вопросы

Если пользователь понимает, что на данный момент тест слишком сложный, он может вернуться к обучению, нажав на кнопку «Начать сначала». После окончания теста, пользователю будет предоставлен результат.

Раздел «Нормативная документация» представляет собой библиотеку ГОСТов по ЕСКД. При выборе нужного документа, он откроется в новом окне в формате pdf. Таким образом, пользователю предоставляется набор документов, которыми он должен руководствоваться в процессе создания технической документации.

В «Электронной библиотеке» собраны книги для обучения и чертежи с 3D моделями. Предоставляется возможность скачать все чертежи и 3D модели одним архивом для более детального изучения.

Список литературы

1. *Ампилов В.И., Лестева А.А.* Автоматизированная система подготовки технической документации с элементами обучения в среде SolidWorks Enterprise PDM / Научно-технический вестник Поволжья, 2013, -№6-с. 108-112.
2. *Ампилов В.И.* Дидактические компоненты системы подготовки электронных рабочих чертежей деталей / Научно-технический вестник Поволжья, 2014, -№6-с. 62-64.

05.13.01

¹В.В. Андреев д-р техн. наук, ²Н.Г. Андреев, ¹Ж.В. Гладкова,
¹Е.В. Панина, ¹В.В. Слюсарь

¹Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова,
кафедра Ядерные реакторы и энергетические установки,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru,

²АО «ОКБМ Африкантов»,
Нижний Новгород, andrejev@mail.ru

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ НЕЙТРОННОГО КОНВЕРТЕРА

В статье представлены результаты оптимизации конструкции нейтронного конвертера. Рассмотрены 25 вариантов конструкции, отличающихся друг от друга материалами биологической защиты и замедлителя. Выполненный анализ позволил оценить качество реализованного практически варианта конструкции.

Ключевые слова: нейтронный конвертер, замедлитель, биологическая защита, нейтроны, нейтронный поток.

В рамках проектно-ориентированного обучения в НГТУ им. Р.Е. Алексеева студентами ИЯЭиТФ выполнено расчетно-теоретическое обоснование оптимального варианта конструкции нейтронного конвертера (НК) (рис. 1). Лабораторная установка – нейтронный конвертер предназначена для выполнения учебных и научно-исследовательских работ, укомплектована плутоний-бериллиевыми источниками ионизирующего излучения и имеет широкий спектр применения. Нейтронный конвертер представляет собой устройство для конвертирования потока быстрых нейтронов спектра деления, излучаемых изотопными источниками, в поток нейтронов с известными параметрами плотности потока в центральной части установки [1].



Рис. 1 – Лабораторный комплекс «Нейтронный конвертер»

Объектом исследования в настоящей работе является взаимодействие нейтронного излучения с веществом в процессе замедления. Цель исследования заключается в оптимизации конструктивных и нейтронно-физических свойств НК. Для расчета уровней излучения за биологической защитой был использован ряд расчетных и визуализирующих программ [1,2]. В ходе проведения оптимизационных расчетов были выбраны калифорниевый и плутониево-бериллиевые источники мощностью $2 \cdot 10^8$ н/с и $5 \cdot 10^5$ н/с.

В качестве материалов защиты рассматривались бетон, графит, вода, парафин, вазелин, гидриды титана, сталь, сыпучая смесь. Результаты расчетов для 25 вариантов представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты расчетов толщин слоев биологической защиты для 25 вариантов конструкций нейтронного конвертера

1	Тип источника		Материал защиты (толщина слоя, см)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ п/п	Pu-Be	Cf	бетон	графит	вода	полиэтилен	парафин	вазелин	гидрид титана	сталь	сыпучая смесь
1		+		51,5			27,2				
2		+		5,35	80,35						
3	+		45	5							
4		+									97,15
5	+								30		
6	+			50					5		
7	+		48								
8	+			15			25				
9	+						6				40
10	+				46						
11		+		20		45				8	
12	+						40				
13	+					35					
14	+			19,85				27,35			
15	+			19,85	27,35						
16		+				52,5				5	
17	+										64,35
18		+			56						
19		+					52,5			5	
20	+							39			
21		+							53,5		
22		+					6		34		
23		+	43,5								
24		+		25				59			
25		+	50	42							

Аналогичным образом были произведены расчеты толщин замедлителя, необходимых для достижения максимального потока тепловых нейтронов в области «рабочей» воздушной полости.

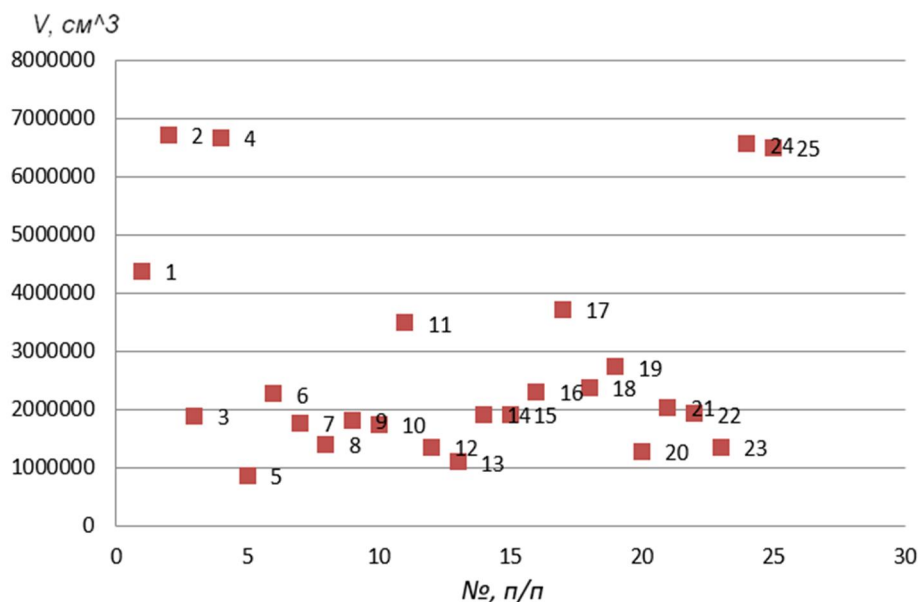


Рис. 2 – Результаты расчета объема биологической защиты

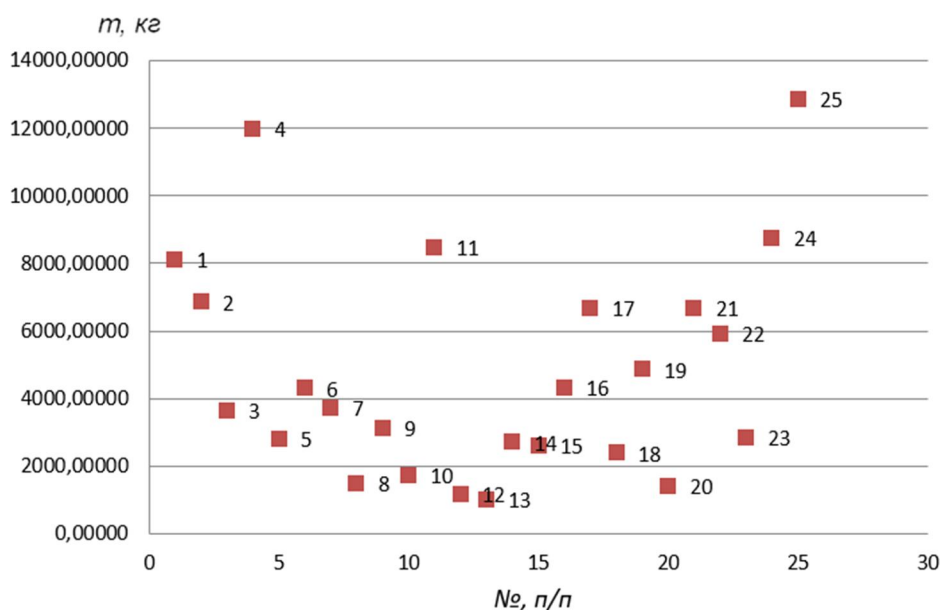


Рис. 3 – Результаты расчета массы биологической защиты

Калифорниевый источник излучает в области энергий в интервале от 1 до 3 МэВ, а в плутониево-бериллиевом источнике определяющая доля нейтронов излучается в жестком спектре (3-8 МэВ). Таким образом, калифорниевый источник характеризуется более мягким спектром по сравнению с плутониево-бериллиевым источником.

Все варианты конструкции биологической защиты разрабатывались исходя из требований НРБ-99/2009 [3,4] для безопасной эксплуатации персоналом группы Б, а именно студентами и лаборантами кафедры.

Суммарное значение мощности эквивалентной дозы излучения на поверхности конвертера не превышает 1.25 мкЗв/ч [3,4]. Выбор составов замедлителя обусловлен максимальным значением плотности потока нейтронов в центре рабочего канала для каждого из вариантов.

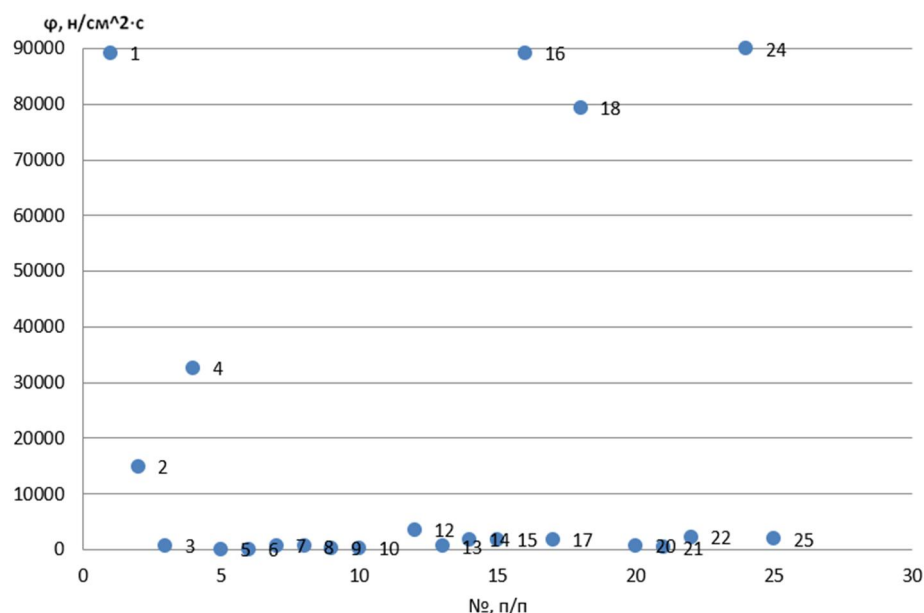


Рис. 4 – Поток нейтронов в центре рабочего канала

При обосновании выбора типа источника излучения и конструкции нейтронного конвертера учитывались ценовые показатели устройства в целом. В ходе анализа спектра возможных вариантов нейтронного конвертера было определено, что наиболее сбалансированным с точки зрения удовлетворения рассмотренным критериям оптимизации, является конструкция с источником типа ИБН-6 мощностью $5 \cdot 10^5$ н/с, материал биологической защиты – бетон, материал замедлителя – бетон и полиэтилен (рис. 2-4).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, Грант № 19-07-00455

Список литературы

1. Андреев, В.В. Обоснование радиационной безопасности нейтронного конвертера на всех этапах жизненного цикла в рамках проектно-ориентированного обучения студентов НГТУ им. Р.Е. Алексеева / В.В. Андреев, Н.Г. Андреев, К.Г. Галстян, С.Л. Леванов // Научно-технический вестник Поволжья. № 3, 2019. – С 99-101.
2. Источники нейтронного излучения [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.isotop.ru/files/treecontent/nodes/attaches/0/96/noname..pdf>, свободный. – Дата обращения: [06.11.2017]- 13 листов.
3. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902170553>, свободный. – Дата обращения: [07.12.2010] – 70 листов.
4. Белл, Д., Глессстон, С. Теория ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1974. – 494с.

05.13.01

О.В. Андреева канд. техн. наук, Я.С. Антонова, В.В. Андреев д-р техн. наук

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики имени академика Ф.М. Митенкова,
кафедра Ядерные реакторы и энергетические установки,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ОБ УСЛОВИЯХ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ОБОБЩЕННОГО АНАЛИЗА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье рассмотрена проблема восстановления информации об условиях испытаний на усталость металлических материалов, испытывающих циклические нагрузки в условиях различных комбинаций действующих факторов, и представлены пути ее решения с помощью методов обобщенного анализа и нейросетевого моделирования. Описано программное обеспечение, разработанное для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: *усталость металлов, прогнозирование, расчетные программы.*

Процесс постепенного накопления повреждений в материале детали или конструкции под действием периодически действующей нагрузки, зарождения, развития и распространения трещины с последующим разрушением рассматриваемого объекта принято называть по аналогии с человеческим организмом – усталостью металла.

Традиционное моделирование функций какой-либо технической системы заключается в поиске таких аналитических зависимостей, которые бы на имеющемся (часто ограниченном) пространстве входных переменных позволяли бы получать с заданной степенью точности множество выходных переменных – откликов системы. Эти аналитические зависимости, как правило, имеют ограниченный характер, применимы к узким диапазонам значений входных параметров (факторов) и при смене не только исследуемого объекта, но и при переходе в другой диапазон входных переменных требуют значительных усилий по своей “перенастройке”, приспособлению к новым условиям. Одним из способов решения проблемы поиска способов построения универсальных зависимостей, связывающих между собой искомые показатели сопротивления усталости и действующие факторы, может служить привлечение методологии обобщенного анализа [1]. Как известно из работ Гухмана А.А. основной целью обобщенного анализа является поиск такой формы представления параметров задачи, которая бы позволяла получать наиболее удобную и наглядную форму для ее исследования. Очевидно, что подобное преобразование – переход представляет практический интерес в том случае, когда наличие связи между параметрами рассматриваемой задачи обоснованно предполагается и подтверждается какими-либо косвенными способами. Рассматривая графические результаты исследования явления и изучив ряд работ ученых-материаловедов (Трощенко В.Т., Гребенник В.М., Шетулов Д.И., например, [2]), выделяющих в качестве специфического, по своим свойствам, параметра сопротивления усталости - угол наклона кривой усталости к оси числа циклов нагружения в логарифмической системе координат, были выбраны форма представления и набор параметров сопротивления усталости наиболее интересных и перспективных с точки зрения получения именно таких обобщенных параметров. Были рассмотрены кривые усталости, имеющие при определенных условиях характерную точку в многоцикловой области усталости – предел выносливости. Координаты предела выносливости тесным образом связаны с совокупностью действующих факторов, однако эта связь представляет собой сложную неоднозначную зависимость, причем с противоположными тенденциями для разных показателей сопротивления. Учитывая, что структурно-чувствительный показатель

сопротивления усталости представляет собой относительную характеристику, было решено искать аналогичные по структуре параметры и для остальных показателей сопротивления усталости. Так были получены относительные показатели сопротивления усталости – приведенные показатели сопротивления усталости [3].

Использование приведенных показателей сопротивления усталости в различных формах представления позволяет получить удобную для исследования форму графического представления кривых усталости в приведенных системах координат.

Интеллектуальные системы на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяют с успехом решать проблемы распознавания образов, выполнения прогнозов, оптимизации, ассоциативной памяти и управления. Более традиционные подходы к решению этих проблем не обладают необходимой гибкостью за пределами множеств, определенных обучающими выборками.

Под искусственной нейронной сетью понимается некоторое вычислительное устройство обработки информации, состоящее из большого числа параллельно работающих простых процессорных элементов – нейронов, связанных между собой линиями передачи информации – связями или синапсами. Процесс обучения нейронной сети заключается в необходимости настройки ее таким образом, чтобы для некоторого множества входов давать желаемое (или, по крайней мере, близкое) множество выходов. В нашем случае обучающая выборка – это таблица с результатами кодирования действующих факторов и значений показателей сопротивления усталости в виде текстового файла.

Оптимизация нейронной сети направлена на уменьшение объема вычислений при условии сохранения точности решения задачи на требуемом уровне.

Для создания и обучения искусственной нейронной сети использовались следующие типы искусственных нейронных сетей: сеть Ворда, нейронная сеть с общей регрессией с генетическим алгоритмом подстройки весов скрытых и выходных слоев, ИНС с обходными соединениями, трёхслойная нейросеть со стандартными соединениями.

Задача, для решения которой в нашем случае разрабатывается ИНС, заключается в подборе (восстановлении) комбинации действующих на деталь или конструкцию факторов, приведших к получению известных к началу решения задачи показателей сопротивления многоциклового усталости (предел выносливости – σ , абсцисса точки перегиба кривой усталости – число циклов нагружения, структурно – чувствительный показатель – угол наклона левой ветви кривой усталости к оси числа циклов нагружения).

В результате выполненного нами исследования получено, что эффективными стратегиями обучения будут следующие:

1. показатели сопротивления усталости должны быть предъявлены ИНС в приведенной форме, то есть в виде безразмерных параметров, образующих практически функциональную зависимость;

2. точность восстановления (ожидаемый результат) зависит от соотношения входов (известных параметров сопротивления усталости – N , σ , $\lg \alpha$) и выходов (кодированное значение соответствующего фактора) ИНС.

Применяемый для восстановления информации алгоритм выглядит следующим образом. На первом этапе из имеющейся информации об усталости металлов формируется некоторая «база знаний», которая в дальнейшем применяется как обучающая выборка для ИНС. Следующий шаг – обеспечение возможности применения обученной нейронной сети, то есть написание программного продукта, позволяющего работать с автономным файлом обученной нейронной сети. За этим следует непосредственное применение программы, то есть восстановление информации об усталости металлов и «воспроизведение» стандартных показателей сопротивления усталости из полученных от сети приведенных показателей. Оптимизировав тип сети и форму использования показателей сопротивления усталости, мы столкнулись с необходимостью выбора оптимального алгоритма восстановления информации в удобной для пользователя форме из приведенных аналогов. Оптимизация данного алгоритма направлена на получение минимальной погрешности при восстановлении

и заключается в следующем. На выходе ИНС мы можем получить различные группы приведенных показателей, содержащие 3 (приведенный предел выносливости, приведенное число циклов нагружения, приведенный тангенс угла наклона левой ветви кривой усталости к оси числа циклов нагружения), 2 (приведенный тангенс угла наклона и обобщенный параметр, который получается путем свертки двух приведенных параметров – приведенной прочности и приведенной долговечности), 1 (приведенный тангенс угла наклона, зная который в дальнейшем можно перейти к одной из указанных выше ветвей исследования). При этом, очевидно, что ошибка (погрешности, выдаваемой сетью на тестовом наборе данных), получаемая при обучении ИНС, имеющей на выходе один параметр (приведенный тангенс угла наклона) будет наименьшей.

Как прогнозирование показателей сопротивления усталости по совокупности действующих факторов (прямая задача) прогнозирования, так и восстановление информации об условиях на основе показателей сопротивления усталости – сложная задача, связанная с взаимодействием факторов и неоднозначным характером поведения системы при данном виде нагружения.

Обратная задача возникает при необходимости вынесения заключений в рамках выполнения экспертиз о штатном (расчетном) характере действовавших на систему нагрузок, а также в случае необходимости «разнесения» в существующих базах данных информации о конкретной кривой усталости в случае неполного описания условий ее получения, при выполнении экспертных оценок и т.д. Обратная задача осложнена также и тем, что одни и те же показатели сопротивления усталости – тот же, например, предел выносливости усталости – могут быть получены при разных комбинациях действующих факторов. Однако решение обратной задачи возможно, поскольку построение обобщенных зависимостей и их исследование свидетельствует, что возможно рассмотрение следующей модели: действующие факторы, формируя индивидуальный характер поведения материала при циклическом нагружении, в каждой конкретной ситуации определяют конкретное значение угла наклона кривой усталости, а его величина, определяя конкретный вид кривой усталости, обуславливает определенные значения координат точки перегиба (физического предела выносливости) и точек на левой ветви кривой усталости – ограниченных пределов выносливости. Наличие такой связи между параметрами сопротивления усталости позволяет, базируясь на накопленных к настоящему времени экспериментальных данных реализовать методику «восстановления» описания информации (качественного и количественного характера) о совокупности действующих факторов приведших к наблюдаемым показателям сопротивления усталости.

Разработана программа восстановления информации об условиях испытаний на усталость с использованием искусственных нейронных сетей. Работа пользователя с программой строится следующим образом: пользователь вводит значения параметров сопротивления усталости $N, \sigma, \operatorname{tg} \alpha$ и, нажав кнопку “Применить нейросеть”, получает восстановленные значения факторов (условий), при которых проводились испытания на усталость.

Список литературы

1. Гухман А.А., Зайцев А.А. Обобщенный анализ.- М.: Факториал, 1998.-304с.
2. Троценко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов.- Киев: Наук. Думка, 1987.-1303с.
3. Andreev V., Andreeva O. Generalization of Experimental Information and identification of Patterns in the Behavior of Metals and Alloys under Fatigue Loading Based on the Mapping of Fatigue Curves into Reduced Spaces. GraphiCon 2019.- Computer Graphics and Vision. Proceedings of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision.- pp.256-260

05.13.01

¹О.В. Андреева канд. техн. наук, ²Ю.С. Тарасова, ¹Д.В. Тоскин

¹Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики имени академика Ф.М. Митенкова,
кафедра Ядерные реакторы и энергетические установки,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru,

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»,
Факультет архитектуры и дизайна,
кафедра промышленного дизайна,
Нижний Новгород, tar06@list.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ СКОПЛЕНИЙ ОБЛАКОВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ СО СПУТНИКА

В рамках данной работы была написана модель нейронной сети для классификации 4 типов скоплений мелких облаков (сахар, цветок, рыба, гравий). В качестве метрики для оценки точности классификации обученной сети был выбран коэффициент Дайса. Точность распознавания и классификации скоплений составила 58% (0.58377), которая оказалась достаточно высока в сравнении с лучшими результатами других исследователей.

Ключевые слова: классификация, облака, скопления маленьких облаков, нейронные сети, изображения со спутника.

Введение

Скопления мелких облаков играют большую роль в формировании климата на Земле (например, отражение солнечного света, что замедляет процесс глобального потепления). Они также трудны для понимания и для представления в моделях климата из-за постоянного движения и из-за того, что границы скоплений постоянно меняются. Облака могут по-разному сгруппироваться, но рамки между разными типами сгруппированных облаков очень тонки. Это затрудняет построение обычных "стандартных" алгоритмов для классификации типов скоплений облаков.

Существующие исследования в данной области говорят о том, что нейронные сети являются наиболее подходящим алгоритмом построения модели классификации. В работе [1] ИНС достигали показателей 99.01%, 88.79%, 90.74% и 98.51% для морских, густых перьевых, грозовых и горных облаков соответственно. В статье [2] были рассмотрены несколько методов (L-decov network, Adaboost и RandomForest) в связке с U-net моделью и сжатием изображений. Связка была протестирована для использования на небольших спутниках для обнаружения облаков. Удалось добиться точности выше 95%, а скорость его обработки ускорилась до 0,055 секунды на миллион пикселей при снижении максимально затраченной памяти до 2 Мб. В исследовании [3] для решения проблем обнаружения и классификации облаков был использован оптимальный радиально-базисный нейронный сетевой (ORB-NN) классификатор. Была оценена производительность описанного классификатора ORB-NN, который показал общую точность 97,37%: 95,66% для низкоуровневых облаков, 98,77% для среднеуровневых облаков и 93,33% для высокоуровневых облаков.

Для построения модели классификации в данной работе использовалась база снимков со спутников, где на каждом снимке изображены скопления из заранее составленных 4 классов (сахар, цветок, рыба, гравий) [4]. Пример снимков из использованной базы представлен на рис. 1.

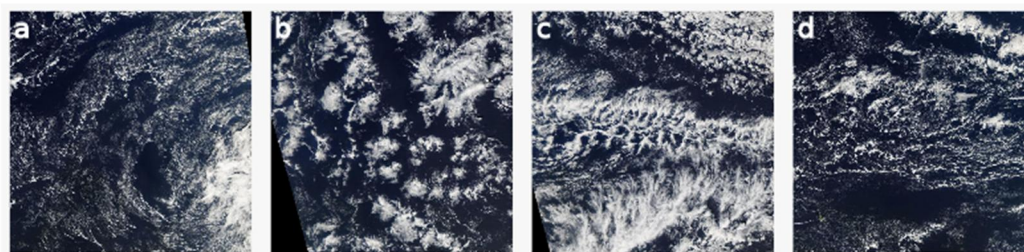


Рис. 1 – Классы скопления облаков, выявленные учёными
(a - сахар, b - цветок, c - рыба, d - гравий)

Методология

Для оптимизации работы было принято решение построить алгоритм для автоматической классификации облаков на языке Python. В качестве архитектуры модели была выбрана модель Linknet [5] (модель, использующая ограниченное число параметров, повышая за счёт этого производительность). Начальный блок содержит слой свертки с размером ядра 7x7 и шагом 2; за ним следует слой максимального пула размером окна 2x2 и шагом 2. Аналогичным образом, последний блок выполняет полную свертку, беря карты объектов от 64 до 32, а затем 2D-свертку. Наконец, используется полная свертка в качестве классификатора с размером ядра 2x2.

Для обучения и оценки сети считается коэффициент Дайса (Dice coefficient), который показывает меру сходства. В рамках текущей задачи данный коэффициент показывает меру площади правильно отмеченных натренированных масок и масок, данных изначально (отношение площади пересечения к площади объединения).

$$DSC = \frac{2|X \cap Y|}{|X| + |Y|}$$

где X – предсказанный набор пикселей, Y – истинный набор пикселей.

Чтобы уменьшить размер обучающего и выходного файла (с записями координат для отрисовки масок), были использованы кодированные значения пикселей. Вместо того чтобы записывать каждый индекс для сегментации, была отправлена пара значений, стартовая позиция и занимаемое количество пикселей. Пример: «1 3» означает старт с первого пикселя и закрашивание трёх пикселей (1,2,3) (рис. 2).

	Image_Label	EncodedPixels
0	0011165.jpg_Fish	264918 937 266318 937 267718 937 269118 937 27...
1	0011165.jpg_Flower	1355565 1002 1356965 1002 1358365 1002 1359765...
2	0011165.jpg_Gravel	NaN
3	0011165.jpg_Sugar	NaN
4	002be4f.jpg_Fish	233813 878 235213 878 236613 878 238010 881 23...

Рис.2 – Пример записи координат положения типа облака

С целью увеличения объема обучающей выборки были применены следующие подходы аугментации: отражение по горизонтали, отражение по вертикали, случайный поворот на 90 градусов, эластичная трансформация, сжатие, вытягивание, обтекание.

Результаты полного обучения представлены в таблице 1

Таблица 1 – результаты обучения

1 класс			2 класс		
Threshold	Size	Dice	Threshold	Size	Dice
0.85	10000	0,531799	0.45	10000	0.738229
0.9	10000	0,530280	0.65	10000	0.737748
0.9	5000	0,522895	0.50	10000	0.737522
0.95	10000	0,511712	0.60	10000	0.737254
0.95	5000	0,511712	0.55	10000	0.736578

3 класс			4 класс		
Threshold	Size	Dice	Threshold	Size	Dice
0.40	10000	0.525667	0.45	10000	0.547302
0.35	10000	0.524510	0.40	10000	0.544014
0.30	10000	0.523710	0.35	10000	0.543329
0.45	10000	0.519042	0.50	10000	0.542434
0.50	10000	0.512917	0.30	10000	0.539827

В Таблице 1: threshold – пороговое значение (смещение), в зависимости от которого определяется выходное значение нейрона в функции активации, size – оптимальное количество пикселей, содержащееся в натренированной маске, dice – коэффициент Дайса, зависящий от порогового значения.

На рис. 3 представлен график зависимости пороговое значение от коэффициент Дайса.

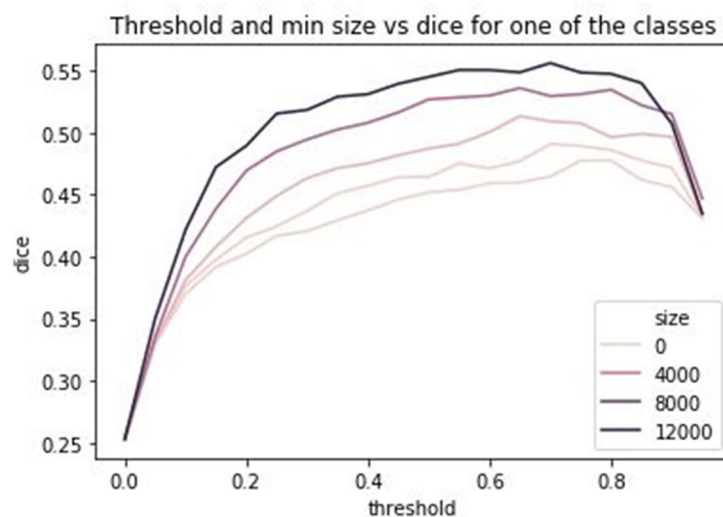


Рис. 3 – Определение наилучшего размера маски, дающей наибольший коэффициент Дайса

На рис. 4 представлены маски классификации, созданные обученной сетью.

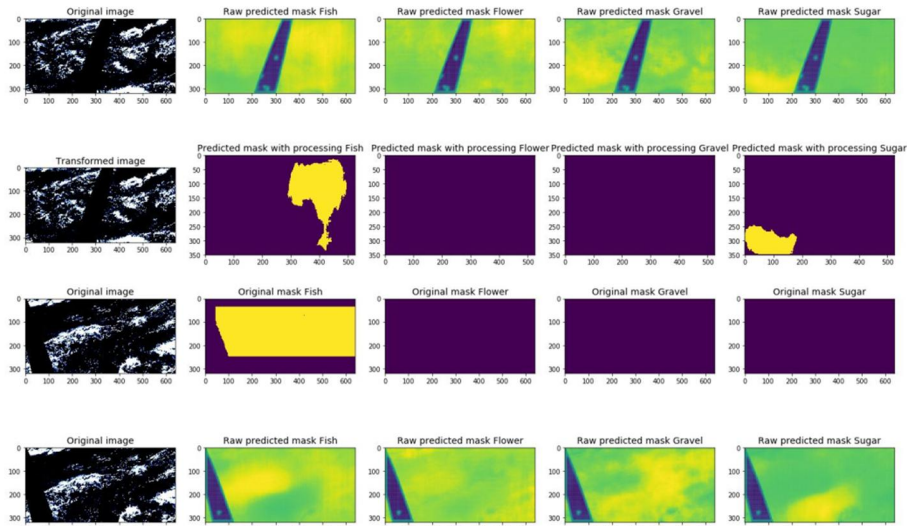


Рис. 4 – Маски классификации, созданные обученной сетью

После выбора наилучшей модели, формирования выходного .csv файла и расчета точности работы классификатора оказалось, что скопления сложно классифицировать, особенно различия между Sugar и Gravel, что показывает конечный результат классификации в 58%, который достаточно высок в сравнении с лучшими результатами других исследователей (67.136% на третьем месте, 67.167 на втором и 67.175 на первом). Архитектура LinkNet может подойти при выборе альтернатив, особенно если есть проблема с ресурсами и недостатком вычислительной мощности оборудования.

Список литературы

1. *Yu Liu, Jun Xia, Chun-Xiang Shi, Yang Hong* An Improved Cloud Classification Algorithm for China's FY-2C Multi-Channel Images Using Artificial Neural Network // *Sensors* – 2009, 9. – P. 5558-5579.
2. *Zhaoxiang Zhang, Akira IWASAKI Guodong Xu, Jianing Song* Small Satellite Cloud Detection Based On Deep Learning and Image Compression // *preprints.org*: сайт – URL: <https://www.preprints.org/manuscript/201802.0103/v1> (дата обращения 18.11.2019).
3. *Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox* U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. // Cornell University print archive 18.05.2015. URL: <https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf> (дата обращения 19.11.2019).
4. *Stephan Rasp, Hauke Schulz, Sandrine Bony, Bjorn Stevens* Combining crowd-sourcing and deep learning to explore the meso-scale organization of shallow convection. // Cornell University print archive 05.11.2019. URL: <https://arxiv.org/pdf/1906.01906.pdf> (дата обращения 20.11.2019).
5. *Abhishek Chaurasia, Eugenio Culurciello* LinkNet: Exploiting Encoder Representations for Efficient Semantic Segmentation. // Cornell University print archive 14.06.2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1707.03718.pdf> (дата обращения 18.11.2019).

05.13.01

О.В. Артюшкин канд. педагог. наук

Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники
и автоматизированных систем,
Абакан, artyshkin@khsu.ru

КОМПОНЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРУКТУРНО-ИДЕНТИФИКАЦИОННОМ СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ ЭРГАТИЧЕСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

В работе представлены результаты системного анализа структурно-компонентных моделей эргатических автоматизированных обучающих систем (ЭАОС) с использованием структурно-идентификационного подхода. Обосновано применение принципа структурно-идентификационного управления в системном анализе ЭАОС. Рассмотрены базовые понятия структурной идентификации: компонента системы, текущее и эталонное состояние системы, кортежная запись. Представлены в кортежном виде компонентные модели предметной области, модель обучающегося и модель автоматизированного обучения.

Ключевые слова: идентификация, системный анализ, кортеж, компонента, модель, эргатическая автоматизированная обучающая система.

Исследования процессов моделирования, проектирования, разработки и эксплуатации автоматизированных обучающих систем (АОС) с позиций системного подхода в настоящее время многоаспектного реформирования системы образования обладают высокой степенью актуальности. За последние годы зарубежными и отечественными научными коллективами и энтузиастами-одиночками разработано значительное количество различной предметной направленности АОС, программно-инструментальных средств дистанционного обучения, конструкторов электронных учебников и курсов, компьютерных тестирующих систем. На различных экспериментальных площадках реализуются инновационные проекты создания адаптивных и интеллектуальных АОС, которые лучше других учитывают потребности обучаемых, вариативность обучающих траекторий и наибольшей степени соответствуют принципам открытого образования. Наиболее популярными АОС в настоящее время являются Web Course Tools, Moodle, БиГОР, AST, ADI, ARTWeb, ACE, InterBook, CALAT, LISP-TUTOR, ELM-PE, ADIS и др.

Существенная особенность современных АОС – определяющие и четко выраженные человеко-машинные взаимодействия. Для разработки таких АОС, называемых эргатическими (ЭАОС) (*от греч. ergates – действующее лицо*) необходимо комплексно учитывать организационно-управленческие аспекты ключевого присутствия человека в АОС как со стороны обучающихся, так и со стороны обучающихся.

Одной из задач, возникающих при создании ЭАОС, является адаптация обучающегося, обучающего контента и многосценарной технологии обучения на основании текущего анализа качества освоения необходимого объема знаний конкретным обучающимся. Такие системы функционируют с использованием обратной связи с обучаемым и предназначены в первую очередь для определения уровня его знаний с целью организации адаптивного управления обучением. Построение аналитической модели ЭАОС предполагается из отдельных структурных компонент (*от лат. componentis – составляющая*), определяемых как объекты классического системного анализа, используемого при имитационном моделировании [1].

Поскольку в любой системе выделяется собственная структура, для ситуационного анализа ЭАОС целесообразно применить структурно-идентификационный подход, т.е. структурное описание (моделирование) вариантов динамических состояний компонент сложно-организованных систем. В терминологии ситуационного управления используемый структурно-идентификационный подход предоставляет возможности формализации процесса принятия результативных решений по управлению на основе идентификации структурных моделей вариативных (начальных, текущих и конечных) состояний компонент систем. Такую концепцию исследования сложно-организованных систем принято называть принципом структурно-идентификационного управления, или, сокращенно, S-принципом [2]. S-принцип нами используется в качестве базового принципа проведения структурно-идентификационного анализа ЭАОС. Его основу составляют понятия:

1. *Текущее состояние (ТС) системы* – совокупность значений, принимаемых компонентами системы в рассматриваемый момент времени функционирования.

2. *Эталонное состояние (ЭС) системы* – совокупность значений компонентов системы, являющиеся образцом и с которыми сравниваются значения ТС для определения степени достижения или соответствия.

3. *Структурная идентификация* – итерационный процесс установления через сравнение степени количественного соответствия контролируемых (статических и динамических) параметров ТС элементов (компонент) системы в рассматриваемые (в заранее определяемые) моменты времени необходимым значениям ЭС, устанавливаемым на входном уровне функционирования системы.

Для символического описания моделей исследуемых систем характерно использование кортежных записей, под которой понимается упорядоченная совокупность математических символов, описывающих структурно-функциональные особенности проектируемой системы [3]. В процессе кортежного моделирования создается системная многокомпонентная модель с составлением спецификации – полного перечня моделей ключевых компонентов, описывающих систему. В таком случае кортежная запись описываемой модели ЭАОС будет иметь следующий вид:

$$M_{\text{эаос}} = \langle \{M_{\text{по}}\}, \{M_{\text{об}}\}, \{M_{\text{ао}}\} \rangle, \quad (1)$$

где $M_{\text{эаос}}$ – обобщенная модель ЭАОС; $M_{\text{по}}$ – модель предметной области; $M_{\text{эрг}}$ – модель обучающегося; $M_{\text{ао}}$ – модель автоматизированного обучения.

Модель предметной области выстраивается совокупностью следующих компонент:

$$M_{\text{по}} = \langle \{ \{K_1 (Ф_1, O_1, C_1)\}, \{K_2 (Ф_2, O_2, C_2)\}, \{K_3 (Ф_3, O_3, C_3)\} \} \rangle, \quad (2)$$

где, K_1 – учебно-предметные материалы изучаемой предметной области (категории, термины, специальная лексика, тексты, схемы, таблицы, ссылки и др.), разбитые на дидактические единицы (темы, разделы, главы); K_2 – цели (установки, ориентиры) обучения, определяющие те элементы знаний предметной области, которые необходимо изучить; K_3 – совокупность компетенций (групп знаний, умений и навыков), являющаяся основанием для определения целей обучения; $Ф_1, Ф_2, Ф_3$ – функции компонент K_1, K_2 и K_3 ; O_1, O_2, O_3 – отношения (связи) компонент K_1, K_2 и K_3 в системе; C_1, C_2, C_3 – состояния компонент K_1, K_2 и K_3 в системе.

Адаптация в ЭАОС проходит по опыту обучаемого, его накапливаемым знаниям, траектории достижения целей и имеющимся предпочтениям [4]. Для осуществления этих возможностей введена **модель обучающегося** $M_{\text{об}}$, описываемая совокупностью следующих составляющих:

$$M_{\text{об}} = \langle \{ \{K_4 (Ф_4, O_4, C_4)\}, \{K_5 (Ф_5, O_5, C_5)\}, \{K_6 (Ф_6, O_6, C_6)\} \} \rangle \quad (3)$$

K_4 – персональная информация об обучающемся, характеризующая его как индивидуальность (имя, пол, характер, возраст, способности и др.) и описывающая входной, текущий, рубежный и результирующий уровни освоения знаний и умений; K_5 – цели обучающегося, определяемые при вхождении и корректируемые в процесс обучения; K_6 – история взаимодействия обучающегося с ЭАОС (последовательность взаимодействия обучающегося и системы, вопросы обучающегося системе и ее ответы, ответы

обучающегося на вопросы системы, допущенные обучающимся ошибки и действия обучающегося по их устранению и т.д.); $\Phi 4...6$, $O 4...6$, $C 4...6$ – соответственно функции, отношения и состояния компонент $K 4$, $K 5$ и $K 6$.

На каждом шаге обучения компоненты $Моб$ принимают новые значения. И по мере освоения одного за другим элементов знаний обучающего контента формируется полная модель обучаемого, т.е. текущее состояние модели обучающегося стремится к эталонной.

В модели автоматизированного процесса обучения присутствует компонент управляющих воздействий, функционирующий на основании выбора обучающимся сценария обучения (с жесткой или вариативной последовательностью изучения) и промежуточных (рубежных) результатов освоения образовательного контента [5].

Адаптивность и интеллектуальность ЭАОС в восприятии обучающей информации обеспечивается **моделью автоматизированного обучения** $Мао$, имеющая вид:

$$Мао = \langle \{ \{ K 7 (\Phi 7, O 7, C 7) \}, \{ K 8 (\Phi 8, O 8, C 8) \}, \{ K 9 (\Phi 9, O 9, C 9) \}, \{ K 10 (\Phi 10, O 10, C 10) \}, \{ K 11 (\Phi 11, O 11, C 11) \} \} \rangle \quad (4)$$

где, $K 7$ – множество изучаемых тем (разделов, глав, частей) обучающего контента; $K 8$ – множество практических заданий соответствующей тематики; $K 9$ – множество тестовых заданий соответствующей тематики; $K 10$ – множество вариантов изучения учебных материалов (сценарий); $K 11$ – компонент управляющих (адаптивных и интеллектуальных) воздействий на варианты изучения учебных материалов (сценарии); $\Phi 7...11$, $O 7...11$, $C 7...11$ – соответственно функции, отношения и состояния компонент $K 7...11$.

Таким образом, в ходе работы посредством методологического и понятийно-терминологического аппаратов системного анализа:

1) исследованы понятия «эргатическая система», «компонент», «текущее состояние системы», «эталонное состояние системы», «структурная идентификация» и их связь между собой;

2) обосновано применение принципа структурно-идентификационного управления в формализации процесса принятия результативных решений по управлению ЭАОС на основе идентификации структурных моделей вариативных (начальных, текущих и конечных) состояний компонент системы;

3) составлена общая концептуальная модель, вербально описывающей структуру ЭАОС.

4) для перечисления всех компонент ЭАОС были составлены кортежные модели, аспекты которых в дальнейших исследованиях послужат основой для построения математической модели ЭАОС.

Список литературы

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ: учебник для академического бакалавриата . – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 616 с.
2. Михеев М.Ю., Жашкова Т.В., Сёмочкина И.Ю., Rogанов В.Р., Щербань А.Б. Математические и информационно-структурные модели эргатических систем: Монография – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-т, 2015. – 161с.
3. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. - М.: Радио и Связь, 1990. – 540с.
4. Черткова Е.А. Разработка компьютерных обучающих систем. Монография: – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. – 175 с.
5. Юрков Н.К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы : моногр. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – 304 с.

05.13.01

А.П. Буйносов д-р техн. наук, А.С. Баитов

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, buinosov@mail.ru, baitov_alex76@mail.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ И РЕЛЬСОВЫХ АВТОБУСОВ НАИБОЛЕЕ ПОДВЕРЖЕННЫХ ОТКАЗАМ

В статье приводится анализ причин отказов узлов, деталей электропоездов и рельсовых автобусов, допущенных на инфраструктуре ОАО «РЖД». Определены основные узлы, и элементы механической части электропоездов и рельсовых автобусов, подверженные отказам и причины их возникновения. Определены основные направления по повышению надежности.

Ключевые слова: электропоезд, рельсовый автобус, узел, деталь, износ, отказ, выявление.

Одним из направлений долгосрочной программы развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 г., разработанной с учетом послания Президента России Федеральному собранию и указа президента от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» является обеспечение необходимого уровня безопасности движения и экологической безопасности.

В свою очередь в перечне основных узлов, определяющих долговечность моторвагонного подвижного состава является механическая часть [1, 2], ее узлы и элементы, такие как колесно-редукторные блоки, состоящие из тяговых электродвигателей, колесных пар, зубчатых передач и муфт. В свою очередь техническое состояние и безотказная работа подшипниковых узлов, как тяговых электродвигателей, так и колесных пар имеет важное значение.

Так, на основе данных комплексной автоматизированной системы учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надёжности в ОАО «Российские железные дороги» (далее – система КАСАНТ) [1], в период с начала эксплуатации системы КАСАНТ с 2006 г. по ноябрь 2019 г., были получены данные, допущенных отказов технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» по функциональному филиалу – Центральная дирекция моторвагонного подвижного состава (далее – ЦДМВ).

Анализ отказов электропоездов всех серий и индексов, рельсовых автобусов всех типов и модификаций на инфраструктуре железных дорог России по видам оборудования ЦДМВ показал, что всего допущено 8097 отказов всех категорий (1, 2 и 3 категорий), с общей продолжительностью задержки поездов на 4336,6 ч., из них: по электропоездам – 6877 отказов, по рельсовым автобусам – 1220 отказов. Определены основные неисправности электропоездов и рельсовых автобусов находящихся в зоне риска, где на механическую часть вагона и ее элементы приходится – 1970 отказов, из них: 1770 отказов – электропоезда, 200 отказов – рельсовые автобусы.

Среднее значение по количеству отказов моторвагонного подвижного состава на инфраструктуре ОАО «РЖД» зафиксировано на уровне 578 отказов в год (рис. 1).

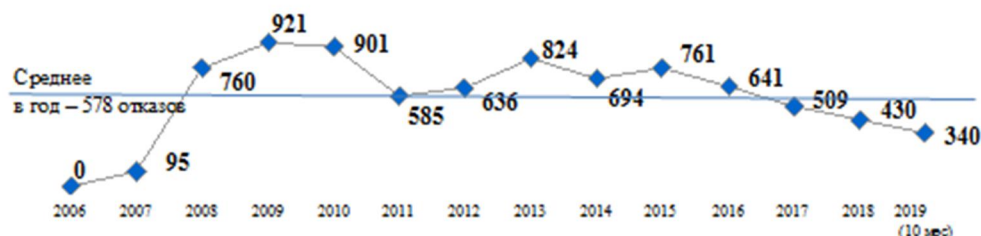


Рис. 1. Отказы технических средств на железных дорогах по данным ЦДМВ на инфраструктуре ОАО «РЖД» по годам

После обработки данных в системе КАСАНТ и проведенного анализа позволило выявить узлы механического оборудования с наибольшей частотой возникновения отказов (дефектов) (табл. 1).

Таблица 1

Распределение отказов электропоездов и рельсовых автобусов по узлам механической части

Наименование узлов	Отказы (дефекты), ед.	Накопленная сумма отказов	Процент отказов в общей сумме	Накопленный процент отказов (дефектов)
Роликовый подшипник буксового узла	1551	1551	78,7	79
Корпус буксы электропоезда	222	1773	11,3	90
Зубчатая шестерня тягового редуктора электропоезда	46	1819	2,3	92
Зубчатое колесо тягового редуктора электропоезда	44	1863	2,2	95
Наружная карданная муфта тяговой передачи	43	1906	2,2	97
Зубчатая шестерня тягового редуктора рельсового автобуса	40	1946	2,0	99
Опорный подшипник тягового редуктора рельсового автобуса	24	1970	1,2	100
Итого	1970	-	100,0	-

Для оценки причинно-следственных связей между отказами и узлами электропоездов и рельсовых автобусов воспользуемся анализом Парето [2], который позволит объективно представить и выявить проблемные основные дефекты (с наибольшей частотой возникновения).

Закон Парето (принцип Парето, принцип 80/20) – эмпирическое правило, названное в честь экономиста и социолога Вильфредо Парето, в наиболее общем виде формулируется как «20 % усилий дают 80 % результата, а остальные 80 % усилий – лишь 20 % результата». Может использоваться как базовая установка в анализе факторов эффективности какой-либо деятельности и оптимизации ее результатов: правильно выбрав минимум самых важных действий, можно быстро получить значительную часть от планируемого полного результата, при этом дальнейшие улучшения неэффективны и могут быть неоправданны (согласно кривой Парето) [3].

Строим столбчатую диаграмму, на которой каждому музлу соответствует свой столбец, высота которого равна количеству отказов (дефектов) (рис. 1).

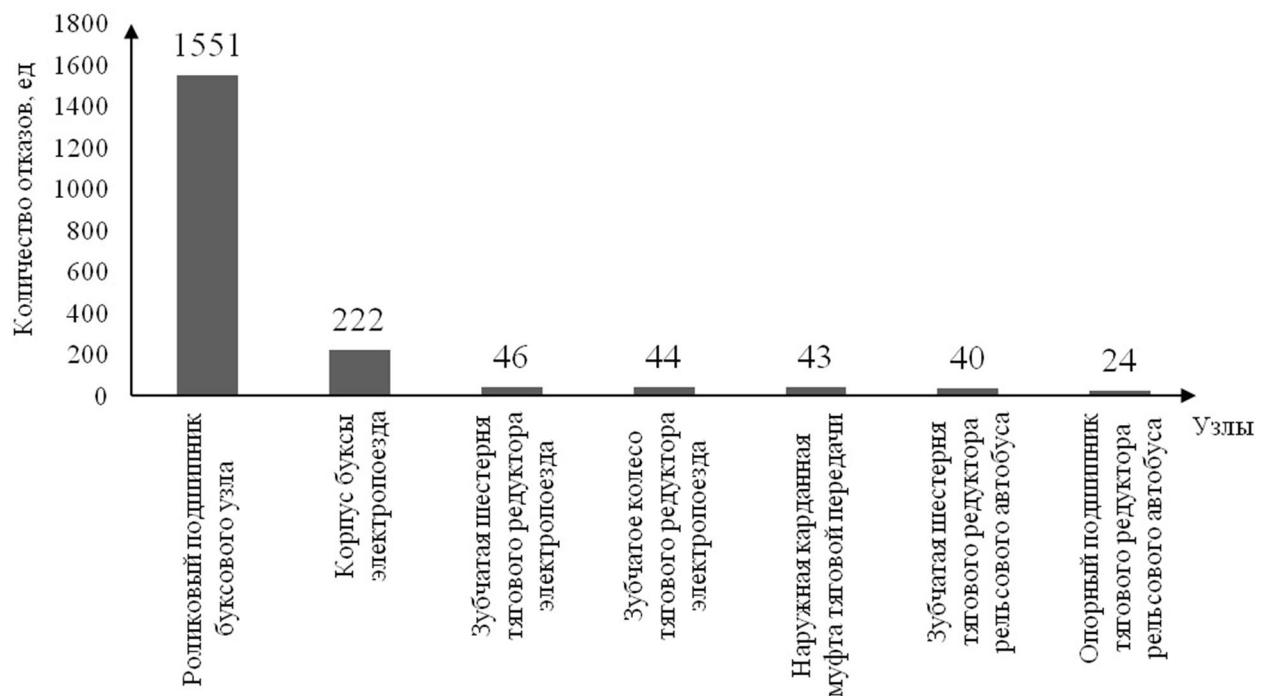


Рис. 2. Гистограмма распределение отказов электропоездов и рельсовых автобусов по узлам механической части

По данным из табл. 1, столбец «Накопленный процент отказов (дефектов)» – строим графическую кривую (рис. 3–5). На полученных графиках на уровне 80 % по оси ординат проводим горизонтальную прямую до пересечения с построенными кривыми и далее из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось абсцисс.

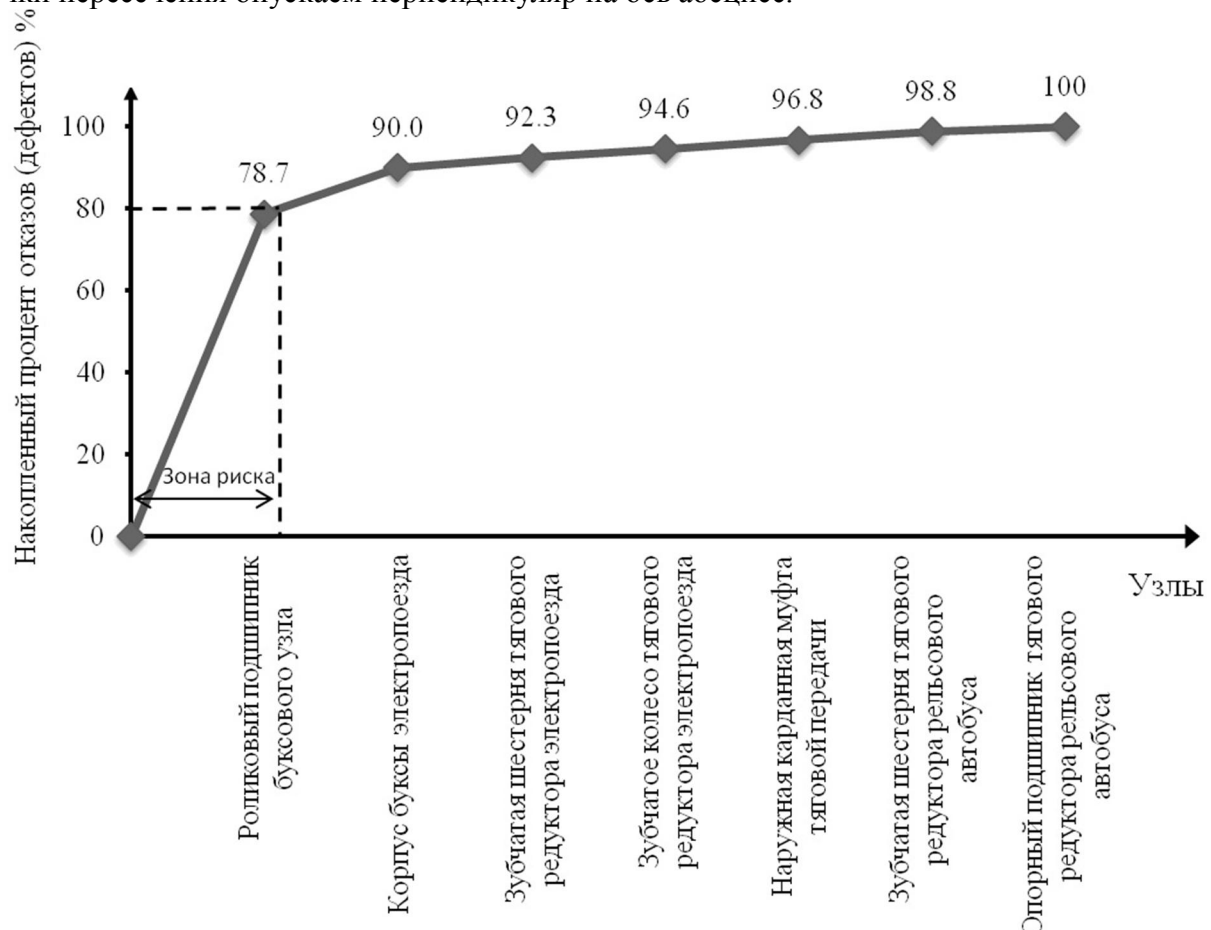


Рис. 3. Диаграмма Парето по отказам (дефектам) узлов механической части электропоездов и рельсовых автобусов

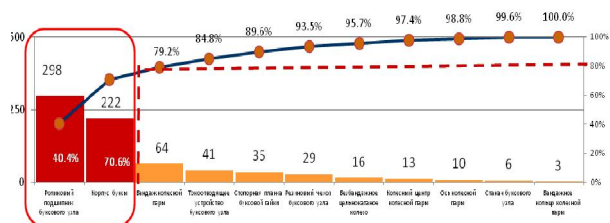


Рис. 4. Диаграмма Парето по отказам узлов механического оборудования электропоездов

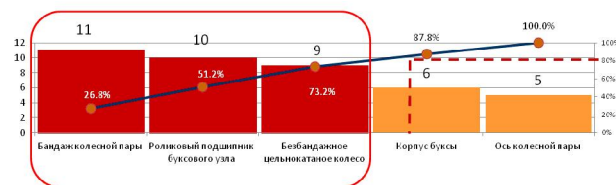


Рис. 5. Диаграмма Парето по отказам узлов механического оборудования рельсовых автобусов

Из построенных диаграмм Парето видно, что в зоне риска оказался такой дефект как повреждение роликов подшипника буксового узла электропоездов и рельсовых автобусов.

С целью уменьшения количества отказов и поддержания электропоездов и рельсовых автобусов в работоспособном состоянии требуется: выполнить анализ соответствия технологических процессов при ремонте и сборке узлов и деталей [4, 5]; разработать методы, направленных на повышение надежности роликового подшипника буксового узла; разработать способы повышения долговечности механической части железнодорожного подвижного состава.

Список литературы

1. Буйнов А.П., Козаков Д.Ю. Анализ отказов узлов электропоездов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. Казань, 2013. № 4. С. 120-123.
2. Буйнов А.П., Козаков Д.Ю. Применение пирамиды Генриха для оценки безопасности движения электропоездов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 178-181.
3. Буйнов А.П., Мишин Я.А. Анализ отказов узлов электропоездов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 97-100.
4. Буйнов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
5. Буйнов А.П., Мишин Я.А. Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электропоезда // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 151-154.

05.13.01

Л.А. Влацкая канд. техн. наук, Н.Г. Семенова д-р педагог. наук, канд. техн. наук,
Э.Л. Греков канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,
кафедра автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники,
Оренбург, ng_sem@mail.ru

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Предложен новый алгоритм эмпирической модовой декомпозиции несинусоидальных сигналов, регистрируемых в электроэнергетических системах, посредством В-сплайн разложения. Приведены результаты сравнительного анализа программной реализации разработанного алгоритма и классического алгоритма эмпирической модовой декомпозиции.

Ключевые слова: несинусоидальный электрический сигнал, эмпирическая модовая декомпозиция, В-сплайн разложение.

Электроэнергетические системы, в настоящее время, оснащаются системами мониторинга переходных режимов, которые выполняют синхронизированные векторные измерения параметров электроэнергетического режима с помощью сигналов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАС и GPS. Полученные регистрограммы подлежат анализу с целью идентификации свойств электроэнергетической системы и управления ее режимами.

Наиболее целесообразными методами анализа регистрограмм являются адаптивные методы, к которым относится метод эмпирической модовой декомпозиции (Empirical mode decomposition – EMD). Этот метод не требует априорных знаний о наличии в несинусоидальных сигналах (НС) шумовых, трендовых и сигнальных компонент, вся информация извлекается непосредственно при разложении на эмпирические моды [1]:

$$f(t) = \sum_{i=1}^{n-1} c_i(t) + r_n(t), \quad (1)$$

где $f(t)$ – анализируемый НС; $c_i(t)$ – эмпирические модовые функции (Intrinsic Mode Functions – IMF); $r_n(t)$ – остаток от разложения НС на IMF; n – количество эмпирических мод, которое устанавливается в процессе разложения.

Классический алгоритм EMD [1] представляет собой итерационный процесс, состоящий из следующих процедур: 1. Идентификация экстремумов несинусоидального сигнала; 2. Построение огибающих: верхней, аппроксимирующей локальные максимумы, и нижней, аппроксимирующей локальные минимумы; 3. Определение средней $m(t)$ в каждый момент времени между огибающими; 4. Отсеивание прото-IMF; 5. Проверка на завершение отсеивания прото-IMF и выделение моды $c(t)$; 6. Определение остатка; 7. Проверка на завершение процесса разложения.

При возникновении погрешностей измерений и неравномерном распределении анализируемого сигнала по оси абсцисс использование интерполяции кубическими сплайнами в алгоритме EMD приводит к некорректному выделению модовых функций и как следствие к некорректному управляющему воздействию на электроэнергетическую систему. В связи с этим авторами предложен модифицированный алгоритм EMD с использованием В-сплайнов, формирующих кривую сглаженной формы, что позволит нивелировать погрешности, в том числе осцилляции модовых функций.

В отличие от классического алгоритма *EMD* в предлагаемом алгоритме *B-spline* разложения отпадает необходимость в проведении: второй процедуры «Построение огибающих», т.к. построение среднего *B*-сплайна осуществляется по определенным биномиальным средним вершинам; операционного действия «Сортировка на максимумы и минимумы» первой процедуры «Идентификация экстремумов», т.к. для определения вершин среднего *B*-сплайна требуется только информация о координатах экстремумов.

Вышесказанное позволит: во-первых нивелировать погрешности, в том числе осцилляции модовых функций, и как следствие повысить эффективность спектрально-временного анализа процессов в электроэнергетических системах; во-вторых повысить быстродействие процесса разложения несинусоидального сигнала.

Кратко рассмотрим реализацию предложенного алгоритма *B*-сплайн разложения на примере смоделированного несинусоидального сигнала, содержащего 200 точек, рисунок 1.

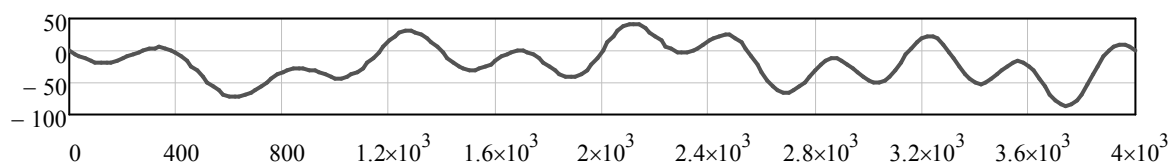


Рис. 1 – Анализируемый несинусоидальный сигнал

1. Определение экстремумов. Авторами предложена методика определения экстремумов на скользящем интервале b , заключающаяся в пошаговом перемещении (скольжении) b вдоль $f(t)$ с одновременным сравнением трех последовательных значений (ординат) НС $[f(t_{i-1}), f(t_i), f(t_{i+1})]$ на каждом шаге переноса интервала. За экстремум принимается средняя точка интервала, если ее ордината больше или меньше значений НС в двух соседних точках, т.е. выполняется хотя бы одно из условий:

$$f(t_{i-1}) < f(t_i) > f(t_{i+1}) \quad \text{или} \quad f(t_{i-1}) > f(t_i) < f(t_{i+1}).$$

Выявление всех экстремумов осуществляется путем последовательного сдвига интервала b на единичный шаг вправо до тех пор, пока не будет достигнут конец анализируемого НС $f(t)$.

Для предложенной методики определения экстремумов разработан циклический алгоритм, во внешнем цикле которого на каждой итерации выполняются следующие операционные действия: 1) Формирование скользящего интервала; 2) Проверка на принадлежность к экстремумам; 3) Формирование массива экстремумов.

Формирование скользящего интервала, содержащего три последовательных значения НС, осуществляется в цикле по выражению:

$$b_{g-e+1} = f_g, \quad (2)$$

где g – переменная цикла, принимающая значения от $e-1$ до $e+1$; e – переменная внешнего цикла, обеспечивающего сдвиг интервала b на единичный шаг вдоль всего НС. Принимает значения от 1 до $n-1$ (n – длина (количество значений) анализируемого сигнала).

Выполнение второго операционного действия «Проверка на принадлежность к экстремумам» заключается в проверке условия:

$$[b_0 < b_1 > b_2] \vee [b_0 > b_1 < b_2]. \quad (3)$$

Если выполняется условие (3), то средняя точка (b_1) интервала b является экстремумом и добавляется в массив *ext* (третье операционное действие «Формирование массива экстремумов»).

Графическое представление результатов выполнения первой процедуры, включающей рассмотренные операционные действия, приведено на рисунке 2.

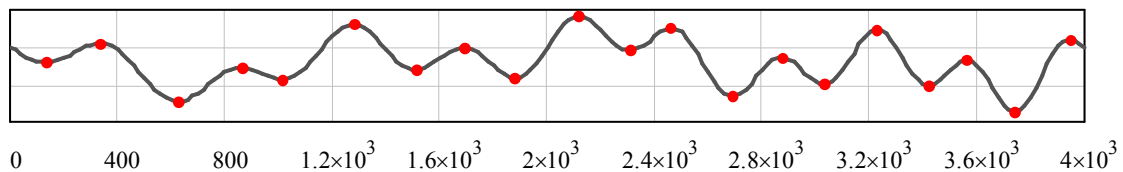


Рис. 2 – Иллюстрация выполнения процедуры «Определение экстремумов»

2. Определение среднего B-сплайна. Реализация этой процедуры подробно изложена в статье [2], она состоит из следующих операционных действий: 1) анализ изменения сигнала в начальный и конечный моменты времени исследования; 2) определение опорных вершин сплайна λ_k , вычисляемых как биномиальные средние значения локализованных

$$\lambda_k = \frac{1}{4} \cdot \sum_{n=0}^2 \frac{2!}{n!(2-n)!} \cdot ext_{c+n}$$

экстремумов (ext): ; 3) формирование воображаемых вершин сплайна для исключения непредсказуемости модовой функции в начальный и конечный моменты времени исследования; 4) определение средней кривой на основе B-сплайн-базиса,

$$B(t) = \sum_{k=0}^{m-1} \lambda_k \cdot N_k(t)$$

описываемого выражением , где $N_k(t)$ – весовые множители k -ого кубического B-сплайн базиса; 5) кусочно-линейная интерполяция среднего B-сплайна в моменты времени исследуемого сигнала.

На рисунке 3 представлены результаты выполнения второй процедуры B-сплайн разложения.

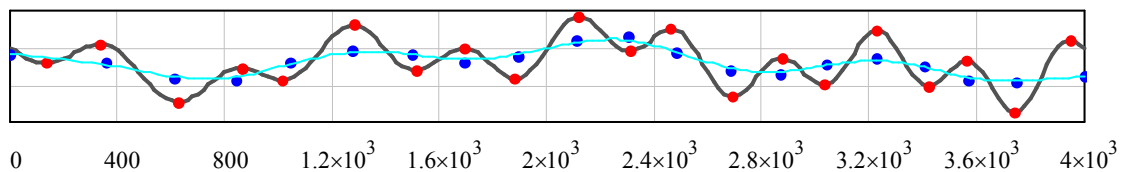


Рис. 3 – Определение среднего B-сплайна

Последующие четыре процедуры выполняются в соответствии с классическим алгоритмом *EMD*.

3. Отсеивание прото-IMF (компоненты отсеивания). Прото-*IMF* определяется как разность:

$$h_{j+1}(t) = h_j(t) - b_j(t), \quad (4)$$

где $h_{j+1}(t)$, $h_j(t)$ – прото-*IMF* на текущей и предыдущей итерациях, соответственно; $b_j(t)$ – средний B-сплайн на текущей j -ой итерации.

4. Проверка на завершение отсеивания прото-IMF и выделение моды.

В работе проверка осуществляется посредством критерия S -номера, определяемого как номер итерации отсеивания, на которой прото-*IMF* $h_{j+1}(t)$, $j = \overline{1 \dots S}$ будет соответствовать определению эмпирической моды. Выполняется сравнение количества экстремумов и нулевых пересечений:

$$N_{\lambda} = N_{zero} \text{ или } |N_{\lambda} - N_{zero}| = 1, \quad (5)$$

где N_{λ} , N_{zero} – число опорных вершин и переходов через нуль среднего B-сплайна, соответственно.

Список литературы

1. Norden, E. Huang. The Hilbert-Huang transform and its applications/ - 2nd Edition / Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen // Interdisciplinary Mathematical Sciences. Vol. 16. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2014. – 381 p.
2. Семенова Л.А., Семенова Н.Г. Определение среднего b -сплайна при исследовании нелинейных процессов в электроэнергетических системах // Вестник Череповецкого государственного университета. 2016. № 2. С. 18-22.
3. Huang N.E., Shen Z., Long S.R. [et al.]. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis // Proc. R. Soc. London, Ser. A. 1998. Vol. 454. P. 903-995.
4. Свидетельство о регистрации прикладной программы «В-сплайн разложение нелинейных сигналов» / Семенова Л.А., Паршков А.А.; УФЭР. № 1216; опубл. 15.01.2016.

05.13.01

**И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, С.Н. Падалко д-р техн. наук,
М.Н. Терентьев канд. техн. наук**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru, snp_609@mai.ru, m-te@yandex.ru

СОЗДАНИЕ ОБЛАЧНОЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЙ

В статье представлен подход к созданию облачной информационной системы управления жизненным циклом изделия, применимой на всех этапах жизненного цикла. Новизна предлагаемого подхода заключается в использовании автономных отказоустойчивых веб-приложений в качестве клиентской части и облачной инфраструктуры в качестве серверной части информационной системы. Предлагаемая система может стать основой для интеграции систем управления жизненным циклом предприятий-смежников и базовой платформой для создания виртуального предприятия.

Ключевые слова: управление жизненным циклом изделия, облачная система управления жизненным циклом изделия, виртуальное предприятие, автономные веб-приложения.

При текущем росте потребностей предприятий в информационных технологиях необходимо либо увеличивать бюджет, что невозможно делать бесконечно, либо расходовать имеющийся с максимальной пользой. Чтобы сократить расходы, можно отказаться от использования некоторых видов клиентских приложений, заменив их клиент-серверными приложениями или веб-приложениями [1], а также проводить унификацию серверной части клиент-серверных приложений [2], чтобы в дальнейшем вынести серверную инфраструктуру в облако и еще более сократить расходы при одновременном повышении производительности, отказоустойчивости и доступности.

Учитывая все большее усложнение продукции, рост объема информации по изделиям, требование сокращения сроков выпуска продукции и увеличение числа смежников, необходимо, чтобы сотрудник имел возможность работать с данными об изделии непрерывно в любом месте и в любое время. Для этого ему требуется полноценное мобильное рабочее место. Нужна система, учитывающая большое количество разнородных терминальных устройств, объединяющими характеристиками которых являются: доступ в Интернет со все увеличивающейся пропускной способностью; наличие стандартизованного браузера; некоторый объем собственной памяти; достаточная вычислительная производительность для функционирования большинства офисных приложений; дополнительное оборудование, такое как камеры (могут быть использованы в качестве сканеров штрих-кодов и QR-кодов и др.), микрофоны, ГЛОНАСС/GPS-приемники, гироскопы и др.; самостоятельное распространение мобильных устройств среди населения, без необходимости покупки для сотрудников за счет организации; постоянное ношение устройства его владельцем.

Автоматизация управления жизненным циклом изделий (ЖЦИ) прошла путь от использования отдельных информационных систем (ИС), последующей их интеграции в рамках каждого предприятия, интеграции объединенных ИС предприятий к объединению ИС предприятий-участников ЖЦИ в единое виртуальное предприятие с одновременной унификацией и уменьшением избыточности данных. В результате стал возможен переход к единой облачной ИС виртуального предприятия с универсальным доступом для стационарных и мобильных клиентов (рис. 1).



Рис. 1 – Единая ИС виртуального предприятия с универсальным доступом

На этом этапе достигается такой уровень логического объединения разнородных данных, что пользователь может работать с единым массивом данных о ЖЦИ, даже не зная, где они физически расположены (на рис. 1 цифрами показаны различные виды данных в ИС).

Работа по созданию ИС для сопровождения всех этапов ЖЦИ ведется ведущими мировыми разработчиками ПО, такими как Microsoft, Oracle, IBM, Siemens, SAP и др. Эти компании предлагают различные подходы к созданию единых ИС предприятий. Предлагаемые программные решения являются закрытыми, поэтому их модификация невозможна и затруднено построение собственных решений на их основе. Не обеспечивается универсальная поддержка всех мобильных устройств. Все это в современных условиях не может удовлетворить потребителя.

Для полноценного функционирования виртуального предприятия требуется подключение к единой ИС виртуального предприятия стационарных и мобильных клиентов, для чего необходима система универсального доступа с любых клиентских устройств, имеющих стандартизованный браузер, чтобы при смене клиентского устройства не менялось взаимодействие пользователя с ИС.

Для повышения доступности ИС предприятий был организован вывод данных в браузер с помощью корпоративных порталов, но сделать что-то более существенное, чем просмотр данных, не получилось. Возможности браузеров до последнего времени не предусматривали ничего, кроме отправки запросов к серверу, отображения текста, изображений, манипулирования отображением объектов на экране и подключения плагинов, которые не универсальны. Все, что выходило за рамки основных возможностей браузеров, было нестандартным и менялось от версии к версии даже одного и того же браузера, поэтому опираться в серьезной разработке на эти дополнительные возможности было нельзя.

Корпоративные порталы, несмотря на недостатки, стали успешным примером того, как данные ЖЦИ могут отображаться пользователям в единой доступной среде, не требующей установки и продолжительного обучения для начала работы.

С ростом унификации браузеров в соответствии со стандартом HTML5 и появлением в них функций локального хранения на стороне клиента данных и программного кода [3] появилась возможность создавать автономные веб-приложения (АВП) [4]. Для внедрения АВП требуется лишь изменить программное обеспечение на веб-сервере, где работал корпоративный портал, и удостовериться, что все клиенты используют браузеры с поддержкой стандарта HTML5.

Использование АВП позволит устранить основной недостаток корпоративных порталов – риск потери всех или произвольной части данных при сбоях соединения. В настоящее время на предприятиях надежность ввода данных обеспечивается физическим присутствием пользователя и подключением к локальной сети на территории предприятия с надежными каналами связи и специализированными приложениями. В остальных случаях надежность ввода данных в обычном корпоративном портале не гарантируется.

Основной предлагаемой идеей является переход к широкому использованию АВП на всех этапах ЖЦИ. В результате, все корпоративные порталы, большая часть мобильных приложений и приложений АРМ для ПК, а также часть отдельных специализированных приложений для ПК будут заменены АВП. Для устройств, где ранее использовался только набор отдельных специализированных приложений, теперь станет возможным запуск без сложной установки любого АВП, принятого в данной цепочке ЖЦИ.

Внедрение АВП в используемых ИС обеспечит: унификацию способов ввода и отображения своих данных на различных устройствах; отсутствие привязки к аппаратному обеспечению клиентского устройства; отсутствие привязки к программному обеспечению клиентского устройства, кроме стандартного браузера; обмен файлами с файловым архивом системы, включая изображения, полученные прямо с камеры мобильного устройства; возможность загружать клиентскую часть приложения и устанавливать ее на ПК или мобильное устройство пользователя без необходимости скачивания каких-либо дистрибутивов или настройки, а только при получении разрешения пользователя на установку; автоматическое аварийное резервирование вводимых данных при отключении доступа в Интернет при публикации страниц системы и отправке комментариев; возможность автономной работы с загруженными ранее материалами; возможность ведения групповой работы в распределенной среде; возможность оперативной синхронизации результатов работы в рабочей группе; контроль версий документов; гибкое разделение прав доступа.

В результате могут быть созданы современные облачные отказоустойчивые распределенные ИС управления ЖЦИ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-08-01641 А.

Список литературы

1. Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Анализ приложений информационной системы управления жизненным циклом изделия для внедрения облачных технологий // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – №11. – С. 12-15.
2. Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Общий подход к анализу возможностей интеграции информационных систем управления жизненным циклом изделий // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – №11. – С. 16-19.
3. HTML Living Standard [Электронный ресурс] // Веб-сайт Web Hypertext Application Technology Working Group (WHATWG). – Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/html/>.
4. Гинзбург И.Б., Падалко С.Н. Автономные веб-приложения для систем обработки космической информации [Электронный ресурс] // Журнал «Труды МАИ». – 2015. – №82. – Режим доступа: <http://trudymai.ru/published.php?ID=58832>.

05.13.01

Д.С. Горбатенко

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Институт № 6 «Аэрокосмический»,
кафедра «Системный анализ и управление»,
Москва, mai_kaf604@mail.ru

АВАРИЙНОСТЬ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ, ИСПОЛЪЗУЕМОМ В РЕЖИМЕ КАРШЕРИНГА

В статье рассматривается проблема возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием автомобилей, используемых в режиме каршеринга. Проведен анализ основных причин аварийности как с участием, так и по вине водителей автомобилей каршеринга. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике аварийности.

Ключевые слова: каршеринг, дорожно-транспортное происшествие, профилактика аварийности, нарушения правил дорожного движения, регрессионные модели аварийности.

Каршеринг, т.е. краткосрочная аренда автомобиля с поминутной тарификацией, в России появился совсем недавно, но уже успел превратиться в весьма популярный способ перемещения. Взять автомобиль в аренду можно уже не только в г. Москва, но и во многих других городах. Механизм аренды автомобиля весьма прост и доступен. Но, к сожалению, эксплуатация каршерингового автомобиля зачастую приводит к совершению дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в том числе со смертельным исходом. Также нередки случаи использования каршеринговых автомобилей с целью совершения преступления [1].

На территории только Московской области в течение 2019 г. из общего числа ДТП с участием каршеринговых автомобилей 67 % это ДТП по вине водителей каршеринга. Основными нарушениями ими правил дорожного движения (ПДД), приведшими в ДТП, явились «несоответствие скорости конкретным условиям движения» (34 %), «другие нарушения ПДД водителями» (18 %), «неправильный выбор дистанции» (16 %), «несоблюдение очередности проезда» (11 %), «несоблюдение условий, разрешающих движение задним ходом» (8 %), «нарушение правил расположения ТС на проезжей части» (5 %), «нарушение правил перестроения» (3 %), «несоблюдение бокового интервала» (2,7 %), «нарушение требований дорожных знаков», «превышение установленной скорости движения», «выезд на полосу встречного движения», «нарушение требований сигналов светофора», «нарушение правил проезда пешеходных переходов», «нарушение требований линий разметки», и «нарушение правил остановки и стоянки» (в пределах 1 %). В 16 % ДТП водители каршеринговых автомобилей не только нарушили ПДД, приведшие к ДТП, но и скрылись с места ДТП, в 5 % ДТП управляли в состоянии алкогольного опьянения или отказались от медицинского освидетельствования, и в 1 % ДТП не имели права на управление транспортным средством [2].

Проведенный анализ статистики ДТП с участием каршерингового автотранспорта показал, что его эксплуатацию нельзя назвать безопасной. Причем чаще всего нарушают ПДД, приведшие к ДТП, водители, с которыми оператор каршеринга договор не заключал, т.е. были использованы чужие персональные данные.

Итак, можно сделать вывод, что основной причиной возникновения ДТП по вине водителей каршеринга можно считать использование чужих персональных данных. Проверка потенциального арендатора на дееспособность и допуск его к управлению ТС, осуществляется компанией-оператором каршеринга по данным создаваемого арендатором аккаунта. Но фактически управлять автомобилем может совершенно посторонний человек,

не прошедший необходимую проверку. В результате за рулем может оказаться человек в алкогольном, наркотическом опьянении, под воздействием психотропных препаратов, не умеющий управлять автомобилем, не имеющий водительского удостоверения или соответствующей категории, находящийся в розыске, собирающийся использовать автомобиль в преступных целях и т.п. Также ими могут быть несовершеннолетние. Результатом является то, что фактические водители каршеринговых автомобилей могут не соблюдать ПДД, поскольку знают, что административная ответственность на них наложена не будет. Этому также способствует крайне слабое присутствие инспекторов ГИБДД на дорогах, вызванное постоянным сокращением [3].

Конечно, некоторый свой «вклад» в возникновение ДТП вносит отношение арендатора к арендуемому транспортному средству (ТС) как «не своему». При наличии дорожных заторов водитель-арендатор испытывает психологическое давление в виде работающего счетчика, что может подтолкнуть его к агрессивному режиму движения. Отметим, что, несмотря на то, что все операторы каршеринга не заключают договор с водителями со стажем до 2 лет, водителем арендуемого ТС может оказаться человек, имеющий очень слабый водительский опыт, поскольку за эти два года автомобилем управлял крайне редко [3].

Возникла необходимость в разработке и внедрению мер, направленных на предотвращение использования чужого аккаунта для управления каршеринговым автомобилем. Профилактика возможна в следующих направлениях:

- создание системы обеспечения соответствия вносимых персональных данных и персональных данных фактического водителя;
- внедрение системы блокировки арендуемого ТС при нахождении водителя в нетрезвом состоянии;
- удорожание услуги.

Обеспечить соответствие вносимых персональных данных водителя можно с помощью специальных технических средств, например, идентификация водителя по отпечаткам пальцев, автоматическое периодическое фотографирование водителя и т.п. Необходимо также обеспечить оперативный доступ к базам данных каршеринга подразделениям ГИБДД МВД России. Результатом будет минимизация возможности управления ТС лицом, не прошедшим необходимой для допуска к управлению каршеринговым автомобилем проверки, фактическое административное наказание за нарушение ПДД, профилактика аварийности по вине водителей каршеринговых автомобилей и других преступлений с использованием каршеринговых автомобилей.

Необходимо также внедрять специальные технические средства, работающие по принципу Алкотестер. Наиболее распространенное понятие – алкозамок. В случае посадки в автомобиль потенциального арендатора, находящегося в нетрезвом состоянии, запуск двигателя будет заблокирован. Также это произойдет с теми, кто решил игнорировать устройство. Т.е. тест на алкогольное опьянение станет обязательным для всех потенциальных пользователей каршеринга, автомобиль без прохождения теста просто не поедет. Необходимо, чтобы в любой момент управления автомобилем система запрашивала повторный тест, в целях исключения ситуации, при которой водитель, находящийся в нетрезвом состоянии, попросит трезвого подуть в прибор. Если проверка выявит появление опьянения в процессе движения, система должна принуждать водителя к остановке. Соответственно, ДТП, в которых сопутствующим нарушением ПДД водителями каршеринговых автомобилей явится «управление ТС в состоянии алкогольного опьянения» станет меньше.

Для того, чтобы не превращать систему каршеринга в «учебную» езду, и заставить пользователей каршеринга бережнее относиться к арендуемому автомобилю, к соседям по транспортному потоку, газонам и т.п., система краткосрочной аренды автомобиля с поминутной тарификацией не должна быть такой доступной. Ее совершенно не нужно приравнять к такси, скорее приравнять надо к личному автотранспорту, на приобретение которого были затрачены значительные физические и интеллектуальные ресурсы. Поэтому

плата за использование данного сервиса должна быть достаточно высокой, дабы избежать использования каршерингового транспорта несовершеннолетними и людям со слабой водительской подготовкой, с целью предотвращения формирования в этой части общества низкой социальной ответственности.

Заключение. Формирование безопасного поведения участников движения, иначе именуемое воспитание, это систематическое воздействие общества на жизнедеятельность участников движения, выраженное в принятии мер по обеспечению соблюдения участниками дорожного движения нормативных требований [4]. В случае минимизации при эксплуатации каршерингового транспорта случаев использования подложных персональных данных, статистические данные об аварийности с использованием таких ТС можно будет включать в исследования, направленные на разработку мероприятий по профилактике дорожно-транспортной аварийности на улицах и автодорогах, поскольку будет соблюдено условие об однородности статистических данных [5]. Для профилактики аварийности на улично-дорожной сети Московской области давно и успешно используется методика создания многофакторных регрессионных моделей аварийности [6], которые позволили не только определить количественную взаимосвязь между возникновением ДТП и развитием показателей, характеризующих движение, контроль и надзор за движением, организацию движения и обустройство улиц и дорог, но и получать прогнозные значения аварийности на перспективу. Проведенная проверка [6] показала адекватность полученных моделей исследуемому процессу. Результаты выступили как элемент технико-экономического обоснования внедрения профилактических мероприятий на автодорогах регионального значения Московской области.

К сожалению, в России, в дорожном движении в частности, появляются и популяризируются различные проекты намного быстрее, чем они обеспечиваются законодательной базой. Яркий тому пример – велосипедное движение в г. Москва: городские власти активно его популяризируют, создают места проката велосипедов, а специально выделенных для велосипедов дорожек крайне мало. В результате велосипедисты двигаются по тротуарам, создавая конфликтные ситуации с пешеходами, что часто приводит к травмам.

Список литературы

1. Улицкая Н.М., Медведева Т.А. Каршеринг: история возникновения, тенденции развития и особенности в современной России. Национальные и международные финансово-экономические проблемы автомобильного транспорта: сборник научных трудов. – М.: МАДИ, 2017. – с. 123-130;
2. Статистические данные о дорожно-транспортной аварийности на территории Московской области за 10 месяцев 2019 г. М. УГИБДД ГУ МВД России по Московской области, 2019;
3. Одиноква И.В., Астахин И.И., Носко Е.А. Московский каршеринг. Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2019. – №1 (19). – с. 3;
4. Лукьянов В.В. Безопасность дорожного движения. М. Транспорт, 2008, -106 с.;
5. Шмойлова Р.А. Теория статистики, М.: «Финансы и статистика», 1996;
6. Кузнецов В.В., Горбатенко Д.С., Порташников О.М. Адекватность применения методики математического моделирования в целях разработки программ, направленных на повышение уровня безопасности движения на региональных автодорогах на территории Московской области. Воронеж, журнал «Вестник Воронежского института МВД России», с. 64-70. Выпуск № 4, 2018 г.

05.13.01

¹Л.С. Григорьева канд. хим. наук, ²В.А. Григорьев канд. техн. наук,
¹М.Г. Бруяко канд. техн. наук

¹Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
институт строительства и архитектуры,
²Московский филиал «Центратомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго»,
Москва, pehel@yandex.ru

СИСТЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

В статье представлены структурные схемы программно-аппаратного комплекса, предназначенного для оперативного контроля и регистрации быстроменяющихся нейтронно-физических и технологических параметров энергоблока атомной электростанции на этапах ввода энергоблока в эксплуатацию.

Ключевые слова: *SCADA-система, база данных, сервис, реальное время, контроллер.*

Строительство новых российских энергоблоков атомных электростанций (АЭС) - важнейшее направление развития российской экономики.

В ходе ввода энергоблоков в эксплуатацию проводятся нейтронно-физические эксперименты и испытания оборудования реакторной установки [1,2].

При проведении экспериментов с целью определения нейтронно-физических характеристик реакторной установки, необходима высокая точность и дискретизация измеряемых параметров. Используемые на АЭС автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) позволяют осуществлять сбор и регистрацию аналоговых параметров с частотой не более 1 сек., что является недостаточным для корректных расчетов при проведении нейтронно-физических экспериментов и испытаний энергоблока [3].

Возникает необходимость создания системы, позволяющей осуществлять прием и регистрацию аналоговых сигналов с частотой не более 100 мс.

Цель создания системы экспериментального контроля (СЭК): разработка и реализация современной системы, предназначенной для оперативного контроля и регистрации быстроменяющихся нейтронно-физических и технологических параметров: на этапах ввода энергоблока в эксплуатацию: при проведении физических экспериментов; при проведении динамических испытаний. В процессе эксплуатации энергоблока: при проведении экспериментальных измерений.

Основными функциями программного обеспечения (ПО) СЭК являются:

сбор и регистрация необходимой информации; предварительная обработка информации; ведение архива и предоставление протоколов с возможностью вывода на печать; представление регистрируемой информации в графическом и табличном виде; возможность работы с архивными данными в графическом и табличном виде.

Обработка и сбор данных (технологических параметров) осуществляется посредством программируемого логического контроллера (ПЛК) от следующих подсистем: система контроля и управления реакторного отделения (СКУ РО), система контроля и управления турбинного отделения (СКУ ТО), электронная часть системы регулирования (ЭЧСР), аппаратура контроля нейтронного потока (АКНП), система контроля, управления и диагностики (СКУД), комплекс электрооборудования системы управления и защиты (КЭ СУЗ), реактиметры, система внутриреакторного контроля (СВРК), представленных на рис.1.

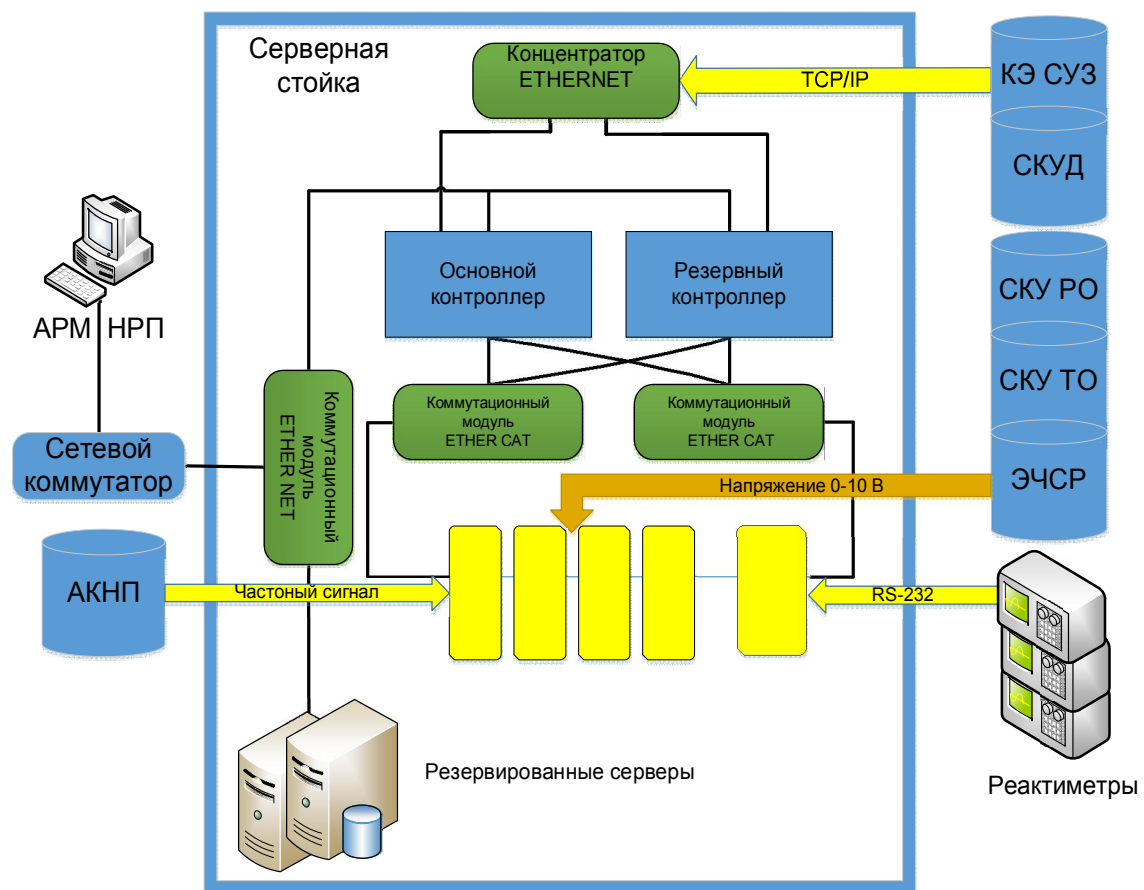


Рис.1 – Структурная схема системы экспериментального контроля

Система должна соответствовать следующим требованиям в части сбора, обработки, хранения и представления данных: представление данных на не менее чем 20 графиках, содержащих не менее 50 изменяющихся параметров на каждом из графиков; глубина архива не менее 2 лет; время задержки в передаче данных от ПЛК до автоматизированного рабочего места (АРМ) не должно превышать 100 мс; дискретизация записи параметров в архив должна быть не более 100 мс; цикл обновления дискретных и аналоговых данных на экранах АРМ не должен превышать 100 мс; время вызова графика на экран монитора не должно превышать 200 мс.

При проектировании СЭК учитывались недостатки, выявленные в ходе эксплуатации подобных систем на атомных, тепловых, ветряных электростанциях. Программная часть системы достаточно часто реализуется на базе SCADA-систем Citect, Indusoft, Trace mode [4-6]. Данные системы не предназначены для мониторинга и контроля быстрых технологических процессов, в связи с этим возникают следующие недостатки: ограниченные возможности пользовательского интерфейса (работа с графиками, представление информации); отсутствует возможность работы с архивными данными в графическом виде; при большом количестве открытых трендов (графиков) появляется задержка в обновлении информации на данных трендах (более 100 мс); небезопасная процедура снятия архива с сервера СЭК требует прямого доступа к базе; привязка к контроллерам конкретного производителя.

Это объясняется закрытостью коммерческого программного продукта и сложностью его доработки. В связи с этим было принято решение разработать для СЭК собственную реализацию программного обеспечения, что дает неограниченные возможности по реализации требований заказчика к функциональности и интерфейсу оператора, а также уйти от жесткой привязки к конкретным компонентам аппаратной части. Обобщенная структурная схема СЭК представлена на рис. 2.

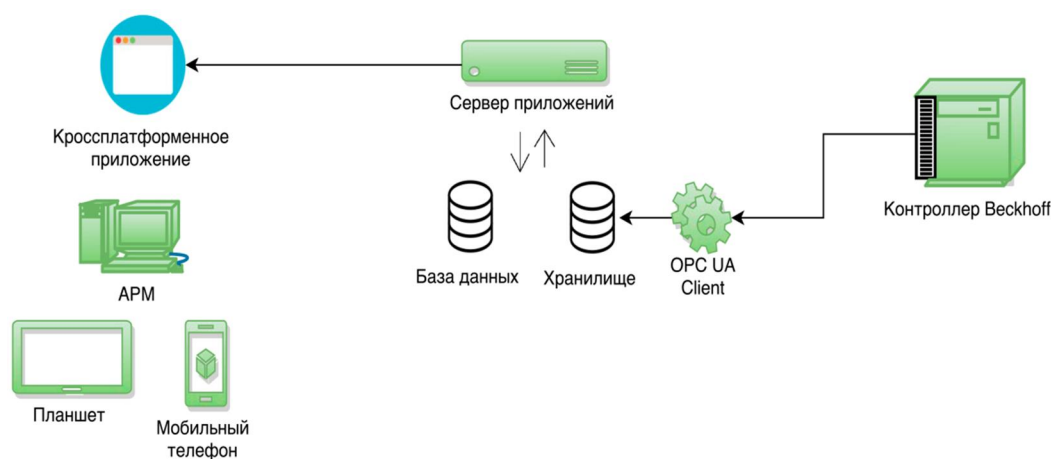


Рис.2 – Обобщенная структурная схема системы экспериментального контроля

ПО СЭК – клиент-серверная программная система. Клиентская часть представляет собой кроссплатформенное приложение, сервер – приложение и набор сервисов для доступа к данным. Данные хранятся в базе данных (БД) и хранилище данных (ХД). Основными особенностями серверного приложения являются: реализация поддержки протокола OPCUA; реализация хранилища данных; оптимизация базы данных; реализация сервисов для доступа к данным;

Хранилище данных представляет собой секционированную таблицу, разделенную на партии в зависимости от настроек системы и количества дисков. ХД может располагаться, как на отдельном RAID-массиве, так и на совместном с БД RAID-массиве. Хранилище содержит только технологические данные от всех подсистем. БД содержит данные справочников, журналов, настроек пользователей. Так же в БД есть выделена отдельная таблица с оперативными значениями параметров (последними актуальными значениями). Данная таблица размещается в оперативной памяти сервера, что обеспечивает минимизацию задержки при обращении к данным. Клиентское приложение получает данные от сервисов доступа к данным в реальном времени.

В результате реализовано ПО СЭК для энергоблока АЭС, полностью удовлетворяющее исходным техническим требованиям. Выполнены следующие улучшения: реализована возможность использования контроллеров других производителей поддерживающих протокол OPCUA; полностью переработана система хранения данных в части базы данных и хранилища данных; разработан сервис доступа к данным; реализован гибкий, современный человеко-машинный интерфейс; реализована программная база для дальнейших переработок и дополнений под новые задачи без значительных трудозатрат.

Список литературы

1. Ельшин А.В., Жуковский Д.Н. Методическое и аппаратное обеспечение измерений реактивных характеристик реакторов стендов-прототипов ядерных энергетических установок транспортного назначения//Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2018. –№1. – С. 17-25.
2. Дреганов О.И., Короткова О.В. Нейтронно-физические расчеты модели экспериментального устройства с радиационным обогревом твэла// Вестник ДИТИ. – 2017. –№1. – С. 40-45.
3. Кишкин В.Л., Нариц А.Д. Эволюция программно-технических средств уровня автоматического управления АСУ ТП атомных и тепловых электростанций// Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2015. –№2. – С. 13-15.
4. Мнушко О.В. Архитектура веб-ориентированной SCADA-системы// Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. серия: Информатика и Моделирование. – 2018. – №24. – С. 117-128.
5. Анненков Е.А. Проектирование АСУ ТП на базе SCADA-системы TRACE MODE 6// Вестник науки и образования. – 2016. –№8. – С. 33-36.
6. Kolosok I., Korkina E., Tikhonov A. A reliability analysis of state estimation software based on SCADA and WAMS// Energy systems research. – 2018. –№1.– С. 100-107.

05.13.01

П.А. Давыденко канд. техн. наук, Самба Диарра, Этьен Хаба

ФГАОУ ВО «Российский Университет Дружбы Народов»,
Департамент машиностроения и приборостроения,
Москва, davydenko-pa@rudn.ru

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ПОЛИКАНАЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ СОЖ НА ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ

В данной статье рассмотрены вопросы системного анализа разработки конструкций режущего инструмента со сменными многогранными пластинами с поликанальной подачей СОЖ на оборудовании с ЧПУ. Дана характеристика влияния обрабатываемого материала на способ подачи СОЖ и конструкцию режущего инструмента.

Ключевые слова: СОЖ, режущий инструмент, поликанальная подача, расход СОЖ, подвод СОЖ.

Снижение технологической себестоимости продукции – одна из ключевых задач проектирования технологического процесса. Выбор и обоснование конструкции инструментального обеспечения для современного технологического оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) является одной из целевых функций решения задачи технологического проектирования [1].

В настоящее время вопрос выбора способа подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону обработки резанием является актуальным и требует проведения дополнительных исследований. Основные методы, приведенные на рисунке 1, показывают возможные альтернативы подвода СОЖ в зону обработки [2].



Рис. 1 – Способы подачи СОЖ в зону резания

Анализ схемы показывает, что конструктивно возможны четыре варианта решения подвода СОЖ.

Технология подачи путем внутреннего подвода СОЖ осуществляется через переходные оправки для режущего инструмента или шпиндель станка.

Требуемый расход смазочно-охлаждающих материалов определяется количеством отверстий в теле режущего инструмента и их диаметром [3].

Количество СОЖ, необходимой для обеспечения стабильной работы основного технологического оборудования, определяется режимными параметрами работы станков, количества отходов производства, материалов, размеров и формы обрабатываемых заготовок, состава СОЖ, техники и технологии ее применения, возврата СОЖ после регенерации и других факторов [4].

Точный подвод СОЖ к зоне резания может позволить многократно повысить стойкость токарного, фрезерного, сверлильного инструмента. В то же время позволяет увеличивать скорость обработки металлов без ухудшения качества поверхностей, чем повышает производительность оборудования; улучшает условия труда персонала; сокращает затраты предприятия на закупку, эксплуатацию, утилизацию смазочно-охлаждающих материалов.

Целью оптимизации выполнения технологической операции в части использования дополнительных материалов является выбор или проектирование режущего инструмента, обеспечивающего в сочетании с выбранным насосом оптимальные давление и расход. Данный набор показателей определяется для каждого наименования поверхности видом технологической обработки.

Целью данной работы является системный анализ конструкции режущего инструмента с внутренними каналами СОЖ и подвода ее в зону резания направленными потоками.

Даже простейшая схема определения технико-экономических показателей способа подвода СОЖ представляет собой довольно сложную задачу.

Необходимость рассмотрения общей схемы оптимизации продиктован следующими объективными положениями: в настоящее время выбор и применение той или иной схемы подвода СОЖ производится на основе сравнения нескольких вариантов, которые, на первый взгляд, являются наиболее рациональными. На основе данных экономического анализа определяются целесообразность и экономичность конечного варианта. Однако, экономическая эффективность любого метода еще не определяет его актуальности, т.е. сразу нельзя утверждать, что данный метод является самым экономичным из всех возможных (даже в конкретных условиях).

В общем виде задача оптимизации выбора способа подвода СОЖ через тело режущего инструмента может быть сформулирована следующим образом.

Задано: способ подвода СОЖ и его характеристики (расход, максимальная скорость обработки, подача, период стойкости режущего инструмента и т.д.), стоимость материалов и энергоресурсов.

Требуется определить: технологическую себестоимость выполнения операции, количество каналов подвода СОЖ, общие приведенные затраты на устройство системы подвода СОЖ (система фильтрации, проектирование и производство режущего инструмента с подводящими каналами), срок окупаемости дополнительных капитальных вложений.

Обобщенная схема оптимизации выбора количества каналов подвода СОЖ представлена на рисунке 2.

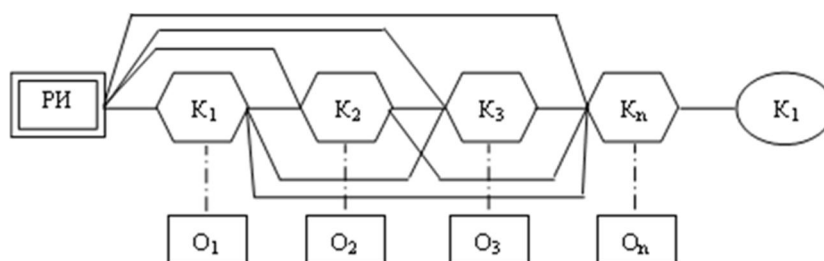


Рис. 2 – Обобщенная схема оптимизации выбора количества каналов подвода СОЖ
Математически задача может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \min [P(X_\phi, X_s, X_{\text{ри}})], \\
 P(X_\phi, X_s, X_{\text{ри}}) &= \sum_i P_i(X_\phi) + \sum_j P_j(X_s) + \sum_f P_f(X_{\text{ри}}), \\
 \text{т.е.} \quad P_0 &= \min [\sum_{i=1}^n P_i(X_\phi) + \sum_{j=1}^m P_j(X_s) + \sum_{f=1}^k P_f(X_{\text{ри}})] \quad (1) \\
 (i &= 1, n; j = 1, m; f = 1, k).
 \end{aligned}$$

Условия ограничения:

$$\begin{aligned}
 P_0 &\geq \sum_{i=1}^n P_i(X_\phi) \geq \sum_{f=1}^k P_f(X_{\text{ри}}); \\
 X_\phi &\geq 0; X_s \geq 0; X_{\text{ри}} \geq 0,
 \end{aligned} \quad (2)$$

где O – общие приведенные затраты по оптимальной схеме;

$X_\phi, X_s, X_{\text{ри}}$ – соответственно функции оптимизации устройства фильтрации, линий подачи СОЖ и режущих инструментов;

P_0, P_i, P_f – соответственно, общий расход, нагрузка по расходу через устройства фильтрации и режущие инструменты;

n – количество каналов подвода СОЖ.

Первое условие определяет эффективность использования режущего инструмента с заданным количеством каналов подвода СОЖ, а приведенные ограничения определяют наличие или отсутствие заданного элемента.

В настоящее время методы решения, которые позволяют находить абсолютно оптимальный вариант отсутствуют.

Это объясняется наличием следующих ограничений:

- целочисленность характеристик (количество каналов подвода СОЖ не представляет собой непрерывную функцию, она дискретна);
- нелинейность характеристик (зависимости приведенных затрат в расчетных уравнениях от определяющих характеристик элементов нелинейны);
- динамичность системы (нерегулярность давления в системе, динамика расхода СОЖ при переменном режиме работы и т.п.).

В связи с этим, подобные методы решения указанных задач позволяют получить результаты, близкие к оптимальному, а иногда и совпадающие с ним.

В практике решения могут применяться два принципиально различных метода.

В наиболее простых случаях (незначительное количество режимных параметров обработки, выбор способа подвода СОЖ ограничен, режим работы оборудования – стационарный) рекомендуется применять оценочный метод [5]. Сущность его состоит в том, что предварительным анализом определяются различные варианты способа подвода СОЖ, из которых впоследствии выбирается наилучший. Данный метод имеет определенные преимущества: возможность назначения способа подвода СОЖ на основе инженерных соображений, более точный учет нелинейности и дискретности при выборе оптимального варианта.

В общем случае наиболее предпочтительным является так называемый оптимизационный метод. При его применении рассматривается совокупность всех возможных сочетаний элементов способа с широкой вариацией их количества и характеристик. Данный метод основан на использовании линейного и нелинейного программирования. С помощью последнего определяются оптимальные параметры отдельных элементов системы при заданном состоянии, после этого с помощью системы линейного программирования производится переход системы от одного состояния к другому. Задача решается путем составления циклов приближения и заканчивается на варианте, когда в двух соседних по очередности циклах состав объектов и параметров полностью или с достаточной степенью точности совпадает.

Список литературы

1. Робастное проектирование и технологическая подготовка производства изделий авиационной техники: учеб. пособие / А.Я. Дмитриев, Ю.А. Вашуков, Т.А. Митрошкина. – Самара: Изд-во СГАУ, 2016 – 76 с.
2. Способы подачи СОЖ – Смазочно-охлаждающие жидкости (антифризы) [Электронный ресурс]. URL: https://vuzlit.ru/953484/sposoby_podachi#508 (дата обращения: 06.11.2019).
3. Применение СОЖ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/machine-tooling-solutions/tooling-considerations/pages/coolant.aspx> (дата обращения: 09.11.2019).
4. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжев и др. / Под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
5. Juan Carlos Campos Rubio, Bruna Aparecida Rezende, Luciano Machado Gomes Vieira, Hector Mucoz Romero Comparative study on lubricating and cooling conditions in the drilling process of electrolytic copper [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/329452325_Comparative_study_on_lubricating_and_cooling_conditions_in_the_drilling_process_of_electrolytic_copper (дата обращения: 06.11.2019).

05.13.01

**Н.И. Корякина, К.Р. Медведева, В.А. Чирков канд. техн. наук,
В.М. Штейн, А.А. Яковлев**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики имени академика Ф.М. Митенкова,
кафедра Ядерные реакторы и энергетические установки,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГОРИЗОНТЕ К 2050 ГОДУ

В статье производится моделирование ядерной энергетики Российской Федерации на горизонте к 2050 году. В предлагаемой модели используется прогнозирование социальных, демографических и экономических факторов. Исходные данные для построения модели получены из открытых источников. Разработанная модель позволяет спрогнозировать необходимую суммарную мощность электрогенерации атомных станций Российской Федерации для достижения доли выработки электроэнергии ядерно-энергетическим комплексом России на уровне 30% от общей генерации электроэнергии.

Ключевые слова: *ядерно-энергетический комплекс, электрогенерация, обобщенная зависимость, экономические факторы, прогнозирование, валовой внутренний продукт.*

При планировании выработки электроэнергии в масштабах страны основной задачей является обеспечение спроса и его изменения в зависимости от экономических и демографических факторов. Отследить эту взаимосвязь возможно, используя данных потребления электроэнергии прошлых лет.

Таблица 1 – Потребление электроэнергии РФ в 1990-2016 гг. (млрд кВт*ч)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
РФ	1073,8	840,4	863,7	875,4	878,3	902,9	924,2	940,7	979,9

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1002,5	1022,7	977,1	1020,6	1041,1	1063,3	1054,8	1064,9	1060,2	1077,9

Резкие изменения энергопотребления объясняются возникшим кризисом, связанным с распадом СССР, последовавшими реформами «Шоковой терапии» 1992-1998 годов, кризисом и дефолтом августа 1998 года, Мировым финансовым кризисом 2008-2009 годов, валютным кризисом в России в 2014-2015 годах.

В России после распада СССР в период до 2000 года резко снизились инвестиции в отрасль. Одновременно наблюдалась консервация станций, строительство которых уже велось. В это самое время указом президента РФ № 923 от 15 августа 1992 г. «Об организации управления электроэнергетическим комплексом Российской Федерации в условиях приватизации» создается РАО «ЕЭС России», которое начало свою деятельность 31 декабря 1992 года. [1]

Период с 1990 по 2000 года в России был 10-летием повсеместных неплатежей. Минимальный уровень обслуживания генерирующего оборудования при его эксплуатации не обеспечивался. Начиная с 2000 года, начался поиск причин кризиса энергетической отрасли и принятие кардинальных решений по ее восстановлению.

В 1991-1998 гг. произошел резкий спад производства электроэнергии, который еще не был преодолен в 1999-2015 гг. За годы реформ 1991-2017 гг. в России недопроизведено более 3 млрд кВт*ч электроэнергии (от достигнутого уровня 1990 г.), что эквивалентно трехлетней работе российской электроэнергетики в 2010-х гг.

В 2008-2009 гг. реакцией на экономический кризис стало снижение энергопотребления во всех секторах экономики, кроме спроса населения.

В декабре 2015 г. произошла интеграция энергосистемы Крыма в единую энергосистему России, что позволило сократить более 60% дефицита мощности в регионе и обеспечить до 20 часов подачи электроэнергии.

В 2016 г. завершилось строительство энергомоста в Крым, что обеспечило надежное прохождение курортного и осенне-зимнего периодов. Также одним из факторов, влияющих на изменение потребления, является температура наружного воздуха. В январе 2016 г. снижение температуры в России относительно прошлого года на 4,6°C повлияло на увеличение потребления электроэнергии в энергосистеме на 2,2%. [1]

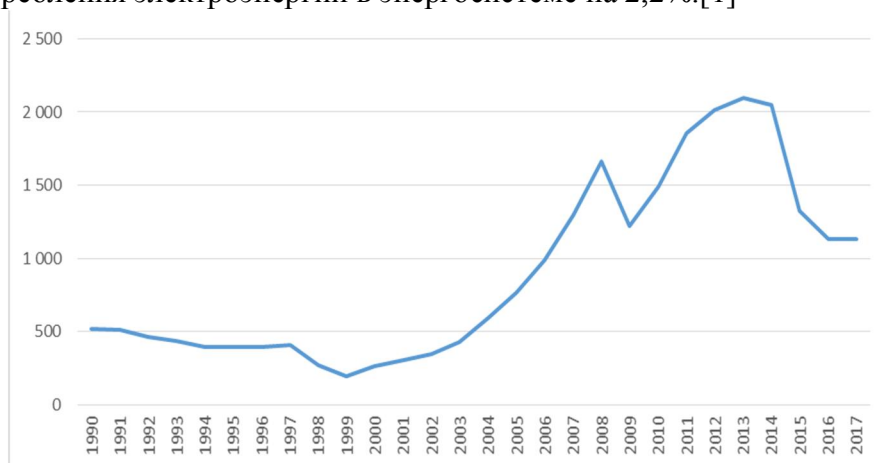


Рис. 1 – ВВП РФ по номиналу в млрд. дол. США

Согласно докладу ООН «Мировые демографические перспективы 2019 года», существует несколько сценариев изменения численности населения Российской Федерации к 2050 году.

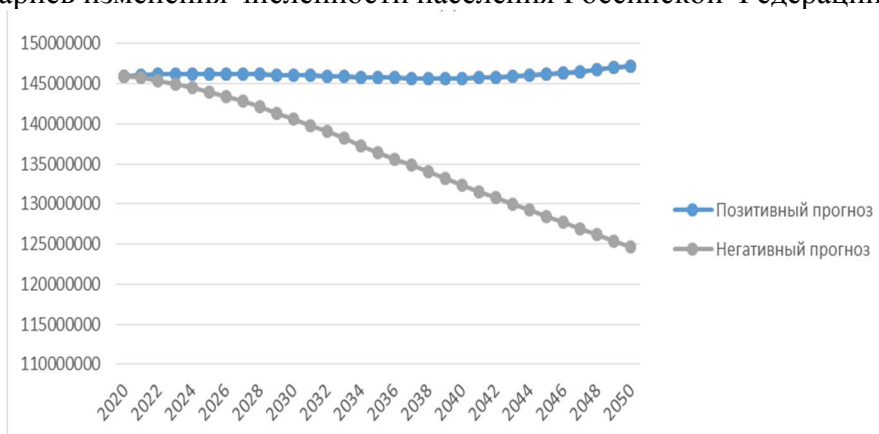


Рис. 2 – Прогнозы изменения населения РФ в 2020-2050

В соответствии с текущими планами по строительству новых блоков атомных станций и выводу из эксплуатации выработавших свой ресурс блоков, к 2050 году перестанут работать следующие блоки:

Таблица 2 – Выбывающие мощности до 2050 года.

АЭС	Год вывода блока	Мощность блока
Балаковская	2043-2045-2048	1000МВт
Ленинградская	2020-2025-2025	1000МВт
Курская	2021-2024-2028	1000МВт
Калининская	2025-2034-2038-2030	1000МВт
Кольская	2033-2034-2036-2040	440МВт
Ростовская	2031-2040-2045-2045	1000МВт
Смоленская	2027-2030-2034-2034	1000МВт
Нововоронежская	2032-2036	440,1000МВт
Белоярская	2025	600МВт

Суммарные потери составят 180,968 миллиардов кВт*ч в год (при КИУМ в 83%).

Таблица 3– Работающие в 2050 году АЭС.

АЭС	Мощность блока
Балаковская	1000МВт
Ленинградская-2	1200МВт
Курская-2	1255МВт
Кольская	675МВт
Нововоронежская-2	1180МВт
Белоярская	850,1200МВт
Академик Ломоносов	38,38МВт

При действующих до 2050 года включительно блоках АЭС и текущих планах по вводу в эксплуатацию новых, годовая выработка электроэнергии ядерно-энергетическим комплексом Российской Федерации будет составлять 98,155 млрд кВт*ч.

На основе имеющихся данных энергопотребления за 1990-2016 годы, и связи динамики изменения ВВП на душу населения и энергопотребления, можно построить прогноз энергопотребления вплоть до 2050 года.

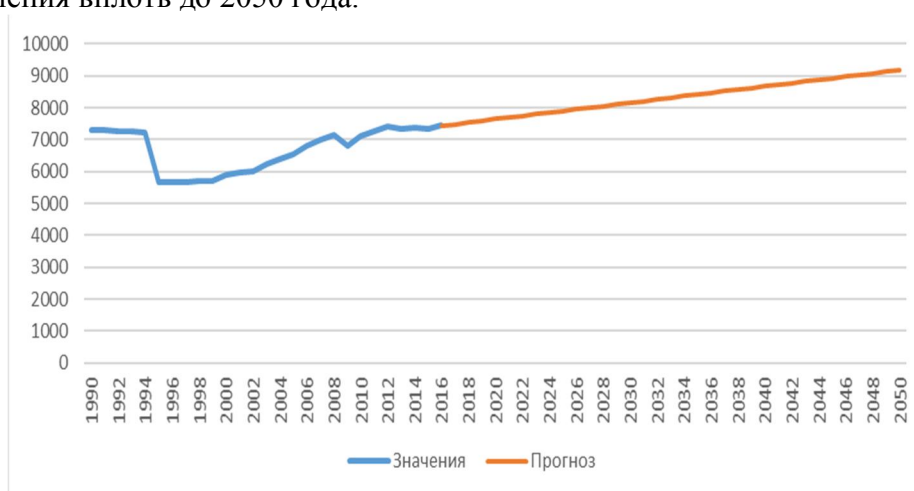


Рис. 3 – Потребление электроэнергии на душу населения в РФ, кВт*ч

Согласно построенной модели, к 2050 году годовое потребление электроэнергии на душу населения в РФ составит около 9182 кВт*ч.

Используя данные демографического прогноза, описанного ранее, суммарное энергопотребление в РФ составит или около 405 млрд. кВт*ч по позитивному сценарию, или около 343 млрд кВт*ч по негативному. В тоже время, если не начать строительство новых блоков уже существующих АЭС и принципиально новых АЭС, суммарная выработка всего ядерно-энергетического комплекса РФ к 2050 году, как уже говорилось ранее, составит 98,155 млрд кВт*ч, или 7,2% и 8,5% соответственно. Для достижения доли ядерно-энергетического комплекса в 30% от выработки электроэнергии в России, потребуется строительство 34 и 38 блоков АЭС типа ВВЭР-ТОИ, при среднем КИУМ 83%, соответственно для негативного и позитивного прогноза.

Список литературы

1. Организация Объединенных Наций, Департамент по экономическим и социальным вопросам, Отдел народонаселения (2019 год). Мировые демографические перспективы 2019 года, онлайн-издание, <https://population.un.org/wpp/>.
2. Группа Всемирного банка, [https://databank.worldbank.org/source/wdi-database-archives-\(beta\)](https://databank.worldbank.org/source/wdi-database-archives-(beta))
3. Анисимова П.С., Литвиненко Е.В., Анализ развития энергетической отрасли в РФ. – Экономика и бизнес: теория и практика. 2017. – 15 с.

05.13.01

¹В.В. Ломакин канд. техн. наук, ¹Н.П. Путивцева канд. техн. наук,
¹Т.В. Зайцева канд. техн. наук, ¹О.П. Пусная, ²А.В. Жуков

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
институт инженерных и цифровых технологий,
кафедра прикладной информатики и информационных технологий,
²ООО «Бюджетные и финансовые технологии»,
Белгород, lomakin@bsu.edu.ru, putivzeva@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru,
pusnaya@bsu.edu.ru, zhukov_a@bsu.edu.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В настоящее время на российском рынке программного обеспечения представлен широкий спектр платформ, которые позволяют разрабатывать корпоративные информационные системы, как для российского бизнеса, так и для совместных предприятий.

В данной работе приведен краткий многокритериальный анализ популярных российских платформ и разрабатываемой Платформы по наиболее актуальным требованиям к разработке и функционированию КИС. В качестве характеристик для сравнения платформ были выбраны: компонентный состав Платформы, поддерживаемое программное окружение, возможности масштабирования и отказоустойчивости, характеристики среды и технологий быстрой разработки приложений, характеристики администрирования и безопасности, характеристики систем управления базами данных, характеристики прикладных и интерфейсных механизмов, характеристики аналитических и отчетных механизмов, характеристики управления нормативно-справочной информацией и характеристики интеграционных механизмов.

Ключевые слова: платформа, корпоративные информационные системы, многокритериальный анализ, приоритетные критерии отбора.

1. Введение

Рассмотрим следующие российские платформы для разработки КИС: BarsUP + AlphaBI [1], Diasoft Framework [2], CUBA [3], 1С:Предприятие 8 [4], Motiware Melody One [5], AggreGate [6], Comindware Business Application Platform [7], ИК ИСКУ (разрабатываемая в рамках совместной деятельности предприятия и образовательного учреждения Платформа - информация по результатам процесса разработки платформы ИК ИСКУ представлена на момент проведения исследования) [8, 9].

Рассматривая представленные платформы разработки, можно отметить, что все они ориентированы на быстрое создание полнофункциональных приложений и веб-сервисов, построены на модульной архитектуре и содержат встроенный инструмент разработки, позволяющий быстро адаптировать их под необходимый функционал и интегрировать со сторонними системами.

Все рассмотренные платформы позволяют создавать прикладные решения путем настройки существующих системных компонентов и создания собственных. При этом разработка модулей для специфических бизнес-процессов пользователей практически не требует непосредственного кодирования. Исследуемые платформы обладают удобным и понятным графическим интерфейсом конфигурирования объектов системы, что способствует сокращению времени, затрачиваемого на создание полноценного решения.

Также все платформы (кроме «Diasoft Framework» и разрабатываемой ИК ИСКУ) и приложения на их основе могут быть развернуты как на локальных серверах, так и в защищенном облаке. При необходимости возможно гибкое сочетание этих вариантов развертывания.

Все рассматриваемые платформы разработки приложений имеют общие обязательные компоненты, которые являются отличительной характеристикой Платформ для разработки КИС. Практически все платформы предлагают инструментарий разработки и отладки приложения.

Для всех исследуемых платформ разработки бизнес-приложений заявлена поддержка операционной системы Microsoft Windows различных редакций. Большинство из них (кроме «Comindware Business Application Platform») также поддерживают работу с различными операционными системами на базе Linux.

Такие платформы как «CUBA», и «AggreGate» имеют в своем составе встроенные СУБД начального уровня, которые вполне подходят для исследования возможностей платформы и прототипирования приложений. Платформы «1С:Предприятие 8», «Comindware Business Application Platform» имеют полноценные встроенные СУБД собственной разработки.

Платформа ИК ИСКУ не имеет собственной СУБД, но обеспечивает поддержку различных свободных и проприетарных СУБД (например, «Firebird», «PostgreSQL», «Oracle», «Microsoft SQL Server», «DB2», «Sybase», «MySQL» и другие).

Архитектура большинства платформ обеспечивает высокую гибкость в вопросах масштабирования и увеличения производительности. Это позволяет масштабировать систему как горизонтально, за счет увеличения количества серверов приложений и СУБД, так и вертикально, за счет увеличения производительности оборудования. Помимо этого, практически все рассматриваемые платформы имеют возможность обеспечивать высокие характеристики отказоустойчивости за счет балансировки пользователей и задач, а также за счет полного резервирования критически важных узлов системы.

В разрабатываемом ИК ИСКУ на текущий момент не предусмотрено специализированных инструментов для масштабирования и управления производительностью. При этом масштабирование и резервирование обеспечиваются совокупностью используемых средств управления базами данных и средствами администрирования.

Большая часть представленных платформ содержит в своем составе различные конструкторы и редакторы, библиотеки стандартных подсистем и модулей, механизмы моделирования бизнес-процессов, а также отчетные механизмы, что позволяет сократить среднюю длительность проектов и стоимость разработки.

Практически все исследуемые платформы, а также решения на их основе, поддерживают все типы установки – в облаке, на собственных серверах и гибридный вариант. Также практически все рассматриваемые платформы разработки позволяют адаптировать разрабатываемые приложения для работы с мобильными устройствами.

Все рассматриваемые платформы разработки бизнес-приложений позволяют обеспечить хранение и защиту данных с использованием технологий, поддерживающих основные принципы синхронизации, репликации и резервирования.

Все рассматриваемые платформы имеют различные инструменты для настройки пользовательского интерфейса и элементов навигации, в том числе и через «drag-and-drop» технологию. Платформы позволяют осуществлять поиск данных по любым атрибутам объекта или сущности, а также внутри документов. Как правило, имеются механизмы индексирования и построения поисковых запросов любой сложности с учетом словоформ и возможности полнотекстового поиска.

В ИК ИСКУ присутствуют развитые средства настройки пользовательского интерфейса, а также имеются подсказки к элементам интерфейса и справочная система. Предусмотрена возможность автоматического оповещения пользователей о событиях бизнес-процесса в соответствии с установленной для бизнес-процесса формой ответственности пользователей и иных оповещений.

Все рассматриваемые платформы предоставляют широкие возможности для интеграции с различными внешними информационными системами на основе общепризнанных открытых стандартов и протоколов передачи данных. Разрабатываемая ИК ИСКУ поддерживает возможность интеграции с внешними системами на основе общепризнанных открытых стандартов и протоколов передачи данных, а обеспечивает выгрузки данных в форматах, поддерживаемых офисными системами.

2. Материалы и методы.

При решении задач использовался классический метод анализа иерархий.

Рассмотрим этапы применения метода Саати [10]:

1. Иерархическая декомпозиция проблемы «сверху-вниз».

2. Сравнительная оценка важности элементов иерархической структуры по отношению к вышележащему уровню на основе унифицированной шкалы. Набор матриц парных сравнений элементов H_i и H_j любого иерархического уровня $A_k = \|a_{ijk}\|_{h \times h}$, $a_{ijk} = s_i/s_j$, h – число сравниваемых базовых элементов, представляет собой *субъективную модель рационального выбора*, где предпочтительность элементов для ЛПР определяется как $H_i > H_j$, если $a_{ijk} > 1$; $H_i \approx H_j$, если $a_{ijk} = 1$; $H_i < H_j$, если $a_{ijk} < 1$.

3. Вычисление ценности (приоритета) вариантов путём агрегирования частных оценок элементов иерархической структуры «снизу-вверх», начиная с последнего (самого нижнего) уровня и кончая первым (самым верхним) уровнем.

Частная ценность варианта A_i по q -му критерию K_q

$$v_{iq} = v_q(A_i) = c_{iq} / \sum_{j=1}^m c_{jq}^q, \quad c_{iq} = (\prod_{j=1}^m a_{ij}^q)^{1/m}, \quad a_{ijq} = s_{iq}/s_{jq},$$

относительная важность (вес) критерия K_q

$$w_q = w(K_q) = c_{q0} / \sum_{l=1}^n c_{l0}^0, \quad c_{q0} = (\prod_{l=1}^n a_{ql}^0)^{1/n}, \quad a_{ij0} = s_{i0}/s_{j0},$$

общая ценность (приоритет) варианта A_i в виде аддитивной свертки

$$v(A_i) = \sum_q w_q v_q(A_i).$$

В качестве критериев были выбраны следующие группы характеристик:

K1 - компонентный состав;

K2 - поддерживаемое программное окружение;

K3 - возможности масштабирования и отказоустойчивости;

K4 - характеристики среды и технологий быстрой разработки приложений;

K5 - характеристики администрирования и безопасности;

K6 - характеристики систем управления базами данных;

K7 - характеристики прикладных и интерфейсных механизмов;

K8 - характеристики аналитических и отчетных механизмов;

K9 - характеристики управления нормативно-справочной информацией;

K10 - характеристики интеграционных механизмов.

Альтернативами были выбраны следующие платформы: П1 - BarsUP + AlphaBI; П2 - Diasoft Framework; П3 - CUBA; П4 - 1С:Предприятие 8; П5 - Motiware Melody One; П6 – AggreGate; П7 - Comindware Business Application Platform; П8 - ИК ИСКУ.

Было проведено парное сравнение групп характеристик для определения, какие из них наиболее важны при определении платформы с наилучшим набором характеристик. Результаты представлены на рисунке 1.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее значимым критерием является критерий K1 (компонентный состав).

Далее проводилось попарное сравнение альтернатив (Платформ) по каждому из критериев. В качестве примера представлены результаты вычислений по самому значимому критерию (рисунок 2).

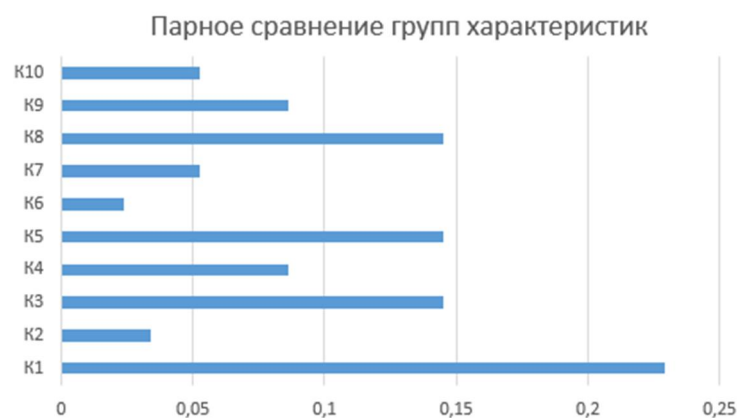


Рис. 1 – Результаты парного сравнения групп характеристик

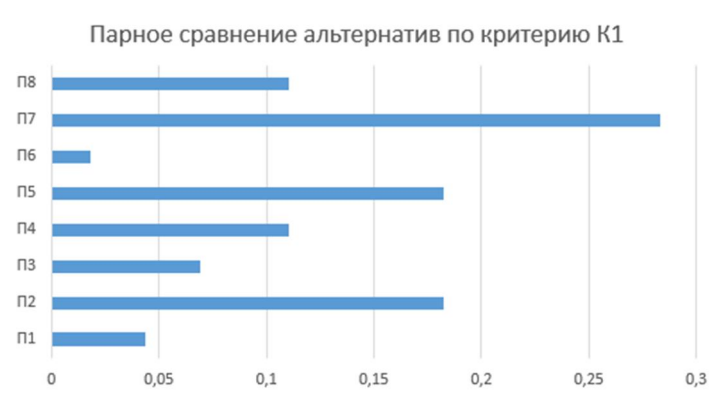


Рис. 2 – Результаты сравнения альтернатив по критерию K1

В результате был получен вектор глобальных приоритетов, который можно представить в графическом виде (рисунок 3).

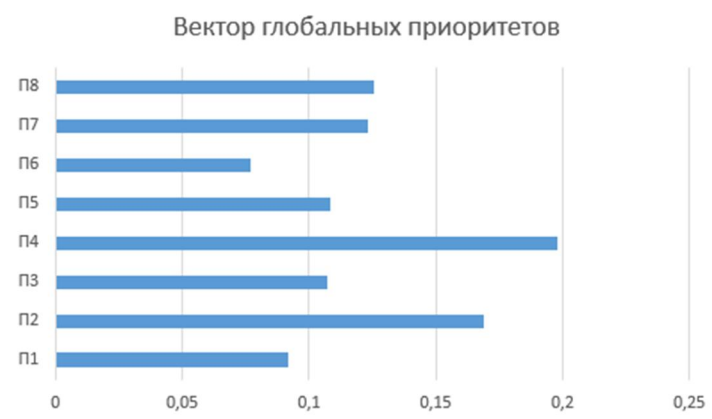


Рис. 3 – Графическое представление обобщенных результатов

3. Результаты и обсуждение.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее значимым критерием является критерий K1 (компонентный состав), также значимыми являются критерии: K3 (возможности масштабирования и отказоустойчивости), K5 (характеристики администрирования и безопасности) и K8 (характеристики аналитических и отчетных механизмов). Наименее значимыми являются критерии: K6 (характеристики систем управления базами данных) и K2 (поддерживаемое программное окружение).

Анализ результатов попарных сравнений альтернатив позволяет сделать следующие выводы:

- по критерию K1 – наилучшей альтернативой является платформа П7 (Comindware Business Application Platform), также хороший результат у платформ П2 (Diasoft Framework) и П5 (Motiware Melody One), наихудшей альтернативой является платформа П6 (AggreGate), разрабатываемая платформа П8 (ИК ИСКУ) показала результат выше среднего;

- по критерию K2 – тройкой наилучших альтернатив являются платформы П6 (AggreGate), П8 (ИК ИСКУ) и П1 (BarsUP + AlphaBI), наихудший результат у платформ П7 (Comindware Business Application Platform) и П5 (Motiware Melody One);

- по критерию K3 – наилучшей альтернативой является платформа П2 (Diasoft Framework), также хороший результат у платформы П5 (Motiware Melody One), наихудшей альтернативой является платформа П1 (BarsUP + AlphaBI), разрабатываемая платформа П8 (ИК ИСКУ) показала средний результат;

- по критерию K4 – лучший результат показали две платформы П2 (Diasoft Framework) и П3 (CUBA), наихудший результат у платформы П1 (BarsUP + AlphaBI), разрабатываемая платформа П8 (ИК ИСКУ) показала средний результат;

- по критерию K5 – наилучшими альтернативами являются платформы П2 (Diasoft Framework), П4 (1С:Предприятие 8) и П6 (AggreGate) наихудшей альтернативой является платформа П5 (Motiware Melody One), разрабатываемая платформа П8 (ИК ИСКУ) показала результат выше среднего;

- по критерию K6 – наилучшей альтернативой является платформа П4 (1С:Предприятие 8), также хороший результат у платформ П3 (CUBA) и П6 (AggreGate), наихудшей альтернативой являются платформы П1 (BarsUP + AlphaBI), П2 (Diasoft Framework) и П7 (Comindware Business Application Platform), разрабатываемая платформа П8 (ИК ИСКУ) показала результат выше среднего;

- по критерию K7 – тройкой наилучших альтернатив являются платформы П4 (1С:Предприятие 8), П3 (CUBA) и П8 (ИК ИСКУ), наихудший результат у платформы П5 (Motiware Melody One);

- по критерию K8 – лучший результат показали две платформы П1 (BarsUP + AlphaBI) и П4 (1С:Предприятие 8), также хороший результат у платформы П8 (ИК ИСКУ), наихудший результат у платформы П6 (AggreGate);

- по критерию K9 – тройкой наилучших альтернатив являются платформы П4 (1С:Предприятие 8), П8 (ИК ИСКУ) и П1 (BarsUP + AlphaBI), наихудший результат у платформы П5 (Motiware Melody One);

- по критерию K10 – наилучший результат у альтернативы П4 (1С:Предприятие 8), наихудший результат показали две платформы П6 (AggreGate) и П8 (ИК ИСКУ).

Анализ полученного вектора глобальных альтернатив позволяет выделить тройку наиболее приоритетных платформ для разработки КИС: П4 (1С:Предприятие 8), П2 (Diasoft Framework) и П8 (ИК ИСКУ). Наихудший комплексный результат показала платформа П6 (AggreGate).

Заключение.

Разрабатываемая Платформа среди всех рассматриваемых заняла 3-4 место. Проведенный анализ показал, что разрабатываемая Платформа ИК ИСКУ показывает стабильно высокие результаты среди наиболее распространенных на сегодняшний день Платформ для разработки КИС, при этом по ряду значимых критериев занимает 2-4 места. В целом можно сказать, что, поскольку оценка Платформы ИК ИСКУ проводилась в процессе выполнения проекта и с учетом промежуточных результатов, то в перспективе данная Платформа может претендовать на лидерство в своем сегменте.

Выполнено в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка методологии и инструментальных средств создания прикладных приложений, поддержки жизненного цикла информационно-технологического обеспечения и принятия решений для эффективного осуществления административно-управленческих процессов в рамках установленных полномочий», 2017-2018-09-187; постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010г. №218

Список литературы

1. Платформа бизнес-аналитики AlphaBI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bars-alpha.bi/> (дата обращения 13.09.2019)
2. Diasoft Framework [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.diasoft.ru/software/framework/About_DF/ (дата обращения 16.09.2019)
3. CUBA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cuba-platform.ru/> (дата обращения 14.09.2019)
4. Платформа «1С:Предприятие 8» конфигурация Бизнес-процессы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://v8.1c.ru/overview/Term_000000270.htm (дата обращения 15.09.2019)
5. Motiware Melody One [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.melody1.ru/> (дата обращения 15.09.2019)
6. AggreGate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aggregate.tibbo.com/ru/> (дата обращения 14.09.2019)
7. Comindware Business Application Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.comindware.com/ru/platform/> (дата обращения 15.09.2019)
8. Зайцева Т.В. К вопросу о составе интегрированного комплекса средств высокоуровневой разработки и среды функционирования информационных систем корпоративного уровня / Т.В. Зайцева, В.В. Ломакин, Н.П. Путивцева, А.В. Жуков, О.П. Пусная // *Advances in Science and Technology Сборник статей XV международной научно-практической конференции*, Москва: «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2018. – С. 81-82.
9. Путивцева Н.П. Решение задачи выбора российских корпоративных информационных систем с использованием метода анализа иерархий / Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, В.В. Ломакин, О.П. Пусная, О.С. Резниченко // *Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии*, 2017, № 4. – С. 85 – 91.
10. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ., 2008. - 360 с.

05.13.01

А.О. Махорин канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра прикладной информатики,
mao@gnu.org

ЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЪЕКТИВНЫХ И БИЕКТИВНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

В данной статье рассмотрены практические способы целочисленного моделирования инъективных и биективных отображений, возникающих во многих задачах комбинаторной оптимизации. Показано, каким образом можно получить более сильные описания таких отображений, что позволяет существенно повысить эффективность решения соответствующих задач алгоритмами неявного перебора.

Ключевые слова: комбинаторная оптимизация, инъекция, биекция, целочисленное линейное программирование, алгоритм неявного перебора.

При решении задач комбинаторной оптимизации в различных прикладных областях очень часто возникает необходимость отыскания отображений, обладающих заданными свойствами и удовлетворяющих заданным дополнительным условиям задачи. Примерами таких задач могут служить задача формирования графиков оборота воздушных судов [1], где искомым отображением является назначение рейсов на конкретные борты (воздушные суда), а также задача размещения узлов беспроводной сети [2], где искомым отображением является назначение узлов сети на места, определяемые дискретной сеткой заданной области.

В соответствии с формальным определением отображение $F: A \rightarrow B$ ставит каждому элементу $i \in A$ области определения *единственный* элемент $j = F(i) \in B$ множества значений. Естественное целочисленное описание отображения в терминах двоичных переменных можно получить, если определить двоичные переменные x_{ij} , $i \in A$, $j \in B$:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } F(i) = j \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

и ввести систему ограничений

$$\sum_{j \in B} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in A,$$

которое выражает необходимое условие, что каждый элемент области определения $i \in A$ имеет ровно один образ $j = F(i) \in B$.

В большинстве прикладных задачах требуется, чтобы искомое отображение обладало дополнительными свойствами, к которым относятся:

1) сюръекция ($\forall j \in B: F^{-1}(j) \neq \emptyset$, где $F^{-1}(j) = \{i \in A: F(i) = j\}$ – полный прообраз элемента j):

$$\sum_{i \in A} x_{ij} \geq 1, \quad \forall j \in B;$$

2) инъекция ($\forall j \in B: |F^{-1}(j)| \leq 1$ – каждый элемент $j \in B$ имеет не более одного прообраза):

$$\sum_{i \in A} x_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in B$$

3) биекция ($\forall j \in B: |F^{-1}(j)| = 1$ – каждый элемент $j \in B$ имеет ровно один прообраз):

$$\sum_{i \in A} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in B$$

Далее рассматриваются в основном случаи (2) и (3), как представляющие наибольший практический интерес. Следует заметить, что в так называемом "ограничительном программировании" (см. например, [3]) указанные случаи соответствуют предикату "all different" ("все различные"), который используется при решении большинства задач о назначении. При этом случай биекции можно трактовать как частный случай инъекции, когда имеет место $|A| = |B|$.

Хотя описание искомого отображения в терминах двоичных переменных $x = (x_{ij})$ и указанных выше систем ограничений выглядит достаточно естественным, оно является неудовлетворительным с точки зрения методов неявного перебора (типа "ветвей и границ"), поскольку его ЛП-релаксация является крайне слабой (см. например, [4]). Поэтому в данной статье предлагается использовать более сильные целочисленные формулировки.

Поскольку множества A и B предполагаются конечными, то без ограничения общности можно считать, что $A = \{0, \dots, m-1\}$ и $B = \{0, \dots, n-1\}$.

Рассмотрим вначале случай биекции, полагая $m = n$ и вводя сопутствующие целочисленные переменные $z = (z_i)$, где $z_i = F(i) = \sum j \cdot x_{ij}$. Так как в любом целочисленно допустимом решении $0 \leq z_i \leq n-1$ и все z_i принимают различные значения, то равенство

$$\sum_{i \in A} z_i = \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} j \cdot x_{ij} = n(n-1)/2$$

является правильным (valid) для множества целочисленно допустимых решений S . Заметим далее, что имеется n аффинно независимых решений, удовлетворяющих указанному равенству, так как каждое допустимое решение представляет собой перестановку элементов множества A . Отсюда следует, что указанное равенство определяет фасету множества $\text{conv}(S)$.

Перейдем к более общему случаю $m \leq n$ (понятно, что если $m > n$, то инъективное отображение $A \rightarrow B$ не может существовать). Рассмотрим множество образов $\{i \in A: j = F(i)\}$ для некоторого инъективного отображения F (т. е. для некоторого целочисленно допустимого решения). Такое отображение определяет две упорядоченные последовательности образов: исходную последовательность $(j_0, \dots, j_{m-1})$, где $j_i = F(i)$, $i = \overline{0, m-1}$, а также последовательность $(j'_0 > \dots > j'_{m-1})$ тех же образов, но упорядоченных по убыванию. Используя метод индукции легко показать, что эти две последовательности удовлетворяют следующему неравенству:

$$\sum_{i=0}^{m-1} i \cdot j'_i < \sum_{i=0}^{m-1} i \cdot j_i$$

Указанное неравенство позволяет получить следующие правильные неравенства для $\text{conv}(S)$:

$$\sum_{k=1}^t z_{i_k} \geq t(t-1)/2, \quad t = \overline{0, m-1},$$

$$\sum_{k=1}^t z_{i_k} \leq t(2m-t+1)/2, \quad t = \overline{0, m-1}.$$

Действительно, во всяком допустимом решении $z^* = (z_0^*, \dots, z_{m-1}^*)$ имеется хотя бы одна нулевая и хотя бы одна переменная, равная 1, причем без ограничения общности этими переменными можно считать $z_0^* = 0$ и $z_1^* = 1$. Повторяя эти рассуждения для остальных компонент z^* , в конечном итоге получим:

$$\sum_{k=1}^t z_{i_k} \geq \sum_{k=1}^t z_i^* = \sum_{k=0}^t k = t(t-1)/2.$$

Второе неравенство доказывается аналогично.

Покажем, что указанные неравенства также определяют фасеты множества $\text{conv}(S)$. Пусть $\{i_1, \dots, i_k\} \subseteq \{1, \dots, m\}$, переменные $z_{i_1}, \dots, z_{i_k}$ принимают значения $(0, 1, \dots, t-1, t)$, $(1, 2, \dots, t, 0)$, и т. д., и пусть остальные переменные принимают значения из множества $\{t+1, \dots, n\}$. Достаточно очевидно, что указанные n (целочисленно допустимых) точек являются аффинно независимыми, а значит, каждое сочетание значений переменных из множества $\{t+1, \dots, n\}$ определяет фасету.

Техника получения рассмотренных выше неравенств по существу представляет собой лифтинг в пространство решений, расширенное вспомогательными переменными $z = (z_i)$, с последующей проекцией правильных неравенств в исходное пространство решений, определяемое искомыми двоичными переменными $x = (x_{ij})$.

Список литературы

1. Махорин А.О., Мусолов М.Н., Чуркин Д.Н. Автоматизированный программный комплекс для формирования графиков оборота воздушных судов.—М.: Труды МАИ, 2012, № 58.
2. Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Постановка задачи оптимизации размещения узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе.—Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014, № 6.
3. Walsh T., P. van Beek, F. Rossi. Handbook of Constraint Programming. Elsevier Science, 2006.
4. Williams H.P. Experiments in the formulations of integer programming problems. Mathematical Programming Study, 1974, 2, pp. 180-197.

05.13.01

М.А. Надежкин

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,
Институт Радиоэлектроники и Информационных Технологий,
Кафедра «Вычислительные системы и технологии»,
Нижний Новгород, nadezhkin.m.a@mail.ru

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ТАБЛИЦ РЕКОНФИГУРАЦИИ СТРУКТУРЫ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается проблема отказоустойчивости многопроцессорных вычислительных систем. Алгебраические структуры, в частности группы симметрии, предложены как основа модели обеспечивающей свойство отказоустойчивости вычислительной системе. Приведено описание разработанного алгоритма формирования таблиц реконфигурации.

Ключевые слова: *автоморфизм, теория групп, группы симметрии, отказоустойчивость.*

Рост степени информатизации в необслуживаемых объектах и объектах, где отказ системы может угрожать жизни или здоровью людей, а также вызвать большие материальные затраты, определяет актуальность проблем обеспечения устойчивости вычислительных систем к отказам.

Один из подходов к обеспечению отказоустойчивости опирается на повышенные показатели надежности, обеспечиваемые использованием элементного и схемотехнического обеспечения с большим запасом надежности и повышенным вниманием к технологическим процессам их изготовления. Другой подход не исключает появление отказов, но негативный эффект от их возникновения предотвращается или нивелируется посредством введения избыточности в целевую систему [1].

Далее описан предлагаемый подход к обеспечению отказоустойчивости вычислительных систем путем введения избыточности в ее исходную структуру.

Модель системы

Система представляется в виде связного графа, вершины которого представляют собой вычислительные узлы системы, а ребра описывают информационные связи (рис. 1).

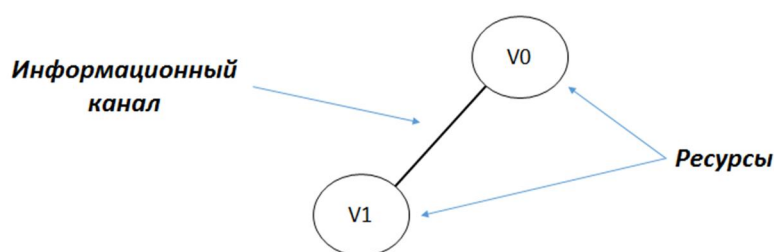


Рис. 1 – Модель системы

Логическая структура задачи, решение которой происходит с использованием целевой системы, определяется связями между вычислительными ресурсами и расписанием их использования [2].

Отказы в компонентах системы представляет собой изменение логической структуры в контексте данной модели. Согласно данной модели лишь вершины графа подвержены отказам, а дуги (ребра) графа остаются неизменными. Также следует принять допущение, согласно которому, вершины отказывают таким образом, что передача информации по информационным каналам возможна и через отказавшую вершину (рис. 2). Модель предполагает, по существу, что система представляет собой совокупность из двух независимых частей, а именно: ресурсов (представленных вершинами графа) и

коммуникационной сети (представленных ребрами графа), при этом коммутационная сеть устойчива к отказам.

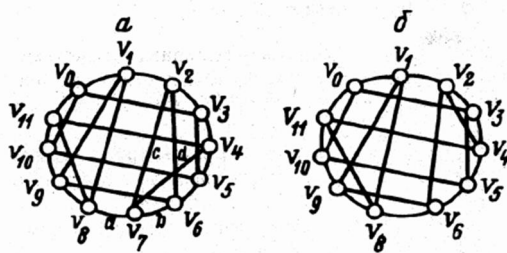


Рис. 2 – Модель неисправностей: а) граф G_{12} , б) граф G_{11} , V_7 неисправна

Для существования описываемой модели нужно принять следующую аксиому: любая k -ОУ система должна иметь по меньшей мере k единиц избыточного ресурса.

Избыточная структура G_r (рис. 3б) имеет минимальную избыточность по отношению к исходной G_0 (рис. 3а), если выполняются следующие условия:

1. $G_0 \in G_r$
2. G_r имеет минимальное число r_k избыточного ресурса (для k -ОУ $G_0 = k$)
3. Ни одна из избыточных вершин G_r не может быть удалена без нарушения связи между рабочими вершинами

Модель предполагает, что если в избыточном графе G_r откажет одна из вершин, не являющаяся избыточной, то возможно присвоение отказавшей вершине “логического имени” бывшей резервной вершины. В этом случае на оставшиеся функционирующие вершины из графа G_r “хватит” “логических имен”, ассоциированных с графом G_0 .

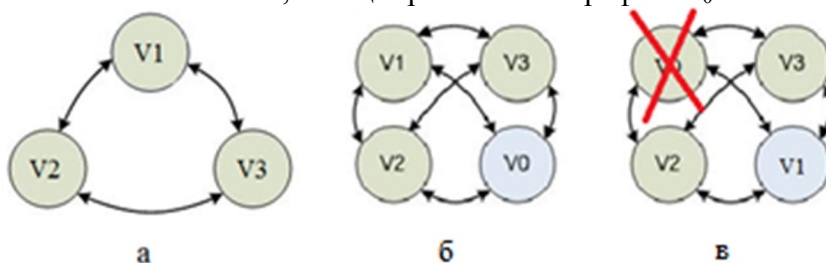


Рис. 3 – Введение избыточности: а) граф G_0 , б) граф G_r , в) граф G_r после “переименования” вершин

Нетривиальность процесса смены “логических имен” вершин состоит в присвоении отказавшей вершине логический номер избыточной вершины, все остальные вершины необходимо согласованно переименовать таким образом, чтобы инцидентности между новыми “логическими именами” остались неизменными. Иными словами, избыточный граф G_r после переименования вершин графа должен совпасть с самим собой, при этом допускается изменение положения графа в пространстве (рис. 3в). Такое преобразование графа называется инвариантным или его автоморфизмом.

Любой из автоморфизмов графа, в том числе и тождественный, является некоторым согласованным способом переименования вершин графа, сохраняющим инцидентности вершин графа. Совокупность всех этих автоморфизмов графа образует группу, что дает возможность использовать аппарат теории групп для анализа свойств изучаемых структур.

Выполнение инвариантного преобразования системы в случае наступления отказа ее компонента будем называть процессом реконфигурации. Целью данного процесса является замещение отказавшей вершины рабочей. Для выполнения реконфигурации необходимо наличие таблиц групповых преобразований (так называемых таблиц реконфигурации) в функционирующей системе. Алгоритм формирования таблиц реконфигурации приведен ниже.

Формирование таблиц реконфигурации

Условно описываемый алгоритм можно представить в следующем виде:

- 1) ввод исходных данных;
- 2) приведение введенных данных к виду исходного автоморфизма;
- 3) получение множества автоморфизмов исходного графа;
- 4) преобразование множества автоморфизмов исходного графа во множество возможных реконфигураций;
- 5) создание наборов таблиц реконфигурации на случай отказа каждой из вершин;

Этап формирования множества возможных автоморфизмов исходного графа представляет собой наибольший интерес. Он основан на индивидуальности свойств той группы симметрии, которой соответствует рассматриваемая структура. То есть, для каждой из возможных групп симметрии получение множества автоморфизмов происходит уникальным образом.

Циклическая группа симметрии (C_n) представляет собой группу циклических поворотов на угол $\alpha = 360^\circ / N$ вокруг оси, проходящей через центр O системы. Данная группа имеет порядок $|C_n| = N = n$, то есть содержит n автоморфизмов.

Диэдральная группа симметрии (D_n) состоит из собственных вращений в пространстве на углы $\alpha = 360^\circ / (N/2)$ вокруг оси, проходящей через центр O , и на 180° вокруг $N / 2$ осей второго порядка. Группа имеет порядок $|D_n| = N = 2n$ и содержит $2n$ автоморфизмов: тождественный автоморфизм; $n - 1$ поворотов на углы $2\pi k / n$, где $k = 1 \dots n - 1$; а также n отражений относительно осей, проходящих через центр O и образующих между собой углы, кратные $2\pi / n$.

Получение автоморфизмов тетраэдральной группы симметрии (T) основано на представлении плоского графа в виде пространственного. Группа вращений тетраэдра имеет 12 перестановок: вокруг каждой из четырех осей тетраэдра кроме тождественного возможны еще два вращения.

На программную реализацию описанного алгоритма получено свидетельство о регистрации авторских прав [3].

Заключение

Обоснована целесообразность применения алгебраических структур в процессе создание моделей построения отказоустойчивых систем, в частности, групп симметрии.

Разработан алгоритм формирования таблиц реконфигураций для систем, структура которых обладает свойствами циклической, диэдральной или тетраэдральной групп симметрии. Наличие данных таблиц в функционирующей системе, в совокупности с расписанием их использования, позволяет ей парировать одиночный отказ в любом вычислительном узле, при этих условиях система обретает свойство отказоустойчивости.

Список литературы

1. *Sil'yanov N.V.*, Fault-tolerant on-board computers design problems // Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis: Proceedings of the XXI International Open Science Conference. – Yelm, WA, USA. – Science Book Publishing House, 2016 – P. 283–288.
2. *Каравай М.Ф.*, Инвариантно-групповой подход к исследованию k-отказоустойчивых структур // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 1. – С. 144-156.
3. *Ломакина Л.С., Надежкин М.А., Сильянов Н.В.*, Формирование таблиц реконфигурации структуры отказоустойчивой системы. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2017617770 (Роспатент).

05.13.01

**А.Д. Плужников д-р техн. наук, Е.Н. Приблудова канд. техн. наук,
А.Г. Рындык д-р техн. наук, Д.М. Балашова канд. техн. наук,
Л.В. Когтева канд. техн. наук, Е.Г. Чужайкин**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева,
pribludova@nntu.ru

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ СКОРОСТИ ОБЗОРА

Повышение скорости обзора по угловой координате с целью пространственного подавления мешающих отражений от близко расположенных объектов при малой скважности зондирования является нетрадиционным для радиолокационного извлечения информации об окружающей среде. В работе проведен анализ обработки информации при обнаружении воздушных объектов в указанных условиях. Рассмотрены возможные модификации обработки информации при повышенной скорости обзора.

Ключевые слова: извлечение информации, обработка радиолокационной информации, повышение скорости обзора, диаграмма направленности.

Анализ возможностей выполнения требований к дальности действия лоатора при повышенной скорости обзора

В нашей работе [1] проведен синтез алгоритма пространственной обработки информации, содержащейся в радиолокационных сигналах, на основе использования известного Винеровского решения при оптимизации систем с антенными решетками. Результаты [1] показывают, что эффективность оптимизированной пространственной обработки растет по мере ускорения обзора, обеспечивая подавление мешающих отражений от местных предметов и подстилающей поверхности, называемых пассивными помехами (ПП), на десятки децибел. Повышение скорости Ω последовательного обзора по угловой координате приводит к пропорциональному уменьшению длительности τ_y пачки импульсов, отраженных точечной целью, и числа n_y импульсов в этой пачке, т.е. к пропорциональному уменьшению энергии принимаемого полезного сигнала. Последнее способно сократить дальность действия лоатора при обнаружении отраженных сигналов на фоне внутренних шумов приемных устройств.

Чтобы предотвратить сокращение дальности действия, целесообразно использовать межобзорную обработку сигналов. Тогда их энергия не будет зависеть от скорости обзора. Однако дальность действия все же может сократиться из-за перехода от когерентного внутриобзорного временного накопления сигналов к некогерентному межобзорному накоплению. Оценим возникающие при этом потери.

Допустим, что при временной обработке сигналов их когерентное накопление возможно в течение интервала с длительностью T_R , которая определяется формулой

$$T_R = 2R_{\max} / c, \quad (1)$$

где $R = R_{\max}$ - максимальная дальность отражений, c - скорость распространения электромагнитной волны. А элементы сигнала, разделенные большими интервалами, могут накапливаться лишь некогерентно [2]. Сделанное допущение соответствует применяемым на практике в радиолокационных станциях (РЛС) дальнего обнаружения системам обработки и объясняется как соображениями относительно допустимых объема и сложности аппаратуры обработки, так и принципиальными ограничениями относительно увеличения времени

когерентного накопления. Данные ограничения обусловлены достаточно широким спектром (до 400 Гц) флуктуаций радиолокационных сигналов, переизлученных маневрирующими воздушными целями [3].

Из проведенного анализа [4] следует

$$\tau_y = 2^{-1/2} \gamma_0^{-1} T_R \approx 2^{-1/2} \gamma^{-1} T_R \quad (2)$$

(приближенное равенство имеет место при дальности до цели $R_s \approx R_{\max}$, когда относительные скорости обзора $\gamma_0 \approx \gamma$).

Согласно [4], для эффективного пространственного и пространственно-временного подавления ПП при ускоренном сканировании требуется реализовать $\gamma_0 \approx \gamma \approx 1-3$. Тогда длительность принимаемого сигнала, вычисленная по формуле (2), будет приблизительно в (1,4-4,2) раз меньше длительности T_R интервала времени, на котором возможно когерентное накопление. В результате энергетические потери, обусловленные заменой когерентного накопления сигнала на интервале T_R (которое можно было бы осуществить при низкой скорости обзора) некогерентным межобзорным накоплением, не превышают 1 дБ [5]. Столь малые потери практически не отражаются на дальности действия локатора с повышенной скоростью обзора.

Для сокращения объема аппаратуры межобзорного накопления целесообразно заменить ускоренный круговой обзор ускоренным (электронным) секторным сканированием, осуществляя его внутри небольшого угла (например, в несколько раз большего ширины ДН) при возможном сочетании (если потребуется) с низкоскоростным (традиционным) механическим вращением антенны. В последнем случае время некогерентного накопления может быть уменьшено настолько, что для практической реализации не потребуются учет изменения координат движущейся цели за данное время.

Возможные модификации обработки информации при повышенной скорости обзора

Согласно [4], при ускоренном обзоре возможна оптимальная обработка сигналов, переизлученных с любой дальности R_s . При этом угол взаимного смещения главных максимумов ДН на излучение и прием

$$\varepsilon_{bw} = 2\Omega R_s / c \quad (3)$$

При условии $\gamma > 1$ для $R_s \approx R_{\max}$ оптимизации обнаружения наиболее удаленных целей пространственное подавление ПП с малых дальностей, как отмечалось в [4], аналогично действию ВАРУ, т. е. сопровождается ослаблением полезных сигналов от близко расположенных целей. Такое ослабление в некоторых случаях нежелательно. К ним следует отнести, например, тот случай, когда к РЛС предъявляются требования обеспечения максимальной дальности действия при обнаружении целей со сравнительно большой ЭПР и обеспечения меньшей (но близкой к потенциальной возможной) дальности действия при обнаружении целей с некоторой малой ЭПР. Тогда оптимизация параметров сканирующей системы для обнаружения наиболее удаленных целей с большой ЭПР приведет к уменьшению дальности обнаружения целей с малой ЭПР. Чтобы этого не произошло, могут быть оптимизированы дополнительные каналы обработки сигналов, переизлученных с различных дальностей R_s . С учетом (3) этим каналам должны соответствовать различные значения угла ε_{bw} , т. е. различные приемные ДН, что означает многолучевость антенной системы при ее работе на прием. На рис. 1 показан возможный вариант взаимного расположения основных лепестков приемных ДН (сплошные линии) и ДН на излучение (штриховая линия) в плоскости обзора. Организация многолучевости, очевидно, требует увеличения объема аппаратуры обработки сигналов, что иллюстрирует рис. 2. Цифры на этом рисунке соответствуют номерам основных лепестков приемных ДН (рис. 1), формируемых с помощью лучеобразующих устройств (ЛОУ). Увеличение аппаратурных затрат можно исключить, заменяя параллельный обзор по дальности последовательным

обзором по дальности. С этой целью для единственного приемного луча значение угла ε_{bw} должно изменяться последовательно во времени. Причем, благодаря ускорению обзора по угловой координате (азимуту), время обзора зоны обнаружения целей при разумном выборе программы изменения параметра ε_{bw} не превысит того значения, которое реализуется в традиционном случае низкой скорости сканирования.

Новые возможности обработки сигналов при ускоренном сканировании появляются, если организовать многолучевость не только на прием, но и на передачу. Размещая в данном случае лучи так, чтобы они не перекрывались в плоскости обзора (сканирования), образуем несколько пар (рис. 3), каждая из которых включает в себя один передающий луч (штриховые линии на рисунке), опережающий при сканировании, и один приемный (запаздывающий, сплошные линии). Причем для оптимизации обнаружения целей на дальности R_s взаимное смещение ε_{bw} передающего и приемного лучей в любой паре должно быть одинаковым и равным правой части (3). Тогда с целью дополнительной межлучевой компенсации ПП можно реализовать пространственно-временную обработку, построенную на базе объединения весовым сумматором (с соответствующими задержками) выходов (пронумерованных на рис. 4 в соответствии с номерами пар лучей, приведенными на рис. 3) систем обработки сигналов, действующих по различным приемным лучам. На рис. 4 ЛЗ – линия задержки на время, за которое сканирующие диаграммы направленности (ДН) смещаются на угол между соседними парами лучей (рис. 3). Эффективность такой межлучевой компенсации ПП, в отличие от межпериодной временной обработки, определяется не длительностью пачки, переизлучаемой точечным объектом при заданной скорости обзора [4], а неидентичностью ДН различных упомянутых пар и неидентичностью каналов обработки, соответствующих различным приемным лучам (кроме того, как обычно, хаотическими перемещениями мешающих отражателей и нестабильностями аппаратуры).

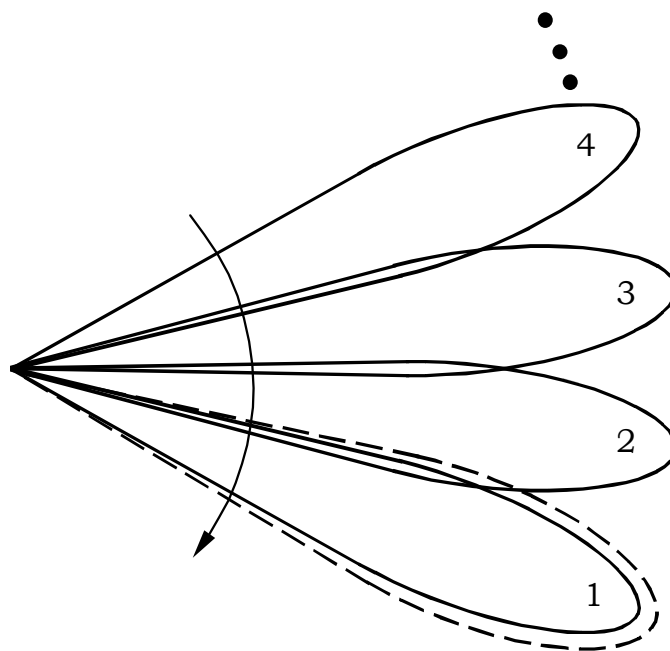


Рис. 1 - Многолучевость на прием

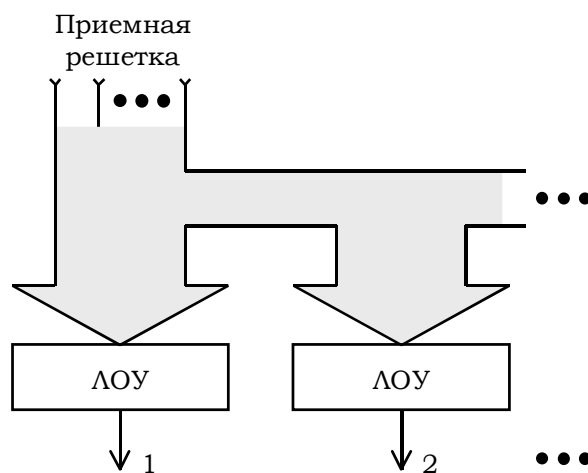


Рис. 2 – Параллельный обзор по дальности

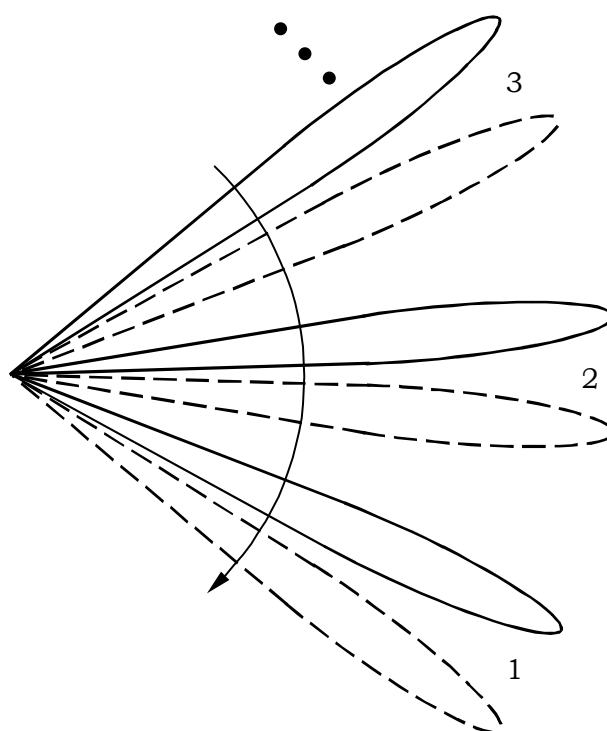


Рис. 3 – Многолучевость на прием и на передачу

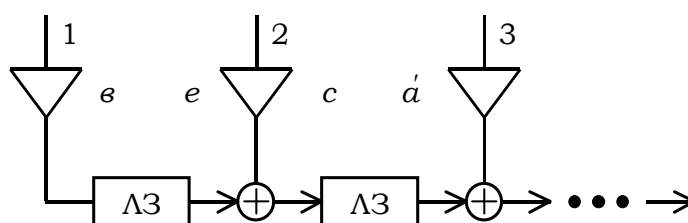


Рис. 4 – Пространственно-временная обработка

Возможно также комбинирование последнего варианта организации многолучевости на передачу и прием с рассмотренными выше вариантами параллельного или последовательного обзора по дальности.

Выводы

1. Некогерентное межобзорное накопление полезных сигналов предотвращает сокращение дальности действия локатора, которое могло бы произойти из-за уменьшения длительности переизлученной объектом пачки импульсов при ускорении обзора по угловой координате.

2. Параллельный или последовательный обзор по радиальной координате при ускоренном сканировании обеспечивает оптимизацию пространственной обработки сигналов, отраженных с различных дальностей.

3. Время последовательного обзора по угловой и радиальной координатам не превышает традиционно реализуемых значений.

4. Организация многолучевости на передачу и на прием в плоскости ускоренного обзора позволяет осуществить межлучевую компенсацию пассивных помех как дополнительное средство селекции движущихся целей, не чувствительной к изменению числа импульсов в отраженных точечными элементами пачках.

Список литературы

1. *Pluzhnikov A.D., Pribludova E.N., Ryndyk A.G.* Cylindrical Array as a means of the Clutter Suppression via Scanning Acceleration and Space-Time Signal Processing // Proc. of the 11th European Radar Conference (Rome, Italy). 2014. pp. 561-564.
2. *Лезин Ю.С.* Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов.- М.: Советское радио, 1969.- 448 с.
3. *Сосулин Ю.Г., Фишман М.М.* Теория последовательных решений и ее применения.- М.: Радио и связь, 1985.- 272 с.
4. *Плужников А.Д., Рындык А.Г.* Пространственная обработка локационных сигналов на фоне пассивных помех // Радиотехника и электроника.- 1987.- № 10.- С. 2220-2223.
5. *Ширман Я.Д., Манжос В.Н.* Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех.- М.: Радио и связь, 1981.- 416 с.

05.13.01

И.С. Полевщиков канд. техн. наук, К.Н. Баяндин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра информационных технологий и автоматизированных систем,
Пермь, i.s.polevshchikov@mail.ru, bayandink@yandex.ru

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НАВЫКАМ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МЕТОДОВ «ЧЕРНОГО ЯЩИКА»)

Представлены результаты исследований в области автоматизации обучения методам тестирования программного обеспечения (на примере одного из методов «черного ящика»). Разработан прототип программного продукта, применение которого способствует ускорению процесса обучения и повышению понимания предметной области за счет высокого уровня интерактивности и визуализации. Данная программа может быть усовершенствована с целью использования в реальных проектах для упрощения работы специалистов по тестированию.

Ключевые слова: тестирование программного обеспечения, методы черного ящика, граф причин-следствий, автоматизация образовательного процесса.

Тестирование является обязательным этапом в создании качественного программного обеспечения (ПО), поэтому задача выработки навыков тестирования у начинающих разработчиков является одной из ключевых.

На начальном этапе обучения специалистов требуется получить знания основных понятий и особенностей тестирования ПО, освоить ряд алгоритмов тестирования небольших программ. Каждый такой алгоритм включает последовательность взаимосвязанных действий [1], на понимании которой важно сконцентрировать внимание обучаемого.

Применение программных продуктов для формирования и оценки профессиональных навыков (в частности, при подготовке ИТ-специалистов) является одним из важных направлений совершенствования образовательного процесса [1-4]. Разнообразие предметных областей (основы программирования, написание запросов к базам данных, методы тестирования ПО, методы проектирования ПО и т.д.) способствует созданию новых моделей и методов в области автоматизации процесса обучения соответствующим дисциплинам. В частности, каждый отдельный алгоритм тестирования обладает своей спецификой [1], что требуется учесть в ходе автоматизации обучения.

Актуальными являются дальнейшие исследования в области разработки программных продуктов, применение которых способствует повышению эффективности обучения тестированию ПО. Данные программы должны:

- быть интерактивными, т.е. позволяющими обучаемому получать от системы обратную связь на каждое отдельное действие в ходе тестирования ПО;
- обладать высоким уровнем визуализации, в частности позволять строить требуемые графические модели [1], предусмотренные изучаемыми алгоритмами тестирования ПО.

Разработаны методика выполнения студентом практического задания и прототип программы для автоматизации обучения навыкам тестирования ПО методами «черного ящика» (на примере алгоритма, основанного на построении диаграмм причин-следствий [5]). Шаги методики разобраны далее на примере.

На *шаге №1* согласно заданной преподавателем постановки задачи студентом определяются начальные причины и следствия и указываются соответствующие переменные (пример пользовательского интерфейса представлен на рис. 1 под №1 и №2 для указания причин и следствий соответственно).

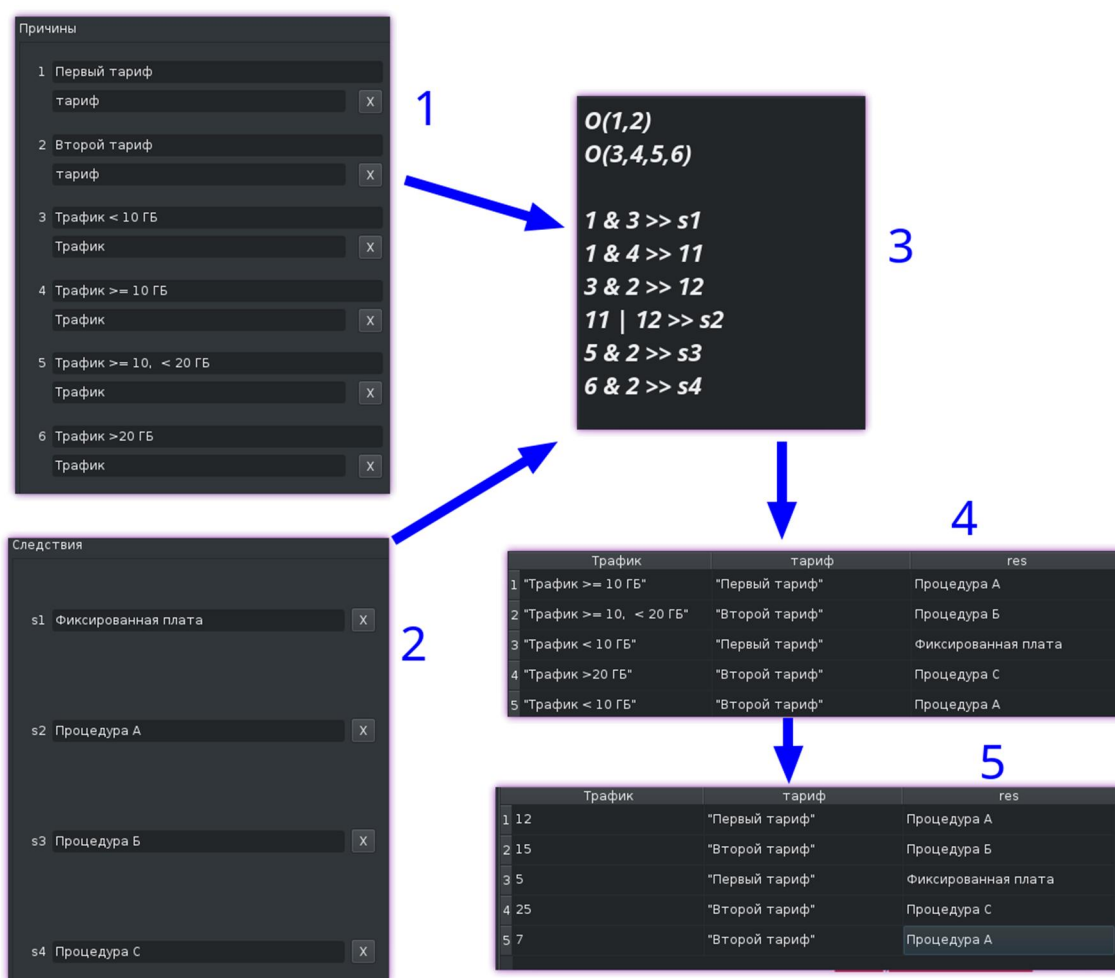


Рис. 1. – Интерфейсы программного продукта в соответствии с шагами разработанной методики

На *шаге №2* обучаемый описывает диаграмму (граф) причин-следствий. Создан специальный язык описания диаграмм, отличающийся предельной простотой и легкостью освоения ввиду интуитивно понятного синтаксиса. Данный язык состоит из «высказываний», каждое из которых записывается в отдельной строке. «Высказывания» могут быть 2 типов: функции и ограничения (согласно терминологии диаграмм причин-следствий [5]).

Функция принимает на вход булеву интерпретацию первичных (определенных обучаемым изначально) или вторичных (результатов действия функций) причин и возвращает булево значение. Функции выполняют типичные логические операции («И», «ИЛИ», «НЕ»). Ограничения накладываются на первичные причины, позволяя сократить число тест-кейсов и исключая невозможные на практике случаи (например, когда две причины не могут быть истинны одновременно).

Пример «кода» графа причин-следствий на указанном языке продемонстрирован на рис. 1 в интерфейсе №3.

Преимущества созданного языка: простота и лаконичность описания диаграмм причин-следствий; возможность легко выделить дуги и вершины графа и использовать их для описания итогового графа на более низкоуровневом языке, например, на языке DOT.

Таким образом, с помощью данного языка можно избавить обучаемого от использования более сложного и менее специализированного для области тестирования языка описания графов. При этом сохраняются существенные характеристики, которыми может управлять обучаемый (названия вершин графа, которые задаются как названия причин, направления ребер и т.п.), и, соответственно, качество итогового графа. Визуальное представление графа автоматически генерируется программой на основе его описания на рассмотренном выше языке (рис. 2).

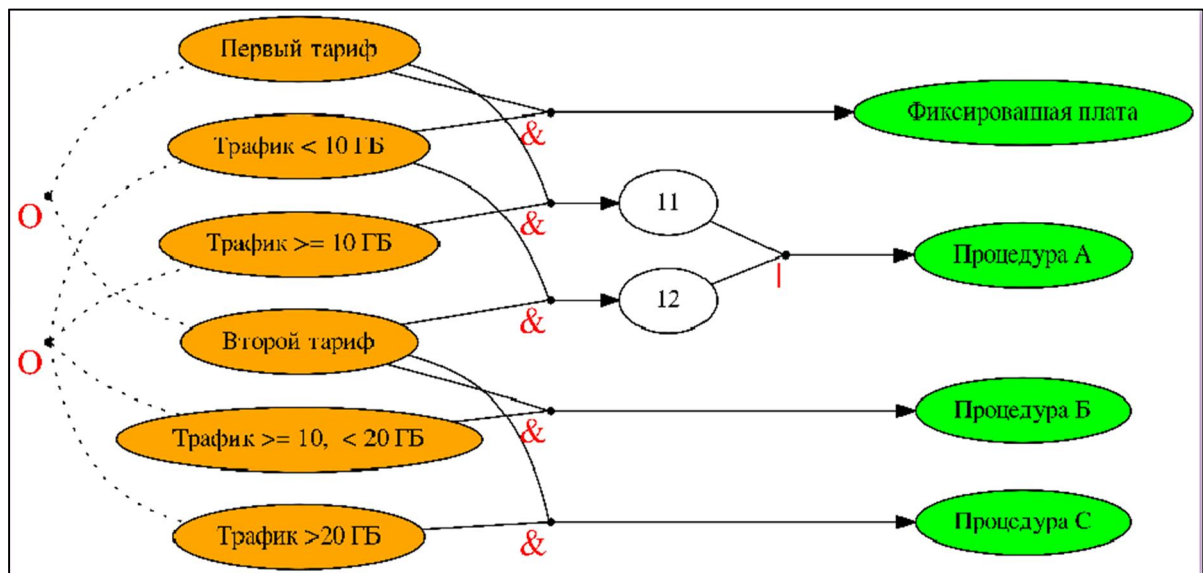


Рис. 2. – Пример визуального представления построенного графа

Одной из перспектив развития методики является расширение языка описания диаграмм причин-следствий для более компактной записи функций и ограничений. Например, приоритетное выполнение операций, позволяющее обучаемому опускать вторичные причины. Вместо

1 & 2 » 11

3 & 4 » 12

11 | 12 » s1

можно писать (1 & 2) | (3 & 4) » s1, что значительно короче и читабельнее.

Добавление других булевых операций (штрих Шеффера, стрелка Пирса, импликация) может сократить количество простых операций.

На шаге №3 на основе графа автоматически строится таблица тест-кейсов с указанием причин как ограничений на область значения переменных. Например, причина «Трафик > 20 ГБ» является ограничением на область допустимых значений переменной «Трафик». Пример сгенерированной таблицы представлен на рис. 1 в интерфейсе под №4.

На шаге №4 обучаемый на основе заданных ограничений для каждой переменной тест-кейсов выбирает конкретное значение, удовлетворяющее условиям. Пример заполненной таблицы представлен на рис. 1 в интерфейсе под №5.

Заполнение таблицы тест-кейсов конкретными значениями – затратная по времени часть задания и требует высокой концентрации внимания. Автоматизация этой части работы позволит сфокусироваться на самом методе составления тест-кейсов. Перспективой развития методики является автоматический подбор конкретных значений под ограничения в таблице тест-кейсов. Один из вариантов реализации:

1. Для каждой причины указывается функция принадлежности на известном обучаемому скриптовом языке. На выходе функции – булево значение, показывающее, справедлива ли данная причина для переданного на вход функции значения. Пример на языке Python 3.7 (проверка, справедлива ли для некоторого значения причина «х четное»):

```
def reason_1(x):
    return x % 2 == 0
```

2. Для каждой переменной указывается ее тип. Например, целый, вещественный, строка или массив значений.

3. Для каждого типа указывается множество значений на скриптовом языке. Пример на языке Python 3.7:

```
set_int = set(i for i in range(-10000, 10000))
set_str = set({'str1', 'STR1', 'str1123'})
```

4. В итоге, программа для каждой переменной в каждом тест-кейсе выберет из множества значений, соответствующего типу переменной, значение, удовлетворяющее каждому из указанных для данной ячейки ограничений. Если значение не найдено, то можно заполнить вручную.

В результате работы описанной обучающей программы будет сгенерировано 3 файла: csv-файл с входными параметрами тест-кейса и ожидаемым результатом; код на языке DOT; изображение итогового графа формата «JPEG».

Оценить результаты проделанной обучающей работы можно на основе применения подходов, описанных в [1]. Преподаватель оценивает выполнение каждого из этапов тестирования (указание причин-следствий, описание диаграммы, заполнение таблицы тест-кейсов), на основе чего автоматически определяется итоговая оценка (по 100-балльной и 5-балльной шкалам). Процесс оценивания некоторых из этапов можно упростить, в частности, автоматически сравнивать созданный обучаемым граф причин-следствий с эталонным (аналогично алгоритму сравнения потоковых графов, рассмотренному в работе [1]).

Таким образом, разрабатываемый программный продукт:

1) может помочь в изучении методов тестирования, поскольку обладает высоким уровнем интерактивности и визуализации, что должно ускорить обучение и повысить уровень понимания предметной области;

2) может быть усовершенствован в качестве корпоративного решения для компаний, имеющих потребность в высоком уровне покрытия тест-кейсами своего программного кода.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам (№ стипендии СП-100.2018.5), назначенной Советом по грантам Президента Российской Федерации.

Список литературы

1. Файзрахманов Р.А., Полевицков И.С. Применение математических методов для автоматизации контроля навыков при изучении алгоритмов тестирования программного обеспечения // XXII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2019) [Электронный ресурс] : сб. докл., 23-25 мая 2019 г. / Санкт-Петерб. гос. электротехн. ун-т «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) [и др.]. Санкт-Петербург : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. Секция 2. С. 162-166.
2. Kovacic Z., Green J. Automatic Grading of Spreadsheet and Database Skills // Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice. 2012. V. 11. pp. 53-70.
3. Lisitsyna L.S., Smetyuh N.P., Golikov S.P. Models and Methods for Adaptive Management of Individual and Team-Based Training Using a Simulator // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. Vol. 66. No. 1. P. 012010.
4. Першин А.А. Методы создания интерактивных онлайн курсов на основе игровых механик: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Санкт-Петербург, 2014. 129 с.
5. Калинин М.В., Полевицков И.С. Автоматизация процесса тестирования программного обеспечения на основе построения диаграмм причин-следствий // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. 2017. Т. 1. С. 45-51.

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

05.13.06

**Д.Г. Алленов канд. техн. наук, Р.А. Пинаев,
В.И. Кравченя канд. техн. наук, Г. Сиамак канд. техн. наук**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования "Российский университет дружбы народов",
инженерная академия, департамент машиностроения и приборостроения,
Москва

**АНАЛИЗ ИЗНОСА ПОДШИПНИКОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО СПЕКТРА
ПРИ ПЕРЕДАЧЕ КРУТЯЩЕГО ДВИЖЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОМОТОРА**

В статье проводится исследование подшипников разной степени износа с помощью метода прямого спектра. Для исследования используется узкополосный спектральный анализатор. Опыт проводится с целью определения влияния вида износа подшипников на частотные характеристики виброакустического сигнала, с помощью чего предположительно возможно прогнозирование выхода из строя подшипника.

Ключевые слова: подшипники качения, виброакустическая диагностика, амплитудно-частотная характеристика.

Введение

Актуальность данной статьи обусловлена широким применением подшипников качения в механизмах и машинах, а также необходимостью дальнейшей разработки эффективных методов и средств диагностики подшипников в условиях эксплуатации. В реалиях производства своевременная диагностика позволяет избежать частого ремонта оборудования, особенно малой и средней мощности, у которого дефекты подшипников качения являются одной из доминирующих причин поломок [1,2].

Анализ спектра виброакустического сигнала является одним из основных методов диагностики износа и деформаций. Данный метод нашел применение при мониторинге как режущего инструмента, так и деталей в сопряжениях [3, 4].

Методика проведения исследований.

При диагностике подшипников использовался анализатор спектра A17-U8 с подключенными к нему вибродатчиками. Программное обеспечение позволяет оценивать следующие параметры: общий уровень вибрации (интегральное значение); пиковое значение вибросигнала - при появлении микротрещин в подшипнике возникают удары, присутствие которых сопровождается увеличением пикового значения сигнала с вибродатчика; интегральный уровень вибрации в полосе частот от 10 до 1000 Гц - в соответствии с требованиями ГОСТ 25275-82 (СТ СЭВ 3173-81) "Приборы для измерения вибрации вращающихся машин. Общие технические требования" [5]; отношение интегральных уровней в низкочастотной (НЧ) и высокочастотной (ВЧ) областях - параметр говорит о возникновении неисправностей, связанных с высокочастотным шумом, причинами которых могут быть отсутствие смазки, дефекты тел качения или сепараторов; уровень вибрации на оборотной частоте - биения на вальной частоте в случае дисбаланса ротора; уровень вибрации на частоте субгармоники - вибрация на основной частоте вращения сепаратора; общий уровень гармоник - дефекты шариков, роликов, сепараторов; уровень вибрации тел качения.

Вибрационный сигнал анализируется узкополосным спектр-анализатором и по частотному составу спектра можно идентифицировать возникновение и развитие дефектов подшипника [6,7].



Рис.1 – Анализ спектра вибрации подшипника качения

Испытанию подверглись подшипники качения с износом в виде: деформации сепаратора и уплотнителя вследствие механических ударов № 1; с наличием стружки № 2, 3, возникающей вследствие физического износа деталей машины; в смазке подшипника №4; без износа № 5; подшипник со следами коррозии № 6.



Рис. 2 – Испытуемые подшипники

Подшипники поочередно устанавливались на динамический стенд, через электромотор передавалась необходимая частота вращения (200 об/мин). Через акселерометры, подключенные к стенду записывались вибро-акустические сигналы АЧХ и обрабатывались на ЭВМ.

Результаты исследований и их обсуждение

По графикам результатов исследования виброакустических сигналов (рис.3) можно сделать выводы по влиянию вида износа подшипников на частотные характеристики виброакустического сигнала. Износ подшипников в виде механического износа ведет к повышению уровня шума в области низких частот 0,1 – 0,25 Гц (амплитуда шума изношенного подшипника 59 выше уровня неизношенного 58 на 2 %). Недостаток смазки в подшипнике и наличие в нем коррозии приводит к повышению амплитудных частот в области высоких частот 4000 – 10000 Гц.

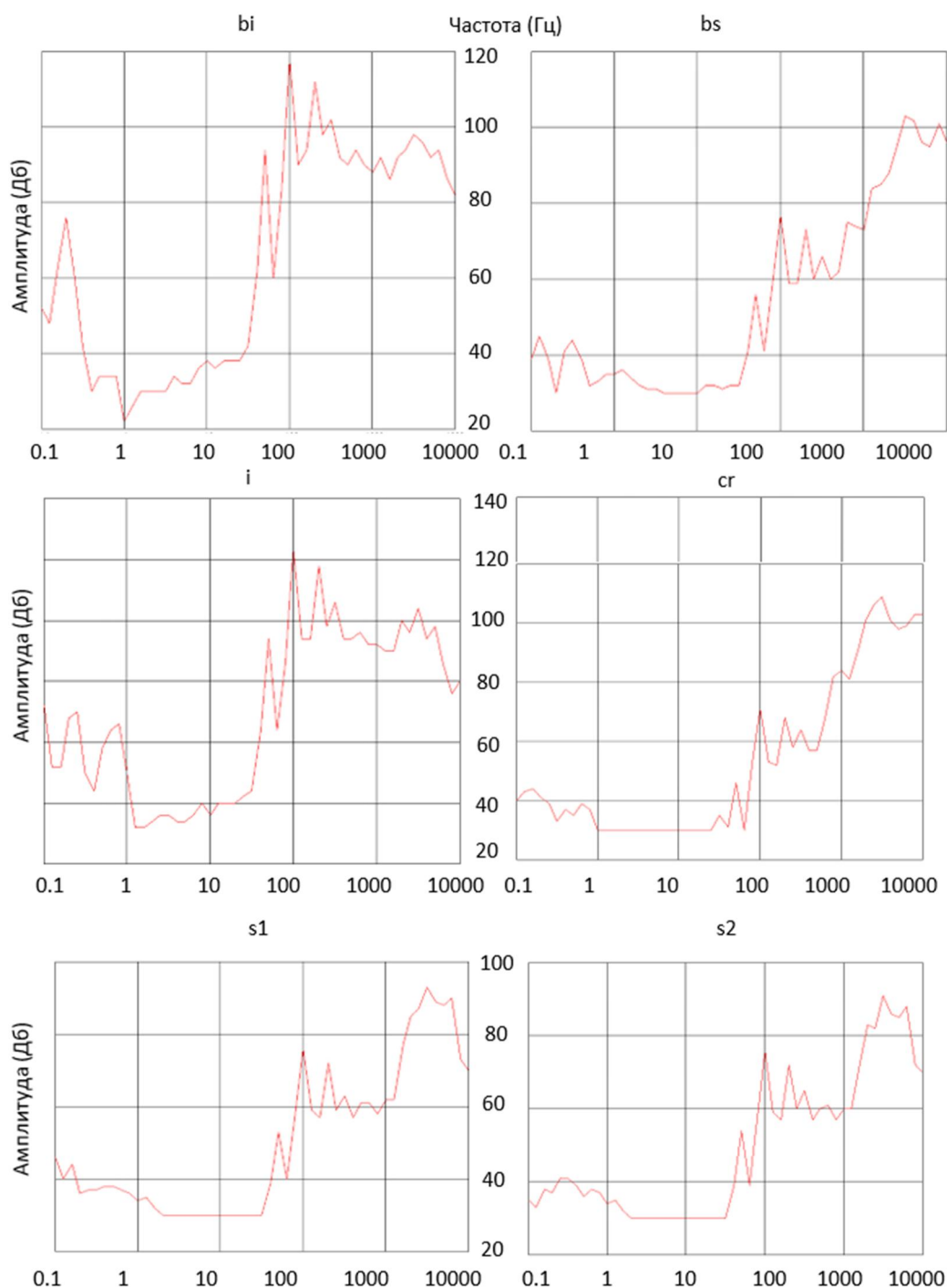


Рис.3 – График результатов средних значений измерения виброакустики
bi – без износа; *bs* – без смазки; *i* – с износом; *s1* – со стружкой 1;
s2 – со стружкой 2; *cr* – со следами коррозии

Амплитуда подшипника без смазки составляет 104, а подшипника с коррозией 106, что выше амплитуды неизношенного подшипника 68 на 35 % и 36 % соответственно. Наличие небольшого количества абразивной стружки в смазке подшипников на раннем этапе засорения повышает амплитуды (48 дБ) в областях низких частот 0,25 – 1 Гц в то время, как наличие существенного количества стружки в смазке повышает амплитуды на всех частотах, но особенно это заметно в диапазоне средних частот 100 – 1000 Гц.

Выводы.

Анализ полученных данных показал, что метод виброакустической диагностики позволяет проводить мониторинг износа подшипников и определять причину его возникновения. В качестве диагностического параметра вида износа наиболее эффективным является амплитудная частота, а для величины износа - амплитуда виброакустического сигнала.

Список литературы

1. Григорьев С.Н., Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Синопальников В.А. Диагностика технологического оборудования в современном станкостроении. // Технология машиностроения. 2012. №1. С. 45-50.
2. Алленов Д.Г., Смирнова И.Ю., Феоктистова Д.А. Актуализация методов технологического обслуживания и ремонта станочного парка // Научно-технический вестник Поволжья. 2018г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – №5. – с. 96 – 98.
3. Kozochkin M.P., Allenov D.G., Andryushchenko I.S. Use of Vibro-acoustic Monitoring for Stabilization Stress–Strain State of Surface Layer of Workpiece During Cutting. // Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2019. – pp 1355-1363.
4. Козочкин М.П., Гурин В.Д., Кочеткова А.И., Алленов Д.Г. Мониторинг состояния шлифовальных операций путем измерения параметров сигналов вибраций // Вестник «Станкин». – М.: 2016. – №4. – с. 30 – 35.
5. ГОСТ 25275-82. Система стандартов по вибрации. Приборы для измерения вибрации вращающихся машин. Общие технические требования
6. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: журнал / Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. - СПбГМТУ, 2000. 159 с.
7. Козочкин М.П., Маслов А.Р., Порватов А.Н. Информационно-измерительные и управляющие системы силовых и виброакустических параметров // Измерительная техника, №8. 2015. С. 5-9.

05.13.06

**Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, Ю.В. Горячкин канд. техн. наук,
Е.И. Клечкин, М.В. Сеськин**

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
кафедра электроники и нанoeлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЯ МАЛОМОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

В работе предложена система автоматизации процесса испытания маломощных полупроводниковых приборов на основе элементов Пельтье в условиях действия пониженной температуры. Проведены испытания элементов Пельтье с различными вариантами расположения элементов друг относительно друга, в результате которых была достигнута минимальная температура $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: *элемент Пельтье, аппаратная платформа Arduino, источник тока, температура.*

Введение. Одним из важнейших эксплуатационных параметров маломощных полупроводниковых приборов (МПП) является температура их полупроводниковых структур T_j , величина которой зависит от температуры внешней окружающей среды T_0 и величины выделяемой мощности в них. Для исследования электрических характеристик и параметров МПП в различных условиях эксплуатации требуется обеспечивать их испытание при различных величинах температуры структуры. Важным для определения качества МПП является проведение их испытания при отрицательных значениях T_0 . МПП, такие как диоды, тиристоры, транзисторы, интегральные микросхемы, имеют относительно небольшие габариты, поэтому и объём испытательной камеры, который необходимо охлаждать, достаточно мал. В связи с этим для технической реализации процесса их испытания нами выбрана система охлаждения МПП на основе применения элементов Пельтье (ЭП), которые имеют ряд преимуществ по сравнению со стандартными системами на основе хладагента, а именно:

- 1) возможность автоматизированного электронного регулирования температуры режима испытания в широких пределах;
- 2) высокая надёжность и долговечность за счёт отсутствия подвижных механизмов и малые габаритные размеры.

Одним из важных недостатков применения ЭП для охлаждения МПП при испытании является их низкий коэффициент полезного действия [1]. Однако для решения поставленной задачи известные достоинства применения ЭП в данном случае имеют большее значение, чем их недостатки.

Реализация процесса испытания полупроводниковых приборов.

Для реализации испытательных режимов охлаждения МПП разработано автоматизированное испытательное устройство, включающее в себя испытательный модуль и электронный блок. На рисунке 1 представлена функциональная схема электронного блока.

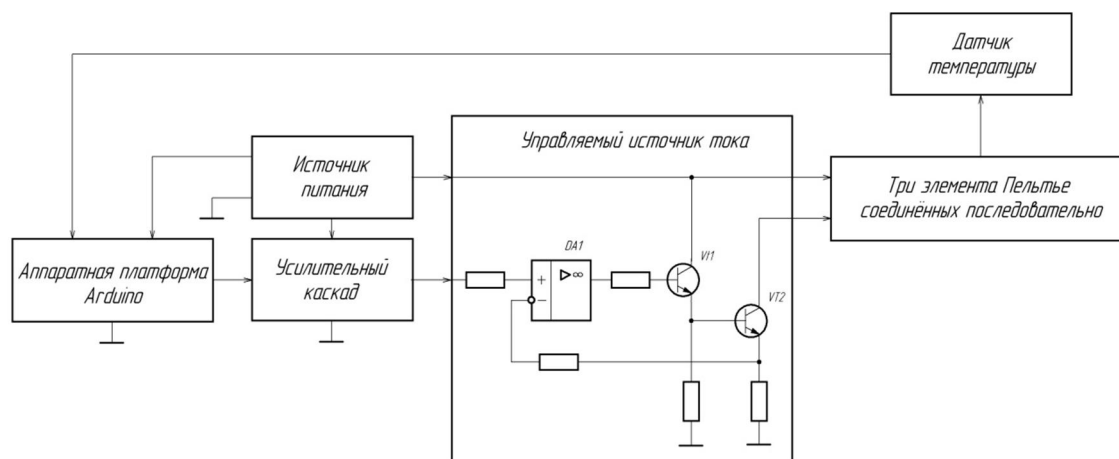


Рис. 1 — Функциональная схема автоматизированного испытательного устройства

Питание ЭП осуществляется с помощью источника тока, управляемого напряжением, на основе операционного усилителя [2]. Для увеличения мощности источника тока используется схема составного биполярного транзистора. Для контроля температуры T_0 в испытательной камере используется датчик температуры TMP36.

Для автоматизации процесса испытания используется аппаратная платформа Arduino, с помощью которой осуществляется получение и обработка информационного сигнала с датчика температуры, его преобразование и подача на вход источника тока управляющего напряжения нужной величины.

Величина выходного постоянного тока источника тока регулируется в пределах от нуля до 6 А.

Испытание термоэлектрических модулей Пельтье. В испытательном модуле в качестве охлаждающего модуля были выбраны элементы Пельтье TEC1-12706 с максимальным током 6 А [3]. При протекании тока через термоэлектрический модуль Пельтье за счет обеспечения разности температуры на его сторонах, в зависимости от полярности тока одна из сторон охлаждается, а другая нагревается. Для поддержания стабильной величины разницы температуры сторон требуется применение эффективного теплоотвода. В том случае, если нет достаточного отвода тепла с горячей стороны ЭП, он после некоторого интервала времени протекания тока саморазогревается. Данное явление недопустимо в холодильных установках, рассчитанных на постоянную работу и в системах автоматизации. В устройстве использовался пластинчатый радиатор с габаритными размерами $1000 \times 72 \times 60$ мм, площадь охлаждения которого равна 1100 см^2 . Для повышения теплообменных процессов между охладителем и ЭП использовалась термопаста КПТ-8.

Было проведено несколько испытаний с разными вариантами расположения ЭП. Наибольшую эффективность в создании режима охлаждения показала система, названная «пирамидой», которая состоит из трёх ЭП.

Схематичное изображение разработанного испытательного модуля данной системы показано на рисунке 2.

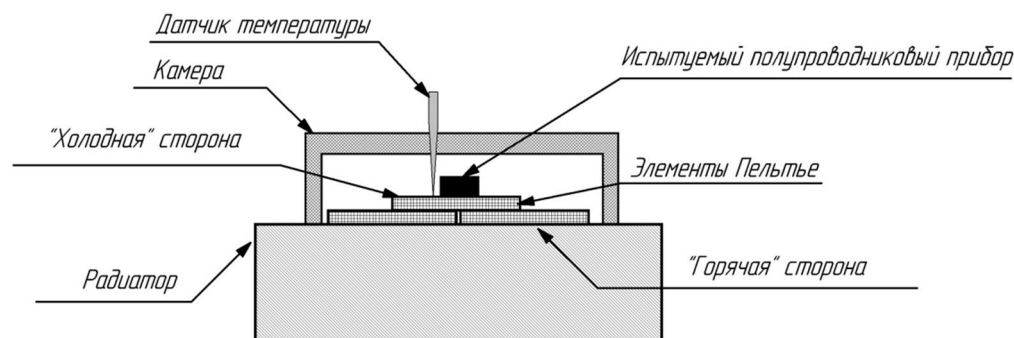


Рис. 2 — Схематичное изображение испытательного модуля

Принцип работы данной системы следующий. Два нижних ЭП установлены на радиатор, «горячей» стороной к нему, для повышения отвода тепла. На эти два ЭП сверху установлен ещё один таким образом, что его «горячая» сторона находится в контакте с «холодными» сторонами нижних ЭП. Таким образом, спаренные нижние ЭП отводят тепло с «горячей стороны» верхнего, за счёт чего «холодная» сторона верхнего модуля охлаждается гораздо эффективнее, нежели у одиночного ЭП.

На рисунке 3 представлена зависимость минимальной температуры T_j «холодной» стороны ЭП от величины силы постоянного тока I , протекающего через него.

На рисунке 4 представлена зависимость времени квазистабильной величины T_j ЭП до начала процесса его саморазогрева от величины силы постоянного тока I , протекающего через него.

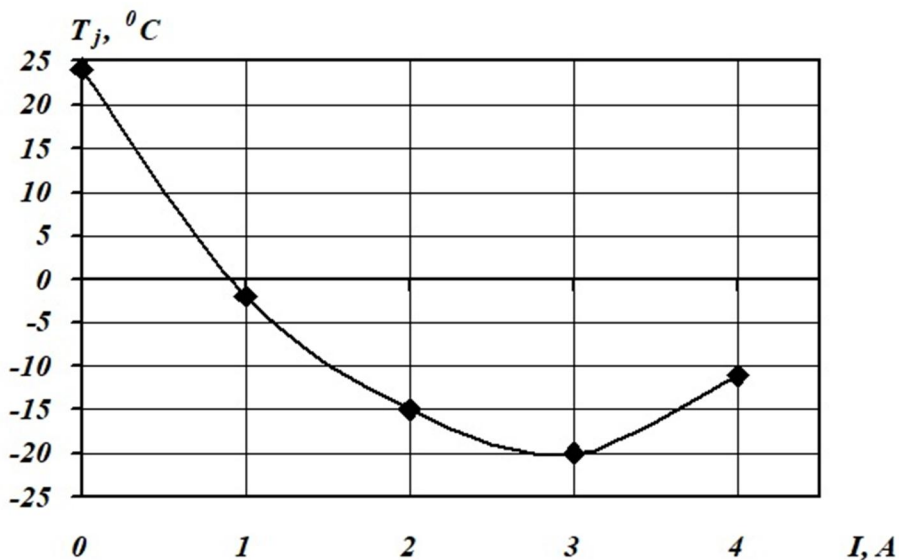


Рис. 3 — Зависимость температуры «холодной» стороны ЭП от тока

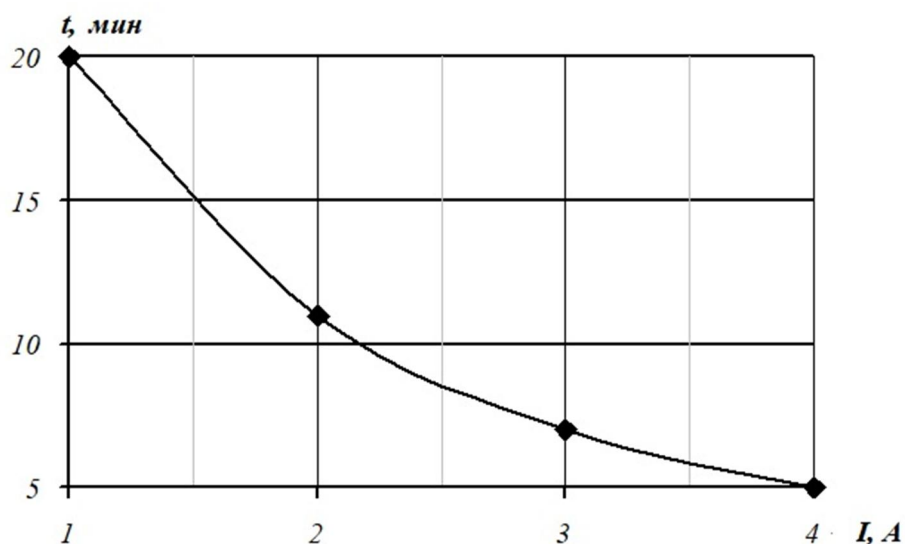


Рис. 4 — Зависимость времени устойчивого состояния ЭП от тока

Из представленных зависимостей видно, что для данного технического решения минимальное значение температуры «холодной» стороны ЭП, на которой устанавливается испытуемый МПП, достигается при величине силы постоянного тока $I = 3$ А и равно -20 °С. При этом устойчивое тепловое состояние системы составляет 7 минут. Этого времени достаточно для поддержания режима испытания МПП и проведения измерений их электрических параметров и характеристик.

Заключение. Проведённые исследования работы автоматизированного устройства для испытания МПП в условиях действия пониженной температуры показывают, что реализация процесса их охлаждения с помощью элементов Пельтье, питаемых постоянным током регулируемой величины, позволяет с высокой точностью поддерживать температурный режим испытания до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Стабильность теплового режима испытания существенно зависит от системы охлаждения элементов.

Разработанное автоматизированное испытательное устройство отличается от стандартных холодильников меньшими габаритами и массой, более высокой надёжностью и долговечностью. Данное устройство может применяться для автоматизации процесса испытания маломощных полупроводниковых приборов.

Список литературы

1. Рудометов В. Полупроводниковые холодильники Пельтье [Электронный ресурс] / В. Рудометов. Е. Рудометов – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/cpu/peltje.html>.
2. Беспалов Н.Н. Разработка управляемого источника тока для питания элементов Пельтье. / Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, Е.И. Клечкин // Материалы научной конференции: XLVII Огарёвские чтения, 2019. – С. 27-30.
3. Элемент Пельтье TEC1-12706. Характеристики, применение, условия эксплуатации. [Электронный ресурс] // Блог технической поддержки «Оборудование Технологии Разработки» — Режим доступа: <http://mypractic.ru/element-pelte-tec1-12706-xarakteristiki-primenenie-usloviya-ekspluatatsii.html>.

05.13.06

О.А. Билоус, А.В. Кухарчук, Г.А. Тимофеева

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, boa@msa.pstu.ac.ru

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НА УЧАСТКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕХА

Рассмотрены мероприятия по улучшению коэффициента мощности на участке производственного цеха, позволяющие повысить качество электроэнергии у потребителей, снизить потери электроэнергии, снизить затраты на эксплуатацию. Проведен расчет и выбор электродвигателей, силового трансформатора и осветительных приборов, при замене которых достигается требуемое значение коэффициента мощности.

Ключевые слова: коэффициент мощности, $\cos \varphi$, компенсация реактивной мощности.

Введение

Период снижения загрузки технологических мощностей предприятий обычно сопровождается снижением коэффициента мощности относительно рассчитанного при проектировании. Возникает желание получить экономический эффект от внедрения технических средств компенсации реактивной мощности. При этом обычно упускаются из виду особенности влияния традиционных средств компенсации на устойчивость нагрузки [1]. Для увеличения коэффициента мощности в сетях используют различные способы коррекции, в том числе технические мероприятия.

Описание существующей схемы электроснабжения

Рассматриваемый участок производства относится ко второй категории электроснабжения, перерыв электроснабжения приведёт к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта. Питание ТП получает от центрального распределительного пункта классом напряжения 6 кВ с шин высоковольтным кабелем ААБ 6 кВ через вакуумные выключатели ВВ/TEL. Распределительное устройство – 6 кВ – закрытого типа (ЗРУ) имеет две секции шин 6 кВ, соединенные между собой не автоматической секционной переемычкой, через секционный разъединитель 1 и 2 секции шин. К первой секции шин 6 кВ силовой трансформатор подключен через вакуумный выключатель 6 кВ. Ко второй секции шин подключение аналогично. На стороне 0,4 кВ через трансформаторы тока подключены счетчики активной и реактивной энергии. Подключение распределительного устройства низкого напряжения (РУНН) секций осуществляется через автоматические выключатели. Между секциями установлен секционный выключатель без автоматического включения. Далее подключение нагрузки осуществляется через силовые пункты, питающие кабели которых проложены в земле.

Коэффициент мощности на первой секции РУНН, рассчитанный способом коэффициента спроса равен 0,63, на второй секции РУНН – 0,64.

Причины отклонения коэффициента мощности от требуемых значений

Коэффициент мощности отклонился от изначальных значений, так как снизилось потребление электроэнергии в связи с изменениями в технологическом процессе. Электроприемники имеют индуктивный характер нагрузки, поэтому в сети появились излишки реактивной мощности. В связи с уменьшением активной нагрузки уменьшилась загрузка трансформаторов, что также привело к излишкам реактивной мощности.

Предложения по повышению коэффициента мощности

Повышение коэффициента мощности на данном участке можно достичь либо применением компенсирующих устройств, либо с помощью мероприятий [2]:

- упорядочение технологического процесса предприятия, ведущее к улучшению энергетического режима оборудования;
- применение синхронных электродвигателей вместо асинхронных, если это возможно по условиям технологического процесса;
- замена малозагруженных асинхронных двигателей двигателями меньшей мощности;
- замена малозагруженных трансформаторов трансформаторами меньшей мощности.

Замена электродвигателей

Асинхронные двигатели заменяют синхронными там, где требуются большие мощности и особые требования к отклонению частоты вращения, а точнее его отсутствию. На данном участке нет больших мощностей ЭП и особых требований к частоте вращения, поэтому данный пункт не принесёт результата.

Замена незагруженных асинхронных электродвигателей двигателями меньшей номинальной мощности не всегда целесообразна. Объясняется это тем, что у электродвигателей меньшей мощности при других равных параметрах номинальный КПД ниже, поэтому после замены потери в двигателе могут оказаться выше, чем до замены. Как показывают подсчеты и опыт, при средней нагрузке двигателя на 45% от номинальной мощности замена целесообразна всегда.[3] Если же нагрузка находится в пределах от 45 до 70%, то целесообразность замены должна быть проверена расчетом. При нагрузках выше 70% замена в большинстве случаев нецелесообразна, тем более, что это связано с расходом на демонтаж установленного электродвигателя и монтаж заменяющей его машины.

Рассмотрим возможность замены электродвигателей для некоторых единиц оборудования:

Для вентилятора мощностью 5 кВт используется двигатель 5A160S2 мощностью 15 кВт. Таким образом, нагрузка двигателя 33 % – следовательно, замена двигателя целесообразна. Выберем двигатель типа 5AM112M2 мощностью 7,5 кВт. Проверим нагрузку: $5/7,5=67\%$ – двигатель подобран верно.

Аналогично проверим и произведем замену двигателей там, где это требуется для снижения токов холостого хода.

Таблица 1. Данные потребляемых мощностей после замены двигателей

Вид потребляемой мощности	РУНН 1	РУНН 2
Суммарная активная мощность (P, кВт)	204,59	269,02
Суммарная реактивная мощность (Q, кВАр)	173,79	208,79
Полная потребляемая мощность (S, кВА)	268,43	340,54
Расчетный ток (I _p , А)	333,12	444,54

Замена трансформатора

Значительные результаты в повышении естественного коэффициента мощности предприятия можно получить при более рациональном использовании трансформаторов. Так как основная часть реактивной мощности, потребляемой трансформатором, приходится на мощность холостого хода, рекомендуется по возможности отключать трансформаторы на время холостого хода. Следует заменять трансформаторы, нагрузка которых составляет 30% и меньше; в остальных случаях целесообразность замены или перестановки трансформаторов определяется расчетом. При этом следует иметь в виду, что повышение коэффициента загрузки трансформатора до 0,6 приводит к заметному повышению коэффициента мощности, а при дальнейшем увеличении коэффициента загрузки от 0,6 до 1 коэффициент мощности улучшается незначительно.[4,5]

На данный момент используются трансформаторы типа ТМГ-1000/6/0,4. Рассчитанная номинальная мощность трансформатора для обеспечения питания рассчитанной нагрузки равна 365,6 кВА. По результатам расчетов выбираем трансформатор ТМГ-400/6/0,4. Сравнение технических данных трансформаторов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение технических данных трансформаторов

Параметры сравнения / Трансформаторы	ТМГ-1000/6/0,4	ТМГ-400/6/0,4
Номинальная мощность	1000 кВА	400кВА
Напряжение на стороне высокого напряжения	6 кВ	6 кВ
Напряжение на стороне низкого напряжения	0,4 кВ	0,4 кВ
Напряжение короткого замыкания	5,5 %	4,5 %
Потери короткого замыкания	10,5 кВт	5,5 кВт
Потери холостого хода	1,4 кВт	0,8 кВт

Замена светильников

Для освещения производственного участка используются лампы ДРЛ-400, $\cos \varphi = 0,5$. [6] Используем вариант для замены – аналог этого светильника – светодиодный Lukoza LED-MOD-55-3.[6] Сравнение светильников приведено в таблице 3.

Таблица 3. Сравнительная таблица светильников

Параметры / светильник	ДРЛ-400	Lukoza LED-MOD-55-3
Номинальная мощность	400 Вт	165 Вт
Световой поток	24000 лм	24750 лм
Потребляемая активная мощность (P, кВт)	12	4,95
Потребляемая реактивная мощность (Q, кВАр)	18	0,99
$\cos \varphi$	0,5	0,98

Заключение

Таким образом, удастся достичь значительного повышения коэффициента мощности на рассматриваемом участке производства с помощью проведенных мероприятий по замене оборудования.

Также следует учесть, что снижение потребления реактивной мощности оказывает влияние на потери активной мощности в системе электроснабжения. Эти потери снижаются после внедрения мероприятий по компенсации, общий коэффициент мощности становится еще выше.[7]

Повышения коэффициента мощности позволит улучшить качество электроэнергии у потребителей, снизить потери электроэнергии, снизить затраты на эксплуатацию. Рассчитанный срок окупаемости составил 2,5 года.

Список литературы

1. Гуревуч Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах – Москва, Энергоатомиздат 1990. – 390 с.
2. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – Москва, Высшая школа, 1990. – 365 с.
3. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. – Москва, ФОРУМ: ИНФРА-М, 2008. – 214 с.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Москва, ИКЦ «МарТ», 2003. – 272 с.
5. Инструкция по монтажу силовых трансформаторов напряжением до 110 кВ включительно. ВСН 342-75. – М.: Альвис, 2014. – 156 с
6. Каталог светодиодных светильников ЛУКОЗА [Электронный ресурс] – <http://www.td-led.ru/> (дата обращения 01.10.2019).
7. Петроченков А.Б. Метод моделирования стационарных и квазистационарных режимов электроэнергетических систем // Электротехника. – 2018. – № 11. – С. 11-17.

05.13.06

¹Н.А. Бухтоярова, ²В.В. Бухтояров канд. техн. наук,
²В.С. Тынченко канд. техн. наук

¹Сибирский федеральный университет,
кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
²Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнёва,
кафедра безопасности информационных технологий,
Красноярск, bukhtoyarova.n@gmail.com, vladber@list.ru, vadimond@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье представлены результаты исследования методов параметрической адаптации нейросетевых моделей, планируемых для использования в составе аналитического обеспечения киберфизической системы как элемента системы поддержки принятия решений при диагностике оборудования. Рассмотрены алгоритмы обучения нейронных сетей, обеспечивающие возможность адаптации моделей применительно к задаче диагностики состояния технологического оборудования.

Ключевые слова: *искусственные нейронные сети, обучение, параметрическая адаптация, диагностика, технологическое оборудование.*

Введение

В настоящее время в производственных системах различного характера актуализируется вопрос обработки данных большого объема для аналитического обеспечения систем поддержки принятия решений. С учетом технологической трансформации построения производственных систем, отражающей тенденции перехода к «Индустрии 4.0», формирование эффективных решений все больше опирается на информационную базу, генерируемую устройствами в составе киберфизических систем [1]. Среди совокупности базовых принципов построения таких систем с точки особенностей организации аналитической обработки информации можно выделить принципы распределенности структуры и самоорганизации, включая самодиагностирование. Требование реализации киберфизических систем с учетом таких принципов оказывает существенное влияние на организацию процедур аналитической обработки информации. Соответствующая аналитическая система, интегрирующая аналитические методы, должна выстраиваться с учетом этих принципов и быть адекватной с точки зрения доступных вычислительных возможностей. К методам, которые могут быть интегрированы в рамках таких систем, в частности, относятся искусственные нейронные сети (рассматриваемые в работе). Однако могут быть использованы альтернативные методы интеллектуального анализа данных, что является дальнейшим развитием исследования.

Исследование методов параметрической адаптации нейросетевых моделей определения технического состояния

С учетом выбора в качестве технологии обработки данных для аналитических ядер искусственных нейронных сетей, в ходе исследования предполагается определение наиболее эффективных подходов (на множестве тестовых задач) для построения структуры и обучения искусственных нейронных сетей. В исследовании рассматривались следующие алгоритмы обучения нейронных сетей: метод обратного распространения ошибки, включая модификации алгоритма с адаптивной скоростью обучения, инерционной составляющей и мультистартом (далее в таблице результатов – метод №1); метод имитации отжига

(метод №2); метод генетического алгоритма комбинированный с локальным поиском (метод №3); метод основанный на методе оптимизации, известном как муравьиный алгоритм (ant colony optimization) (метод №4) [2-5].

Среди совокупности задач, которые должны решаться интеллектуальными аналитическим ядрами в составе киберфизической производственной системы, в рамках данного исследования рассматривалась задача диагностики состояния технологического оборудования – винтового компрессора, одного из наиболее востребованных видов оборудования в нефтегазовом производстве. Задача определения состояния оборудования, а именно «частичной» исправности является актуальной задачей комплексной киберфизической производственной системы, среди задач которой – поддержка принятия решений при определении рациональных и безопасных режимов эксплуатации технологического оборудования.

Исходные данные для задачи были получены для винтового компрессора Aerzen VMY536M. Были определены места установки датчиков вибрации - вибропреобразователей скорости с HART-протоколом AV02-0.08. В соответствии с предварительным исследованием точки установки датчиков были определены области, близкие к следующим деталям установки: подшипник электродвигателя со стороны противоположной приводе; подшипник электродвигателя со стороны привода; подшипниковый узел компрессорного агрегата со стороны привода; подшипниковый узел компрессорного агрегата со стороны, противоположной приводе; последующие подшипниковые узлы. Измерение вибрационных параметров (в том числе – виброскорости) проводились в трех плоскостях.

С помощью датчиков, установленных в этих точках, модельных испытаний в условиях контролируемого воздействия и методов экспертного оценивания была получена выборка, описывающая различные варианты изменения обобщенного показателя исправности объемом 1000 элементов. Были сформированы наборы для двух классов: исправное состояние диагностируемого компрессора и неисправное состояние диагностируемого компрессора. Количество наблюдений в выборке для класса 1 – 600 штук, количество наблюдений для класса 2 – 400 штук.

Условия и результаты численного экспериментального исследования

Исследования проводились с помощью авторского программного обеспечения реализующие выбранные для исследования алгоритмы обучения нейронных сетей. Архитектура используемых нейронных сетей – многослойный персептрон. Параметры алгоритмов обучения для проведения исследования были определены в ходе предварительного исследования на тестовых задачах диагностирования из репозитория данных для тестирования методов машинного обучения: набор данных диагностики ультразвуковых расходомеров (далее в таблице результатов – набор данных №1), набор данных диагностирования насосных агрегатов (набор данных №2) [6].

Результаты были получены по схеме, предполагающей 10 кратное переразбиение выборок на обучающую и тестовую, при каждом разбиении надежность классификации (доля верно классифицированных примеров) усреднялась. Структура сети инициализировалась в каждом экспериментальном прогоне и использовалась одинаковая для всех рассматриваемых методов. В качестве функции активации использовалась логистическая функция. Основным критерием, уравнивающим вычислительные ресурсы для всех алгоритмов, было выбрано время одного тестового прогона, установленное одинаковым для используемой ЭВМ. Статистическая значимость различимости результатов для проверялась методом ANOVA при уровне значимости 0,05.

Результаты исследования методов построения аналитических ядер на задачах репозитория данных машинного обучения, а также для задачи распознавания технического состояния винтового компрессорного оборудования в аспекте настройке нейросетевых моделей приведены в таблице 1. В таблице 1 приведены результаты для тестовых выборок.

Таблица 1 – Надежность классификации для нейронных сетей, обученных различными методами

Метод обучения нейронной сети	Набор данных из репозитория данных для машинного обучения		Набор данных определения для винтового компрессора
	Набор данных №1	Набор данных №2	
Метод №1	0,861	0,810	0,785
Метод №2	0,855	0,907	0,865
Метод №3	0,945	0,918	0,923
Метод №4	0,920	0,920	0,910

Выводы

В ходе исследования, отдельные результаты которого приведены в статье, были получены результаты демонстрирующие эффективность нейросетевого подхода для построения аналитических ядер (модулей) для определения технического состояния компрессорного оборудования рассматриваемого типа. Определены варианты параметрической адаптации нейросетевых моделей, наиболее эффективным из которых для рассматриваемой задачи оказался метод, базирующийся на методе глобальной оптимизации – генетическом алгоритме. В дальнейшем, в рамках исследования, предполагается определение методов структурной адаптации моделей для автоматизации построения аналитических ядер в составе киберфизической производственной системы и соответствующего платформенного решения.

Дополнительная информация

Исследование поддержано стипендиальной программой Совета по грантам при Президенте Российской Федерации, проект СП.869.2019.5.

Список литературы

1. Baheti R., Gill H. Cyber-physical systems //The impact of control technology. – 2011. – Т. 12. – №. 1. – С. 161-166.
2. Suykens J.A.K., Vandewalle J.P.L., de Moor B.L. Artificial neural networks for modelling and control of non-linear systems. – Springer Science & Business Media, 2012.
3. Потапов А.С., Батищева В.В., Шуцао П. Улучшение качества распознавания в сетях глубокого обучения с помощью метода имитации отжига //Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – №. 5 (93) – С. 71-75.
4. Che Z.G. et al. Feed-forward neural networks training: a comparison between genetic algorithm and back-propagation learning algorithm //International journal of innovative computing, information and control. – 2011. – Т. 7. – №. 10. – С. 5839-5850.
5. Socha K., Blum C. An ant colony optimization algorithm for continuous optimization: application to feed-forward neural network training //Neural Computing and Applications. – 2007. – Т. 16. – №. 3. – С. 235-247.
6. Asuncion A., Newman D. UCI machine learning repository. – 2007.

05.13.06

¹Н.А. Бухтоярова, ²В.В. Бухтояров канд. техн. наук,
²В.С. Тынченко канд. техн. наук

¹Сибирский федеральный университет,
кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
²Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнёва,
кафедра безопасности информационных технологий,
Красноярск, bukhtoyarova.n@gmail.com, vladber@list.ru, vadimond@mail.ru

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

В статье представлены результаты исследования методов формирования структур искусственных нейронных сетей для решения задач распознавания технического состояния. Приведены результаты, полученные для наборов данных, описывающих задачи диагностирования технологического оборудования: насосных и компрессорных агрегатов и измерительных устройств – ультразвуковых расходомеров. Показано преимущество эволюционных методов, обеспечивающих возможность автоматизации решения задачи в условиях создания киберфизической производственной системы.

Ключевые слова: *искусственные нейронные сети, синтез структуры, классификация, диагностирование, техническое состояние*

Введение

Одним из актуальных направлений развития комплексных информационных систем, обеспечивающих системный подход в области управления производственными процессами, в том числе в нефтегазовой отрасли, представляется направление, связанной с разработкой и внедрением автоматизированных средств определения технического состояния технологического оборудования. Данное направление актуализируется в связи с необходимостью обеспечения безопасности и непрерывности работы технологического оборудования в условиях, так как для соответствующих технологических процессов характерны интенсификация операций, повышенные требования к параметрам и режимам и ряд других свойств, обеспечивающих конкурентоспособность производств. Все это приводит к формированию все более высоких требований к исправности и надежности технологического оборудования, задействованного в производстве, а, следовательно, требует создания высокоэффективных средств распознавания неисправностей в период эксплуатации.

В полной мере развитие таких систем раннего распознавания неисправностей технологического оборудования соответствует направлению трансформации производств в аспекте концепции «Индустрия 4.0» и внедрения киберфизических системы. С учетом обозначенного направления развития систем распознавания для задач технического диагностирования актуализируется направление создания интеллектуальных распределенных конфигураций автоматизированных систем распознавания технического состояния, и, в частности, проработка вопросов, связанных с аналитическим обеспечением соответствующих систем. В рамках исследования, результаты которого представлены в статье, рассматривается проблема создания платформенного решения для систем технического диагностирования технологического оборудования, а в качестве одного из базовых аналитических подходов определены искусственные нейронные сети.

Искусственные нейронные сети для задачи диагностирования

Наряду с другими методами анализа данных искусственные нейронные сети являются одним из наиболее эффективных подходов для построения диагностических моделей различной направленности, что доказывается значительным числом их успешного применения для задач медицинской диагностики, диагностики аномалий в сетевой активности и задач определения состояния горного оборудования [1-3]. В рамках научного проекта, представляемого в данной статье, были проведены сравнительные исследования различных методов анализа данных на задачах технического диагностирования и модели, построенные на основе искусственных нейронных сетей, оказались одним из наиболее эффективных подходов.

В аспекте создания соответствующих киберфизических производственных систем разрабатываемые решения в области технического диагностирования должны обеспечивать высокий уровень автоматизации в части самоорганизации и адаптации моделей и возможности распределенной обработки информации. Модели распознавания технического состояния на основе искусственных нейронных сетей в полной мере соответствует таким требованиям, с учетом наличия подходов автоматической генерации структур нейронных сетей.

В этой связи представляется актуальным исследование методов структурного синтеза нейросетевых моделей для распознавания технического состояния технологического оборудования и измерительных устройств, различные виды которых являются основой реализации производственных процессов различной направленности. С учетом специфики задачи и необходимости соответствия требованиям самоорганизации киберфизических производственных систем представляется, что методы структурного синтеза нейросетевых моделей должен обеспечивать автоматизацию соответствующей процедуры, минимизируя необходимость экспертного участия и, с другой стороны, обеспечивая высокую эффективность получаемых решений в контексте задачи технического диагностирования.

В представленном исследовании рассматривались следующие методы построения и адаптации нейронных сетей: метод «оптимальной хирургии» - урезания нейронной сети (метод №1 в таблице результатов); метод, основанный на эволюционном генетическом алгоритме (метод №2); - вероятностный эволюционный метод (метод №3) [4-6]. Архитектура используемых нейронных сетей – многослойный персептрон – сеть прямого распространения используемая, по обобщенным оценкам, в 80-90% процентов промышленных реализаций нейросетевого подхода.

Экспериментальное исследование

Исследования проводились с помощью авторского программного обеспечения. Исследование методов проводилось на наборах задач технического диагностирования из репозитория данных: набор данных диагностики ультразвуковых расходомеров (далее в таблице результатов – набор данных №1), набор данных диагностирования насосных агрегатов (набор данных №2). Также исходные данные для исследования были получены для винтового компрессора Aerzen VMY536M для двух классов: исправное состояние диагностируемого компрессора и неисправное состояние диагностируемого компрессора. Количество наблюдений для класса 1 – 600 штук, количество наблюдений для класса 2 – 400 штук.

Параметры алгоритмов формирования структур искусственных нейронных сетей были подобраны в ходе предварительного исследования на наборе тестовых задач из репозитория машинного обучения. Такие наборы параметров были использованы в ходе численного исследования. Основным критерием, уравнивающим вычислительные ресурсы для всех алгоритмов, было выбрано время одного тестового прогона.

Результаты были получены по схеме, предполагающей 10 кратное переразбиение выборок. Статистическая значимость результатов проверялась методом ANOVA при уровне значимости 0,05. В таблице 1 приведены результаты численного исследования – значения соответствуют доле верно классифицированных примеров в тестовой выборке.

Таблица 1 – Надежность классификации для нейронных сетей, обученных различными методами

Метод генерации структуры нейронной сети	Набор данных из репозитория машинного обучения		Набор данных определения состояния компрессора
	Набор данных №1	Набор данных №2	
Метод №1	0,913	0,876	0,901
Метод №2	0,945	0,918	0,923
Метод №3	0,942	0,928	0,921

Полученные результаты свидетельствуют о сравнительно высокой эффективности эволюционных методов (2 и 3). С учетом меньшего числа параметров настройки и требования автоматизации и самоорганизации последний метод является предпочтительным.

Выводы

Полученные в ходе исследования результаты демонстрируют возможность применения моделей, построенных на основе искусственных нейронных сетей для решения задачи определения технического состояния оборудования, используемого для реализации значительного числа производственных процессов в нефтегазовом комплексе: насосов, компрессоров и измерительных устройств – на примере ультразвукового расходомера). Показана эффективность эволюционных подходов, которые могут быть интегрированы в состав инициализирующих процедур при развертывании киберфизических производственных систем.

Дополнительная информация

Исследование поддержано стипендиальной программой Совета по грантам при Президенте Российской Федерации, проект СП.869.2019.5.

Список литературы

1. *Мустафаев А.Г.* Применение искусственных нейронных сетей для ранней диагностики заболевания сахарным диабетом //Кибернетика и программирование. – 2016. – №. 2. – С. 1-7.
2. *Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П.* Нейросетевая диагностика аномальной сетевой активности //Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – №. 6.
3. *Bukhtoyarov V.V., Tynchenko V.S., Petrovsky E.A.* Multi-Stage Intelligent System for Diagnostics of Pumping Equipment for Oil and Gas Industries //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2019. – Т. 272. – №. 3. – С. 032030.
4. *Guo Y., Yao A., Chen Y.* Dynamic network surgery for efficient dnns //Advances In Neural Information Processing Systems. – 2016. – С. 1379-1387.
5. *Камшилова Ю.А.* Применение генетических алгоритмов для автоматического формирования нейронных сетей //Решетневские чтения. – 2014. – Т. 2. – №. 18.
6. *Bukhtoyarov V., Zhukov V.* Ensemble-distributed approach in classification problem solution for intrusion detection systems //International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning. – Springer, Cham, 2014. – С. 255-265.

05.13.06

А.В. Жданов канд. техн. наук, И.В. Шинаков канд. техн. наук,
Д.А. Родионов, Д.О. Кочетов, А.В. Черкасова

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОДОВЫХ ВИНТОВ РВМ

Целью данной работы была конструкторско-технологическая подготовка изготовления ходовых винтов роликовинтового механизма с использованием специальной корректировки наладки резьбошлифовального станка и мероприятий по устранению дефектов поверхностного слоя.

Ключевые слова: роликовинтовые механизмы (РВМ), изготовление, резьбошлифование, дефекты поверхностного слоя

При изготовлении РВМ одной из технологических проблем является изготовление многозаходного винта. На практике количество заходов может составлять от 1 до 20 как правого, так и левого направления [1-3]. На рис.1. представлен типичный профиль резьбы и фрагмент изготовленного винта.

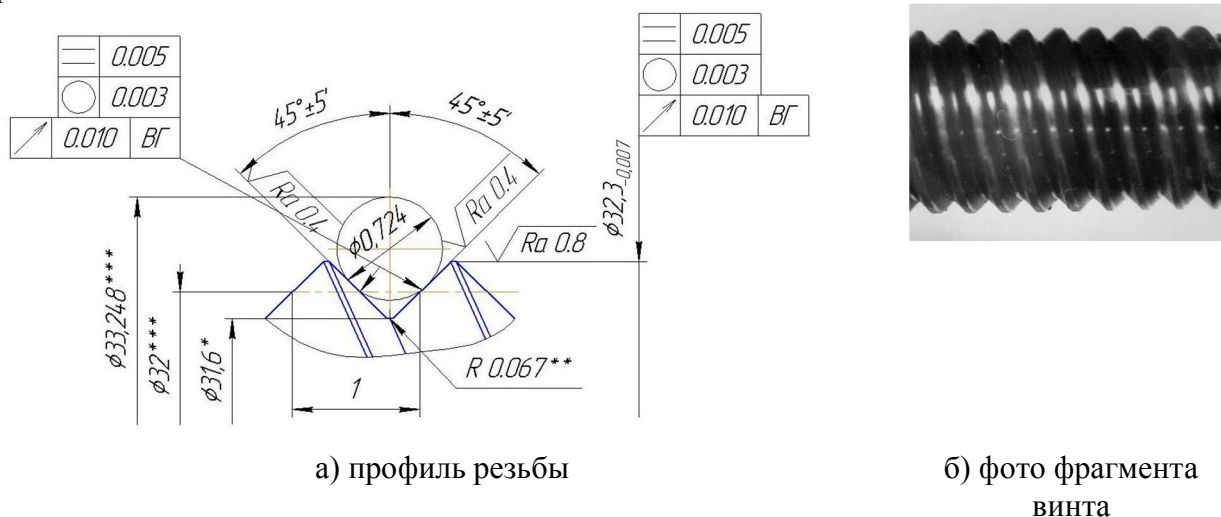


Рис.1. Профиль резьбы винта РВМ 32х6.

При конструкторско-технологической подготовке производства необходимо учитывать материалы винтов, технологический маршрут (табл.1), а также настройки станков.

Таблица 1. Примерный технологический маршрут обработки винта РВМ

№ Операции	Наименование операции	Оснастка
005	Заготовительная	Тиски универсальные
010	Токарная	Цанговый патрон
020	Круглошлифовальная	Поводковый патрон, центр вращающийся
025	Фрезерная	Тиски универсальные
030	Термическая	Кондуктор
040	Круглошлифовальная	Поводковый патрон, центр вращающийся
050	Резьбошлифовальная	Патрон трехкулачковый, центр вращающийся
060	Отрезная	-
070	Промывочная	
080	Контрольная	КИМ, микрометр, проволоочки мерительные, штангенциркуль

Поскольку основные точностные характеристики закладываются на резьбошлифовальной операции (табл.1), рассмотрим фактическую геометрию получаемого профиля резьбы. В качестве рабочих на операции 050 используются дисковые шлифовальные круги (ШК). Винтовую поверхность резьбы представим уравнениями движения текущих точек ее образующих. Эта поверхность образуется при двух относительных движениях обрабатываемого изделия и инструмента: вращательного вокруг оси изделия и поступательного параллельно оси. В случае прямолинейных участков цилиндрической винтовой поверхности многозаходной резьбы:

$$\begin{cases} [\omega_{\beta}]_h = [L_{\beta} + r_2 \operatorname{tg} \beta + \Delta r \operatorname{tg} \beta + PE]_h, \\ [\omega_{\gamma}]_h = [L_{\beta} + r_2 \operatorname{tg} \beta - \Delta r \operatorname{tg} \beta - a + PE]_h, \end{cases} \quad (1)$$

где a - ширина впадины по линии среднего радиуса резьбы (рис. 1); $a = P_x / 2$; P_x - шаг резьбы, мм; $\omega_{\beta}, \omega_{\gamma}$ - координаты текущих точек β и γ - образующих профиля винтовой поверхности; Δr - переменная, пределы изменения которой $(r_1 - r_2) \leq \Delta r \leq (r - r_2)$; h - номер исследуемого витка; β и γ - угол наклона образующей; PE - слагаемое, учитывающее многозаходность резьбы.

В случае круговинтового участка образующей профиля цилиндрической винтовой поверхности уравнение текущих точек можно представить:

$$\begin{cases} [\omega_{\beta}]_h = [L_{\beta} + r_2 \operatorname{tg} \beta + PE \pm \rho_n (\cos \beta - \cos \beta')]_h, \\ [\omega_{\gamma}]_h = [L_{\beta} + r_2 \operatorname{tg} \beta + PE \pm \rho_n (\cos \gamma - \cos \gamma')]_h, \end{cases} \quad (2)$$

где ρ_n - радиус кривизны круговинтового профиля, верхний знак относится к вогнутому профилю, нижний знак - для вогнутого профиля

Основными геометрическими параметрами резьбы винтовых исполнительных механизмов являются: шаг резьбы, число заходов, углы наклона образующих профиля, радиусы кривизны (для круговинтового профиля), а также наружный, средний и внутренний диаметры. Погрешности этих параметров определяют действительный характер сопряжения, фактическую геометрию передачи, функцию зазора, распределение усилий в контакте, а также точность перемещения, жесткость, долговечность и т.д.

Фактический радиус кривизны в осевом сечении.

$$[\Delta \omega_{\beta(\gamma)}] = \omega'_{\beta(\gamma)} - \omega_{\beta(\gamma)}, \quad (3)$$

где $\omega'_{\beta(\gamma)}$ - уравнение текущих точек $\beta(\gamma)$ - образующих с учетом погрешностей изготовления; $\omega_{\beta(\gamma)}$ - уравнение текущих точек образующих идеальной поверхности; $\Delta \omega_{\beta(\gamma)}$ - погрешность осевого положения образующей.

Наибольшее влияние на погрешность осевого положения винта $\Delta \omega$ оказывает величина погрешности среднего радиуса Δr и угла профиля β .

Абсолютное значение погрешности для винта изменяется от 0,25 мм (4 класс точности) до 0,008 мм (0 класс точности). С ростом величины угла профиля резьбы величина фактического радиуса увеличивается (рис.2)

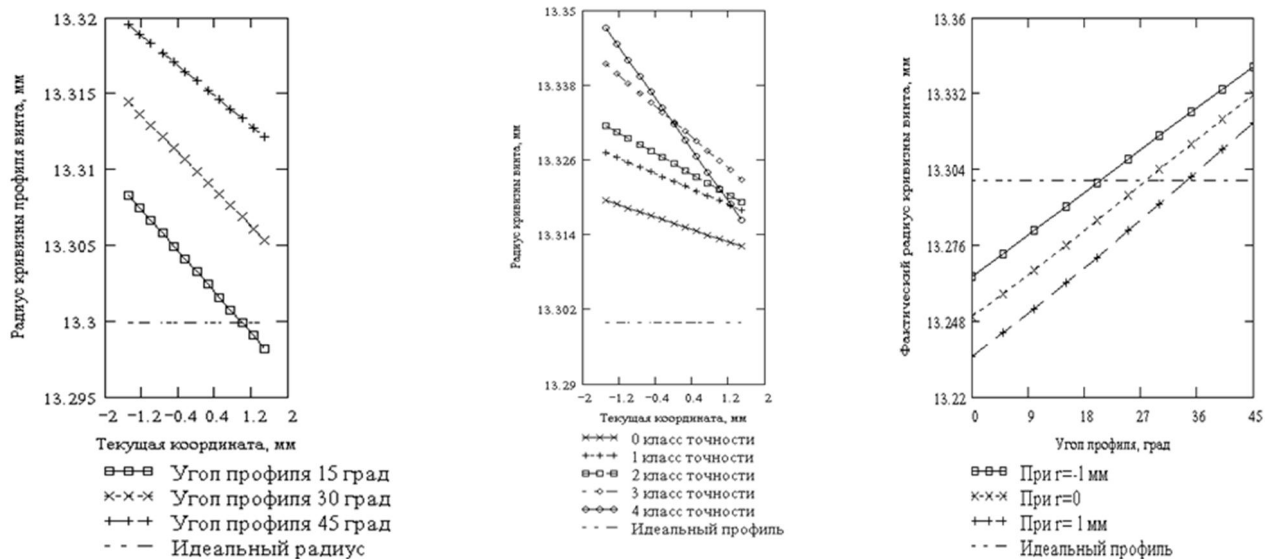


Рис.2. Графики отклонения фактического радиуса кривизны профиля винта

В процессе шлифования линейный профиль винта РВМ в осевом сечении искажается, как и у архимедовых червяков. При обработке выпуклым тороидальным кругом, профиль винта получается вогнутым на головке и выпуклым на ножке (отклонения на ножке больше, чем на головке). Максимальное отклонение от прямолинейности витка (для $h_{\max} = p_x / \pi$):

$$f_{f_1}^T = \left(\frac{p_x}{\pi} \right)^4 \left(\frac{z \cos \alpha}{d_{\text{ср}}} \right)^2 \frac{1}{d_{\text{ср}} (m - 2) \sin \alpha}, \quad (4)$$

где z - число заходов винта; α - угол осевого профиля; $d_{\text{ср}}$ - средний диаметр винта; $n = \pi d_{\text{ср}} / p_x$ - параметр винта; p_x - шаг резьбы.

Для того, чтобы границы участка профиля витка винта находились на прямой, параллельной исходному контуру, необходимо скорректировать наладку станка, выполнив условие:

$$\alpha_{\text{кр}} = \arctg[\tg(\alpha + \Delta\alpha) \cos \beta], \quad (5)$$

где $\Delta\alpha$ угол, компенсирующий неравнобочность профиля:

$$\Delta\alpha = \left(\frac{z \cos \alpha}{n} \right)^2 \frac{\text{ctg } \alpha}{n^2 - 4}, \quad (6)$$

β - угол разворота шлифовальной бабки ($\beta = \alpha$), α - угол подъема витка.

При резьбошлифовании возникают дефекты поверхностного слоя в виде шлифовочных прижогов, трещин, царапин, сколов, огранки, следов выкрашивания и задиров. В табл. 2 рассмотрены причины их возникновения и пути снижения

Таблица 2. Дефекты при резьбошлифовании винтов РВМ

Дефект	Причина возникновения	Мероприятия по снижению дефектов
Алмазные царапины	Неправильный режим правки шлифовального круга (ШК). Неверная установка алмазного правящего инструмента	Проверить жесткость крепления алмазного правящего инструмента (АПИ). Править ШК, уменьшив продольную подачу АПИ, обеспечив плавность его перемещения. Исключить вибрацию правящего устройства. Заменить АПИ в случае выкрашивания алмаза. После правки ШК очистить.

Шлифовочные прижоги и трещины	Наличие острых режущих боковых кромок ШК	Притупить острые кромки ШК
	Неправильный выбор характеристик ШК	Установить ШК с необходимой маркой абразивного зерна или с меньшей зернистостью
	Недостаточно интенсивное охлаждение.	Увеличить подачу СОТС
	Неправильный способ подачи СОТС	Изменить способ подачи СОТС
	Завышенная твердость ШК	Установить ШК меньшей твердости
	Заниженная частота вращения заготовки.	Увеличить частоту вращения заготовки
	Чрезмерно большая подача ШК на глубину	Снизить подачу ШК на глубину
	Затупление или засаливание ШК	Править ШК
	Правка ШК притупленной кромкой АПИ	Править ШК непритупленной кромкой АПИ.

На рис.3. представлены примеры изготовленных винтов РВМ при использовании указанных настроек станка и мероприятий по устранению дефектов.



а) внизу – заготовка винта после круглошлифовальной операции 040, вверх – после резьбошлифовальной операции 050 (с поводком)



б) винт после контрольной операции 080

Рис. 3. Примеры винтов РВМ на разных стадиях технологического процесса

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-38-90167, 9.11716.2018/11.12

Список литературы

1. Жданов А.В. и др. Определение напряжений и деформаций в контакте звеньев РВМ методом конечных элементов// НТВП, №12, 2018, С.75-78
2. Жданов А.В. и др. Анализ жесткости и осевой нагрузки РВМ// НТВП, №11, 2019, С.61-64
3. Морозов В.В., Жданов А.В. РВМ. Надежность и долговечность: монография [текст] - М.: Изд-во Перо, 2015. – 152 стр.

05.13.06

¹Б.Р. Исакулов д-р техн. наук, ²М.В. Акулова д-р техн. наук,
¹М.Д. Джумабаев канд. техн. наук, ¹Х.Т. Абдуллаев канд. техн. наук,
¹Ж.О. Конысбаева, ¹С.И. Шалабаева

¹Баишев университет,
высшая школа инженерия,
кафедра «Дизайн и строительство»,
Казахстан, Актобе, mr. baizak@mail.ru,

²Ивановский государственный политехнический университет,
кафедра «Строительного материаловедения, специальных технологии
и технологических комплексов»,
Иваново, m_akulova@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ СЛАБЫХ И СИЛЬНЫХ КИСЛОТ

В работе приведены результаты исследования шлакощелочных вяжущих композиции в составе бетона и изучения их свойств при различных условиях твердения. Исследования проводились на образцах шлакощелочных вяжущих композиции в 7-ми, 14-ми и 28 суточном возрасте.

Ключевые слова: *Шлакощелочные вяжущие, добавки, жидкое стекло, прочность при сжатии, активность вяжущих, зола-унос.*

Введение. В регионах Республики Казахстана имеются огромные сырьевые ресурсы в виде многотоннажных отходов металлургической, нефтехимической, горнодобывающей и топливно-энергетической промышленности, утилизация их в составе строительных материалов является актуальным и первоочередным решением народного хозяйства страны.

Теория. Изучение взаимосвязи между процессами формирования структуры шлакощелочных вяжущих и возможности управлять их свойствами показало, что для получения шлакощелочных вяжущих с преимущественно одинаковыми свойствами независимо от состава необходимо регулировать основность вяжущей системы до оптимального уровня [1–6]. Для этого в состав можно вводить портландцементный клинкер. Установлено [4–6], что наибольшие количества добавок быстро гидратирующихся цементных минералов, свободных от гипса, выполняют роль минерализаторов, позволяющих управлять процессом структурообразования в шлакощелочных вяжущих. Поэтому разработка новых шлакощелочных вяжущих на основе отходов производства и исследование их свойств и взаимодействия с органическими заполнителями являются актуальными.

Материалы и методы. Для проведения экспериментального исследования использовались электротермофосфорный шлак Чимкентского производственного объединения и электросталеплавильный шлак Актюбинского металлургического комбината. Шлаки применялись в виде порошков, молотых до удельной поверхности 320–330 м²/кг. В качестве щелочных компонентов применяли силикат натрия и содосульфатную смесь – отходы производства капролактами. В качестве активной минеральной добавки использована зола-унос Актюбинской ТЭЦ, удовлетворяющая требованиям государственного стандарта ГОСТ 10181-2000.

Приготовление шлакощелочного вяжущего проводилось следующим образом: золу-унос тщательно перемешивали с размолотым электротермофосфорным шлаком в сухую, затем затворяли раствором щелочного компонента (содосульфатная смесь+жидкое стекло).

Для исследования использовались следующие составы шлакощелочных вяжущих, состоящие из минеральной активной добавки высококальциевой золы-уноса (50% по массе) +электротермофосфорного шлака (42% по массе) +щелочного компонента, состоящего из

содосульфатной смеси и жидкого стекла соотношением 50:50 (8% по массе). Проведено исследование влияния активной минеральной добавки золы-уноса на предел прочности при сжатии камня щелочных вяжущих. Выявлена зависимость прочности вяжущего от дисперсности золы-уноса. Известно [6], что основное количество стекловидной фазы сосредоточено в самой мелкой (меньше 56 мкм) фракции, т.е. в кварце во фракциях 56–105 мкм.

Результаты. Таким образом, экспериментальное изучение продуктов взаимодействия шлаков и содосульфатной смеси в сочетании с высокоосновными добавками, а также композиций на основе высококальциевой золы-уноса показало, что их фазовый состав определяется видом шлака, добавки и условиями твердения. В дальнейшем проведено изучение новообразований, возникающих при гидратации разработанного вяжущего в присутствии высокоосновной добавки.

Нами установлено, что при увеличении плотности раствора щелочного компонента концентрация его повышается, что приводит к увеличению прочности камня шлакощелочного вяжущего. При плотности раствора щелочного компонента 1100 кг/см³ прочность камня вяжущего составляет 16,3, 26,5 и 22,9 МПа соответственно для растворов силиката натрия с Мс 3,2 и 1. Увеличение плотности раствора щелочного компонента с 1100 до 1300 кг/см³ приводит к повышению предела прочности при сжатии камня вяжущего в 1,7–2 раза, что в зависимости от модуля стекла составляет 30,7, 47,1, 45,9 МПа. При снижении силикатного модуля жидкого стекла до 2 прирост прочности составляет до 1,5 раза по сравнению с аналогичными плотностями раствора. Но при снижении Мс до 1 прироста прочности по сравнению с составами на дисиликате натрия не наблюдается. Как показали исследования, введение в качестве добавки содосульфатной смеси, видимо, в силу своего химического состава значительно углубляет гидратацию шлакового стекла, а также способствует образованию волокнистых гидросульфатоалюминатов кальция, выполняющих роль дополнительной арматуры и уплотняющих структуру камня. Результаты показали, что при тепловлажностной обработке, когда в состав компонента вводили содосульфатную смесь, предел прочности образцов при сжатии на 7–22% выше, чем у образцов, подвергнутых тепловой обработке. Увеличение количества содосульфатной смеси в составе щелочного компонента до 75% по объему приводит к повышению прочности камня вяжущего. Так, предел прочности при сжатии камня вяжущего на жидком стекле составляет 31,1 и 38,3 МПа соответственно для образцов, подвергнутых тепловлажностной и тепловой обработке; прочность образцов с содосульфатной смесью 75% соответственно составила 45,1 и 47,7 МПа. При оптимальном соотношении содосульфатной смеси к жидкому стеклу (75:25) сроки схватывания удлиняются почти в 7 раз по сравнению с контрольным образцом.

Нами определено, что образцы, приготовленные на золе-уносе ($S_{уд} = 360–410 \text{ м}^2/\text{кг}$), показали прочность при сжатии на 60–100% выше, чем у образцов, изготовленных на исходной золе-уносе. По результатам работ установлено, что прочность безобжиговых щелочных вяжущих на основе золы-уноса, как и у других минеральных вяжущих, зависит от дисперсности золы-уноса (табл. 1).

Таблица 1 Влияние дисперсности золы-уноса на предел прочности при сжатии камня вяжущего

Удельная поверхность золы – уноса, м ² /кг	Затворитель	Предел прочности при сжатии, МПа
300	Жидкое стекло	45,2
350	Жидкое стекло	45,1
400	Жидкое стекло	41,5
410	Жидкое стекло	40,3
300	Содосульфатная смесь + жидкое стекло	47,7
350	Содосульфатная смесь + жидкое стекло	45,5
400	Содосульфатная смесь + жидкое стекло	42,0
410	Содосульфатная смесь + жидкое стекло	40,6

Как показали испытания, с увеличением содержания электротермофосфорного шлака предел прочности шлакощелочных вяжущих веществ повышается и доходит до 47,7 МПа (табл. 2).

Таблица 2 Влияние соотношения электротермофосфорного шлака на предел прочности при сжатии камня вяжущего

Алюмосиликатный компонент		Щелочной компонент		Р/З	Предел прочности при сжатии, МПа
Зола-унос, %	Электротермофосфорный шлак, %	Вид затворителя	Плотность, кг/м ³		
–	100	Жидкое стекло	1300	0,28	40,2
25	75		1300	0,30	47,1
50	50		1300	0,34	47,7
75	25		1300	0,35	32,1
100	–		1300	0,38	31,0

Закключение. Полученные в результате изучения комплексными методами физико-химических процессов взаимодействия вяжущих композиций с минеральными активными добавками на основе высококальцевой золы-уноса данные показали, что фазовый состав композиций определяется видом щелочного компонента и добавки. Результаты испытания показали, что с увеличением содержания электротермофосфорного шлака предел прочности шлакощелочного вяжущего при сжатии повышается до 48,3 МПа. Это объясняется тем, что гранулированный электротермофосфорный шлак, как более активный компонент системы, дает основное количество гидратов, придающих прочность камню шлакощелочных вяжущих. Кроме того, введение содосульфатной смеси в состав вяжущего приводит к значительному снижению стоимости вяжущего за счет экономии дефицитного промышленного жидкого стекла. Также установлено, что вяжущие с минеральными активными добавками высококальцевой золы-уноса и электротермофосфорного шлака в соотношении по массе 1:1 имеют прочность при сжатии после тепловой обработки от 57,0 до 63,9 МПа, что свидетельствует о том, что тепловая обработка благоприятно влияет на набор прочности вяжущего.

Список литературы

1. Композиты на основе низкоосновных доменных шлаков / Ю.И. Гончаров [и др.] // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы пятых акад. чтений РААСН. Воронеж: ВГАСА, 1999. С. 94–104.
2. Гончаров, Ю.И. Шлакобетоны с активным заполнителем / Ю.И. Гончаров, Ш.М. Рахимбаев, М.Ю. Гончарова // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: материалы междунар. науч.-практ. конф. Ростов-н/Д, 2000. С 128–133.
3. Корнеев, А.Д. Строительные композиты на основе шлаковых отходов / А.Д. Корнеев, Н.Ф. Сапронов, М.А. Гончарова // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы пятых акад. чтений РААСН. Воронеж: ВГАСА, 1999. С. 215.
4. Корнеев, А.Д. Строительные композиционные материалы на основе шлаковых отходов / А.Д. Корнеев, М.Ю. Гончарова, Е.А. Бондарев. Липецк, 2002. 120 с.
7. Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах из минеральных отходов промышленности/ С. Т. Сулейменов // М.: Науч.-исслед. и изд. фирма "Манускрипт", 1996. 298 с.
5. Акулова, М.В. Разработка и исследование свойств вяжущих на основе отходов промышленности /Б.Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев [и др.]// Вестник РААСН. Курск; Воронеж, 2013. С. 256–260.
6. Акулова, М.В. Комплексная электромеханическая активация золошламовых вяжущих для получения легких арболитобетонов / Б.Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев [и др.]// Научно-технический вестник Поволжья. Казань, 2014. № 1. С. 45–49.

05.13.06

Е.Н. Канинина, В.В. Родин канд. техн. наук

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
Саранск, elena-kaninina@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ

В работе рассматриваются вопросы, решаемые в ходе разработки средств измерений светораспределения источников света. А также возможности автоматизации измерений характеристик светодиодов.

Ключевые слова: *светораспределение, фотометр, фотоприемник, сила света, кинематическая схема.*

При измерении силы света в разных направлениях применяется метод распределительного фотометра (гониофотометра) – измерение силы света через измерения освещенности в разных точках шаровой (полусферической) поверхности, условно окружающей источник света [4].

При разработке гониофотометра необходимо выбрать способ сканирования источника оптического излучения. Важной деталью в гониофотометре является приемник оптического излучения, так как он определяет номенклатуру исследуемых источников оптического излучения и оптических приборов на их основе [2].

Для повышения производительности гониофотометра, изменение местоположения источника оптического излучения относительно фотоприемника, или наоборот, должно производиться автоматически по заранее заданной программе. Для этого перемещение подвижных частей гониофотометра должно осуществляться с помощью электропривода.

В мировой практике гониофотометры строятся по следующим схемам [1]:

- 1) перемещение фотоприемника вокруг исследуемого объекта, вращающегося по оптической оси;
- 2) неподвижное расположение фотоприемника относительно вращающегося по оптической оси исследуемого объекта меняющего положение в горизонтальной плоскости;
- 3) неподвижное расположение фотоприемника относительно исследуемого объекта меняющего положение в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- 4) неподвижное расположение фотоприемника и вращающегося по оптической оси исследуемого объекта, сканирование которого происходит за счет перемещения вокруг исследуемого объекта зеркала;
- 5) неподвижное расположение фотоприемника и вращающегося по оптической оси исследуемого объекта, сканирование которого происходит за счет перемещения вокруг исследуемого объекта зеркала, отраженный луч с которого попадает на второе зеркало, расположенное на оптической оси фотоприемника и синхронно вращается с перемещением первого зеркала;
- 6) неподвижное расположение фотоприемника относительно зеркала, вокруг которого перемещается исследуемый объект, вращающийся по оптической оси.

Проведенный анализ показал, что наименьшие габаритные размеры имеет гониофотометр, построенный по схеме 2. С точки зрения простоты установки и юстировки исследуемого объекта наиболее удобными являются те схемы, в которых оптическая ось исследуемого объекта располагается вертикально, то есть схема 1.

С точки зрения простоты установки и юстировки исследуемого объекта наиболее удобными являются те схемы, в которых оптическая ось исследуемого объекта располагается вертикально, то есть схема 1.

В качестве приемника излучения для исследования источников света широко используются кремниевые фотодиоды со специальными коррегирующими светофильтрами. К преимуществам фотодиода можно отнести его малые габаритные размеры и быстродействие. При выборе фотометрической головки следует учитывать рекомендации МКО, в которой регламентируется размер площади приемной поверхности фотоприемника, равной 100 мм² [4].

В связи с тем, что к фотометрической головке предъявляются жесткие требования, для получения достоверных и качественных результатов измерений целесообразно использовать в проектируемом гониофотометре готовый промышленный образец фотоприемника.

Для изменения местоположения источника оптического излучения относительно фотоприемника, или наоборот перемещение подвижных частей гониофотометра должно осуществляться с помощью электропривода.

Принципиальная особенность асинхронных двигателей – наличие скольжения ротора относительно вращающегося магнитного поля, зависящего от нагрузки. Особенность синхронного двигателя состоит в том, что его ротор вращается синхронно с полем при всех нагрузках, не превышающих максимальной (критической).

Синхронный электродвигатель, преобразующий электрические импульсы в дискретные механические перемещения, называется шаговым, или импульсным. В процессе проведения одинаковых действий двигателя в цикле повторяют набор движений, алгоритм движения может храниться в управляющей программе компьютера или в памяти контроллера шаговых двигателей.

Сервопривод – это, как правило, интеллектуальное устройство, включающее сервомотор и блок управления.

Из проведенного анализа следует, что для наших целей наиболее подходящим для электропривода является гибридный шаговый двигатель.

Согласно требованиям МКО, измерение силы света СД следует проводить на расстояниях 10 и 31,6 см, поэтому гониофотометр необходимо проектировать малогабаритным [4].

Для повышения эксплуатационных характеристик гониофотометра, в качестве фотоприемника целесообразно использовать спектрорадиометр. При этом для снижения массогабаритных показателей гониофотометра оптическое излучение СД принимается спектрорадиометром не непосредственно, а через световод, что позволяет существенно снизить вес сканирующей части гониофотометра. В свою очередь, снижение веса сканирующей части позволяет увеличить скорость сканирования исследуемого источника света [3].

Устройство работает следующим образом. На основании 1 (рис. 1) устройства расположен механизм вращения 2 в котором установлен источник света 3, светораспределение которого определяется путем его вращения вокруг вертикальной оси 4 в заданной меридиональной плоскости. Рядом с механизмом вращения 2 располагается стойка 5 с подшипниками 6 на которых вращается полая ось 7 подвижного устройства 8. Подвижное устройство 8 вращается вокруг горизонтальной оси 11, которая проходит через излучающую часть источника света 3. Путем перемещения входного отверстия 9 световода 10 вокруг источника света 3 и вокруг горизонтальной оси 11 осуществляется измерение светораспределения в заданной меридиональной плоскости. Выходное отверстие 14 световода 10 располагается неподвижно в трубке 15, закрепленной на поверхности 16 регистрирующего устройства 17, поэтому для предотвращения износа световода 10, его входное отверстие 9 закрепляется в продольном отверстии оси 12, которая свободно вращается в подшипнике 13, закрепленном в подвижном устройстве 8 [5].

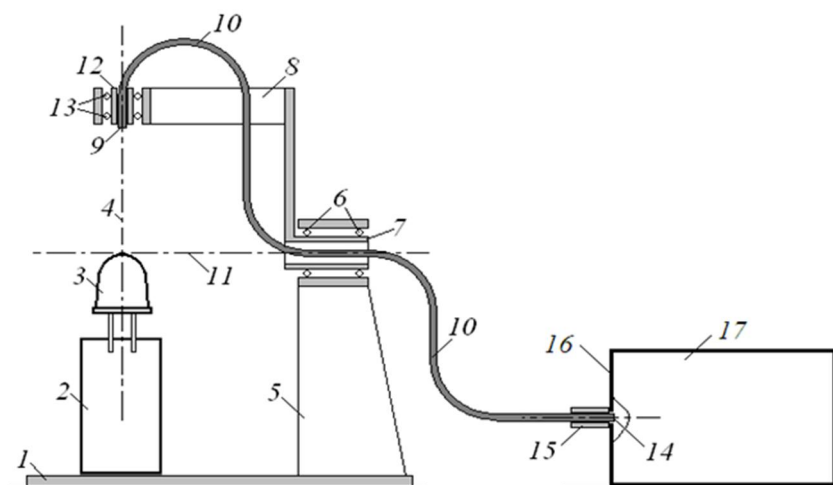


Рис.1. Схема гониофотометра

Входное отверстие световода может иметь насадку с заданным диаметром фотоприемной поверхности, что позволяет расширить возможности гониофотометра и соответствовать требованиям регламентирующих стандартов. Использование в качестве регистрирующего устройства спектрофотометра с соответствующим программным обеспечением позволяет измерять не только светораспределение исследуемого источника оптического излучения, но и прочие светотехнические характеристики, такие как световой поток, цветовую температуру, координаты цветности, спектр излучения и т.п.

При использовании кинематической схемы макетного образца гониофотометра, вместо фотоголовки устанавливается приемная часть световода, выходная часть которого подключается к спектрорадиометру. Благодаря этому снижается масса сканирующей части гониофотометра.

Список литературы

1. *Зубков, Д.П.* Гониометрический метод измерения излучения светодиодов / Д. П. Зубков // *Світлотехніка та електроенергетика*, 2011. – №4. – С. 30-37.
2. *Канинина, Е.Н.* Разработка прототипа макетного образца гониофотометра / Е.Н. Канинина, А.А. Ашрятов, А.А. Левицкий. // *Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики*. – Саранск, 2010. – С. 169-171.
3. *Канинина Е.Н.* Устройство для определения светораспределения источников света / Е.Н. Канинина, А.А. Ашрятов. // *Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики*. Сб. науч. тр. IX Междунар. науч.-тех.конф. – Саранск, 2011. – С. 199-200.
4. МКО. Технический отчет. Измерение СД. / МКО 127 – 1997. (CIE Publication No. 127, Measurement of LEDs. Central Bureau of the CIE. Vienna, Austria, 1997.)
5. Устройство для определения светораспределения источников света : пат. 110186 Рос. Федерация : МПК G01 J1/00 / А. А. Ашрятов, Е. Н. Канинина; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». - №2011119662/28; заявл. 16.05.2011; опубл. 10.11.2011. – 2 с.

05.13.06

А.Н. Кузенков

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, kosmodila@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ РЕГРЕССИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В статье обоснована целесообразность применения процедуры регрессионной идентификации для моделирования функционирования системы помола системы. Для осуществления проверки системы на стационарность обосновано использование критерия Стьюдента.

Ключевые слова: регрессионная идентификация, помол цемента, стационарность, критерий Стьюдента, рекуррентный алгоритм метода наименьших квадратов.

Для осуществления управления качеством помола цемента, первоначальной задачей является построение математической модели наблюдаемого процесса [1]. Для моделирования функционирования системы помола с использованием процедуры регрессионной идентификации, систему с непрерывным временем следует представить в дискретной форме:

$$X[(k+1)T] = A_d X(kT) + B_d U(kT),$$

$$Y(kT) = C_d X(kT),$$

где T – шаг квантования (период дискретизации, который присутствует в обеих частях уравнения и его можно не указывать) k – целые числа, A_d , B_d , C_d – матрицы дискретной системы тех же размеров, что и для исходной непрерывной системы, значения которых идентифицируются (рис. 1).



Рис. 1 – Модель системы управления помолом цемента

Матрицы A_d , B_d имеют следующий вид:

$$A_d = e^{AT},$$

$$B_d = \int_0^T e^{A\tau} B d\tau.$$

Если матрица A непрерывной системы не вырожденная, то матрицу B_d можно представить в виде

$$B_d = A^{-1}(e^{AT} - E)B,$$

где E – единичная матрица n -го порядка.

Таким образом, оценка матриц A и B непрерывной системы осуществляется через оценку соответствующих матриц дискретной системы. При этом существуют более универсальные методы преобразования дискретной системы к непрерывной.

Систему дискретных уравнений представляется в виде скалярных уравнений

$$x_i(k+1) = a_{di1}x_1(k) + a_{di2}x_2(k) + \dots + a_{din}x_n(k) + b_{di1}u_1(k) + \dots + b_{dir}u_r(k).$$

В задачу входит оценка (идентификация) параметров a_{dij} , b_{diq} , $i, j = \overline{1, 6}$, $q = \overline{1, 3}$.

В ходе эксперимента нужно запомнить g решений $u(k)$, $x(k)$, $x(k+1)$ для идентификации параметров дискретной системы, причем $g \geq 6^2 + (6 \times 3) + 1$. Решения системы определяются в результате подачи на нее некоторых входных сигналов (управляющие воздействия) [2].

Для решения моделируемой системы: $X(k)$ – вектор состояния размером 6×1 , $U(k)$ – вектор входных воздействий размером 3×1 , A_d – 6×6 , B_d – 6×3 , C_d – 1×6 .

Вектор состояний соответствует значениям контролируемых параметров: $x_1(k)$ – тонкость помола; $x_2(k)$ – удельная поверхность цемента; $x_3(k)$ – процентное содержание SO_3 ; $x_4(k)$ – процентное содержание CaO ; $x_5(k)$ – процентное содержание опоки; $x_6(k)$ – влажность. Вектор входных воздействий соответственно: $u_1(k)$ – расход клинкера; $u_2(k)$ – расход опоки; $u_3(k)$ – расход гипса. Вектор выхода: $y_1(k)$ – выход готового цемента.

Для проверки точности имитации модели матрица W_{ik} из элементов $x(k)$, $u(k)$ размерностью $(6+3) \times 1$ будет представлять собой совокупность входных воздействий и выхода системы на момент дискретного времени k :

$$W_{ik} = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_6(k), u_1(k), u_2(k), \dots, u_3(k)]^T.$$

Матрица Φ_i состоит из искоемых коэффициентов уравнения:

$$\Phi_i^T = [a_{di1}, a_{di2}, \dots, a_{di6}, b_{di1}, b_{di2}, \dots, b_{di3}]_{1 \times (6+3)}, \quad i = \overline{1, 6}.$$

$$x_i(k+1) = W_{ik}^T \Phi_i.$$

Считая, что вектор χ_i и матрица W_k известны (входные и выходные сигналы), применяя рекуррентный метод наименьших квадратов, в соответствии с которым получается следующее нормальное уравнение относительно искоемых параметров уравнения:

$$(W_k^T W_k) \hat{\Phi}_i = W_k^T \chi_i.$$

Если матрица $W_k^T W_k$ невырожденная, то оптимальная оценка параметров дискретной системы определяется в виде

$$\hat{\Phi}_i^* = (W_k^T W_k)^{-1} W_k^T \chi_i.$$

Зная $\hat{\Phi}_i^*$ для всех индексов $i = \overline{1, 6}$ находятся коэффициенты матриц A_d , B_d , а затем, найти матрицы A , B непрерывной системы.

На основе экспериментальных данных о входных и выходных значениях реализован программа в среде Matlab. В ходе выполнения программы вычислены коэффициенты матриц

для создания модели управления. Построены графики выходных значений (рисунок 3), отражающие изменение контролируемых характеристик во время наблюдения.

Вычислена передаточная функция:

$$wod(z) = \frac{0.01828z^2 - 0.1393z}{z^2 - 0.4482z - 0.2883}$$

В ходе выполнения алгоритма РМНК построены графики отображающие различные характеристики объекта [3]. Смоделирована динамика выхода системы на производительность в 40 тонн цемента/час (рис. 2).

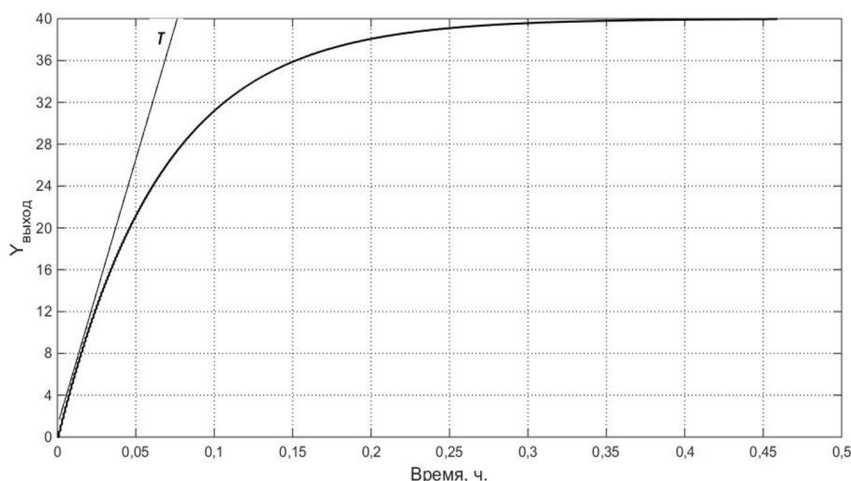


Рис. 2 – Динамика выхода система на производительную мощность

При полной загрузке мельницы материалом ей необходимо 0,45 часа для выхода на необходимый уровень производства цемента. Вычислено время реакции системы на действие оператора $T=0,08$ часа (прибл. 5 минут). Для возможности применения статистических методов контроля выполнена проверка на стационарность всех технологических процессов. Стационарным процессом считается процесс, вероятностные характеристики (математическое ожидание, дисперсии) которого не зависят от времени. Из определения стационарного процесса второго порядка непосредственно вытекает, что очевидными параметрическими критериями при проверке реального процесса на стационарность являются критерий Стьюдента.

Таблица 1 – Значения критерия Стьюдента для наблюдаемых характеристик

Критерий Стьюдента	$\tau_{кр}(p \leq 0.05)$	$\tau_{кр}(p \leq 0.01)$	$\tau < \tau_{кр}$
$\tau_1=1,7$	2,1	2,88	Вероятностные характеристики постоянны
$\tau_2=0,1$			Вероятностные характеристики постоянны
$\tau_3=0,9$			Вероятностные характеристики постоянны
$\tau_4=2$			Вероятностные характеристики постоянны
$\tau_5=0,2$			Вероятностные характеристики постоянны
$\tau_6=2$			Вероятностные характеристики постоянны

Список литературы

1. Кузенков А.Н. Автоматизированная подсистема контроля качества цемента на основе использования карт Шухарта / А.Н. Кузенков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4. – С. 168-180.
2. Афонин В.В. Основы теории управления. Лабораторный практикум / В.В. Афонин, С.А. Федосин, С. Е. Иконников. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 244 с.
3. Семёнов А.Д., Щербаков М.А. Основы теории управления и идентификации в технических системах: Учебн. пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008.- 211 с. : ил. 59

05.13.06

Л.И. Медведева канд. техн. наук, П.М. Факанов, М.С. Долматова

Волжский политехнический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»,
Волжский, lyumed@yandex.ru, fuckonoff@mail.ru, bezmarina@mail.ru

АНАЛИЗ ЭТАПОВ РАЗРАБОТКИ АСУТП НА ПРИМЕРЕ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В статье рассмотрены основные этапы проектирования автоматизированных систем управления процессами очистки отходящих газов методом химической абсорбции и ректификации бутилового спирта, включающие в себя анализ параметров объекта управления, обоснование выбора регулятора, анализ контуров регулирования и технико-экономическое обоснование.

Ключевые слова: *автоматизированная система, массообменные процессы, объект управления, имитационное моделирование.*

Ведение массообменных процессов, таких как ректификация бутилового спирта или химическая абсорбция, возможно только при условии их полной автоматизации. Согласно ГОСТу "Автоматизированные Системы. Стадии создания", процесс создания автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) представляет собой совокупность упорядоченных во времени, взаимосвязанных, объединенных в стадии и этапы работ, выполнение которых необходимо для её проектирования. Основными этапами разработки АСУТП при этом являются:

- формирование требований к АСУТП, включая этап «Обследование объекта и обоснование необходимости создания автоматизированной системы»;
- технический проект, целью которого является разработка проектных решений и документации по системе и ее частям. [1]

Основными проблемами, возникающими при создании систем управления химическими производствами, можно назвать такие как: вредность; взрыво- и пожароопасность; большая вероятность выброса вредных веществ в окружающую среду; высокая чувствительность к нарушениям заданного режима; наличие большого числа точек контроля и управления процессом; необходимость своевременного воздействия на процесс из-за отклонения от заданных по регламенту условий его протекания. Все это не позволяет даже опытному оператору обеспечить качественное ведение процесса вручную. Дистанционное управление технологическим оборудованием, которое расположено во взрывоопасной зоне, а рассматриваемые процессы относятся к взрывоопасным, является актуальной задачей инженера-разработчика АСУТП.

Первым этапом разработки АСУТП является анализ объекта управления, который должен соответствовать стандартам технологического процесса, иметь четкое математическое описание, с определением его динамических и статических характеристик.

Так в процессе очистки отходящих газов объектом управления является химический абсорбер, а основным контуром регулирования – поддержание концентрации SO₂ в обедненной газовой смеси - $c_{ог}$.

Для расчета параметров передаточной функции объекта регулирования по каналу $G_a \rightarrow c_{ог}$ используем уравнение динамики по материальному балансу по общему количеству целевого компонента в процессе абсорбции:

$$\rho_{\text{ог}} S_{\text{ап}} (H_{\text{ап}} h_{\text{на}}) \frac{dc_{\text{ог}}}{dt} + G_{\text{ог}} c_{\text{ог}} = G_z c_z + G_a c_a + G_{\text{на}} c_{\text{на}}$$

$$X(p) = G_a$$

Осуществив преобразования Лапласа $Y(p) = c_{\text{ог}}$, получим:

$$Y(p) (\rho_{\text{ог}} S_{\text{ап}} (H_{\text{ап}} h_{\text{на}}) p + G_{\text{ог}}) = X(p) c_a$$

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{c_a}{(\rho_{\text{ог}} S_{\text{ап}} (H_{\text{ап}} h_{\text{на}}))p + G_{\text{ог}}} = \frac{c_a / G_{\text{ог}}}{\frac{\rho_{\text{ог}} S_{\text{ап}} (H_{\text{ап}} h_{\text{на}})}{G_{\text{ог}}} p + 1} = \frac{K_{\text{об}}}{T_{\text{об}} p + 1}$$

Это инерционное звено первого порядка (апериодическое):

$$K_{\text{об}} = \frac{c_a}{G_{\text{ог}}}; \quad T_{\text{об}} = \frac{\rho_{\text{ог}} S_{\text{ап}} (H_{\text{ап}} h_{\text{на}})}{G_{\text{ог}}}$$

Объект будет иметь транспортное запаздывание $\tau = 4$.

Для численных значений параметров объекта необходимы $G_{\text{ог}}$ – показатель

$$\rho_{\text{ог}} = \frac{M_{\text{ог}}}{V_m} = \frac{M_{\text{ог}}}{22,4}$$

эффективности разделения абсорбента и $\rho_{\text{ог}}$ – плотность очищенного газа:

Найдем молярную массу очищенных газов [2]. Поскольку известен состав газовой смеси то можно найти:

$$M_{\text{ог}} = M(N_2) + C(N_2) + M(H_2) + C(H_2),$$

где, $C(N_2)$ и $C(H_2)$ – концентрации соответствующих компонентов.

$$M_{\text{ог}} = 0,028 + 0,249 + 0,002 + 0,7446 = 0,0085 \text{ (кг / моль)}$$

$$\rho_{\text{ог}} = \frac{0,0085 + 1000}{22,4} = 0,38 \text{ (кг / м}^3\text{)}$$

Тогда:

$$G_{\text{ог}} = \rho_{\text{ог}} \cdot F_{\text{ог}},$$

где $F_{\text{ог}}$ – объемный расход очищенных газов, м³ / час. $G_{\text{ог}} = \rho_{\text{ог}} F_{\text{ог}} = 7554$

Объект будет иметь следующие параметры и передаточную функцию:

$$K_{\text{об}} = \frac{c_a}{G_{\text{ог}}} = \frac{16,7}{7554} = 0,022$$

$$T_{\text{об}} = \frac{\rho_{\text{ог}} \cdot S_{\text{ап}} \cdot (H_{\text{ап}} + h_{\text{на}})}{G_{\text{ог}}} = \frac{0,38 \cdot 3,8 \cdot (6,3 + 0,15)}{7554} = 0,1(\text{с})$$

$$W_{\text{вм}}(p) = \frac{K_{\text{вм}}}{T_{\text{вм}} p + 1} = \frac{0,24}{10p + 1}$$

Поскольку в контуре регулирования присутствует время запаздывания, то из трех типовых переходных процессов выбираем один, а именно с 20% перерегулированием. Данный переходный процесс обеспечит оптимальное время регулирования и необходимую точность.

При выборе типа регулятора ориентируемся на величину отношения запаздывания к

постоянной времени объекта - $\frac{\tau}{T_{\text{об}}}$. Для нашего случая $\frac{\tau}{T_{\text{об}}} = \frac{4}{0,1} = 40$. Итак, выбираем ПИД-регулятор, который должен компенсировать запаздывание в контуре регулирования.

Рассчитываем оптимальные настройки для ПИД-регулятора с передаточной функцией вида:

$$W_{\text{рег}}(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right)$$

Для данного регулятора и принятого переходного процесса находим:

$$K_p = \frac{1,2}{K_{об} \tau / T_{об}} = \frac{1,2}{0,022 \cdot 4 / 0,1} = 3,$$

$$T_i = 2 \quad \tau = 2,$$

$$T_d = 0,4 \quad \tau = 0,4,$$

где K_p - коэффициент усиления регулятор;

T_i - время изодрома (постоянная интегрирования регулятора);

T_d - постоянная дифференцирования.

Для построения переходного процесса используется программа MatLab и среда Simulink [3]. В окне составляется следующий замкнутый контур системы регулирования с рассчитанными параметрами блоков (рис. 1):

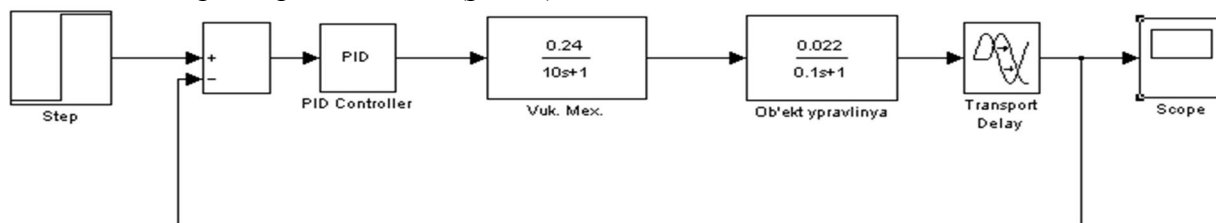


Рис. 1. Структурная схема контура регулирования концентрации SO₂.

В результате моделирования получим следующий переходный процесс (рис. 2):

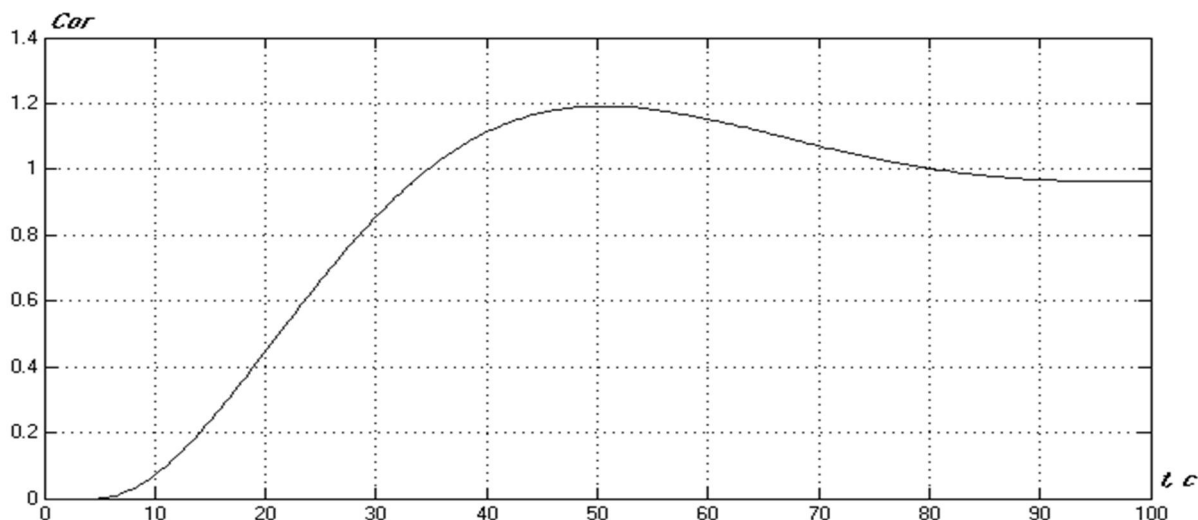


Рис. 2. Переходный процесс в контуре регулирования концентрации SO₂.

Таким образом, время регулирования переходного процесса составляет 60 с, а перерегулирование 20%, что и было теоретически заложено.

Основная задача следующего этапа заключается в разрешении проблемы наличия внешних и внутренних возмущающих воздействий. Внешние возмущения вносят извне при изменении входных и некоторых выходных параметров. Внутренние возмущения, происходят в самом объекте управления при изменении характеристик технологического оборудования и параметров рабочих сред.

Так для процесса очистки отходящих газов методом химической абсорбции каналами внесения регулирующих воздействий, являются: стабилизация расхода начальной газовой смеси G_e необходима для обеспечения заданной производительности установки; регулирование уровня на насыщенного абсорбента для обеспечения материального баланса по жидкой фазе, а именно обеспечение её своевременного слива во избежание захлебывания колонны и перелива выше необходимого уровня; регулирование температуры начального материального потока абсорбента θ_a в трубопроводе отвода насыщенного абсорбента за счет

оборота воды в теплообменнике поз. 2 с помощью клапанов регулирования; регулирование концентрации очищенного газа по подаче абсорбента, как показателя эффективности процесса химической абсорбции.

А для процесса ректификации бутилового спирта это: уровень во флорентийском сосуде; уровень в емкости путем отбора спиртового слоя; уровень в колонне; уровень в подземном сборнике отбором спиртового слоя; температура спиртового слоя, подаваемого в колонну за счет изменения расхода пара, подаваемого в кипятильник; температура спиртового слоя, подаваемого в верх колонны.

Необходимость проведения расчетов экономического обоснования технического решения по проекту вызвана следующим: разработчик должен лично убедиться, что принимаемое им решение имеет технический и экономический эффект; показать всем техническим службам экономическую и техническую целесообразность принимаемого решения; убедить все экономические службы в полезности принятия данного решения с экономической точки зрения. [4]

В результате полученных технико-экономических показателей затраты на внедрение проекта составили 331720 тыс. руб. Экономический эффект составит в год 168015 тыс. руб. и срок окупаемости капитальных вложений будет 2 года.

Применение современных средств автоматизации позволило улучшить основные показатели эффективности, такие как состав полученного бутилового спирта и степень очистки отходящих газов, безопасность и безаварийность процесса, при оптимальной производительности оборудования и при минимальных энергетических затратах на процесс.

Список литературы

1. ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания.
2. Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский – Изд. 3-е, стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007.
3. Алейников И.А. Практическое использование пакета Mathcad при решении задач: Учебное пособие. — М.: Российский государственный открытый технический университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации, 2002, 114 с.
4. Методические указания по выполнению экономической части дипломных проектов для студентов неэкономических специальностей / 2-ое изд., с изм. и дополн. Сост. В.В. Бакаев. – Волгоград: Издательство ВолгГТУ, 2007.- 36 с.: ил.

05.13.06

Ж.В. Овадыкова канд. с.-х. наук , П.С. Шичёв, Э.Х. Овадыков

Ухтинский государственный технический университет,
Строительно - технологический институт,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
Ухта, zhanna_ovadykova@mail.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Проанализирован уровень разработки программного обеспечения для электропараметрического метода диагностики центробежных насосных агрегатов (ЦНА.) На основании требований современных средств разработки программного обеспечения, разработана база данных, упрощающая, систематизирующая работу с данными о результатах диагностики ЦНА. При этом на выходе получен программный продукт, который легко расширяем и масштабируем.

Ключевые слова: агрегаты, программный продукт, база данных, программное обеспечение, диагностика, информационно-измерительная система.

В настоящее время центробежные насосные агрегаты (ЦНА), используемые в нефтегазовой отрасли для выполнения широкого спектра производственных задач, составляют 35% всего производственного оборудования предприятий. При этом зачастую, ЦНА, являясь звеном ответственных и непрерывных процессов на производстве, подвергаются значительным механическим нагрузкам на конструктивные элементы, агрессивному воздействию перекачиваемой среды, негативному влиянию внешних факторов (загрязнение, вибрация), что способствует развитию неисправностей в ЦНА и приводит к их внезапным отказам. Внезапный отказ может сопровождаться тяжелыми последствиями, связанными с аварией, остановкой технологического процесса, и угрозой здоровью персонала, а также существенным экономическим ущербом предприятию [1].

Для предотвращения непредвиденных отказов ЦНА в процессе их эксплуатации осуществляется отслеживание технического состояния их узлов применением методик диагностики, в том числе контроля параметров вибрации, температуры, характеристики насоса, шума, смазки подшипников, электрических параметров цепи питания двигателя.

Электропараметрический метод, подразумевающий применение анализа амплитудных спектров сигналов тока и напряжения электродвигателя в составе оборудования является одним из наиболее перспективных методов функциональной диагностики [1].

Для ускорения производства диагностических расчетов, упрощения хранения результатов диагностических процедур, необходимо разработать программный продукт.

Цель работы – автоматизация процедур электропараметрической технической диагностики центробежных насосных агрегатов.

Для достижения цели, были поставлены следующие задачи:

- Анализ уровня разработки программного обеспечения электропараметрического метода контроля технического состояния центробежных насосных агрегатов;
- Сформулировать функциональные требования;
- Разработать архитектуру программного продукта;
- Разработать базу данных.

В основу методики диагностики ЦНА по спектрам тока положен принцип использования в качестве диагностических параметров относительных амплитуд информативных частотных составляющих спектра сигнала тока, фиксируемого в фазе линии питания электродвигателя

агрегата. Состояние каждого рассматриваемого узла в отдельности характеризуется индивидуальным набором информативных частотных составляющих спектра тока, что дает возможность определить изменение состояния конкретного узла ЦНА.

Определение состояний узлов ЦНА основано на сравнении текущих значений диагностических параметров спектра тока с предварительно установленными порогами для видов состояний, которые устанавливаются согласно действующим нормам на среднее квадратическое значение (СКЗ) виброскорости агрегата, что возможно благодаря полученным в процессе исследований аналитическим выражениям, связывающим диагностические параметры спектра и СКЗ виброскорости при изменении показателя состояния сопряжения валов и подшипников качения ЦНА. Кроме того, методикой предполагается корректировка порогов диагностических параметров в случае отклонения от номинальных значений рабочих характеристик насоса (напор и производительность) и выполнения контролей на консольных ЦНА других мощностей [1].

Применение метода анализа спектров тока двигателя ЦНА позволяет организовать мониторинг состояния узлов агрегата удаленно, без необходимости контакта с корпусом машины, и обеспечить меньшие трудоемкость и финансовые затраты на выполнение работ в сравнении с другими паритетными по информативности методами контроля. В свою очередь новые подходы в предварительном определении порогов диагностических параметров и корректировке порогов в зависимости от характеристик агрегата обеспечат эффективное использование рассматриваемого метода в целях совершенствования контроля технического состояния промысловых консольных ЦНА [1, 5].

Проанализировав литературные источники и сеть Интернет по разработке программного продукта для электропараметрической технической диагностики ЦНА установлено следующее.

В работе [2] для диагностики используются анализ значений токов, напряжений и температур. В программном обеспечении для методики описанной в работе используется нейронная сеть, для корректной работы которой необходимо ее обучение, что является трудоемким процессом.

В методике [1] определения предельных состояний ресурсопределяющих узлов промысловых консольных ЦНА анализом спектров тока электродвигателя, представлены описание принципов оценки состояния, порядок процедур контроля, даны рекомендации по их проведению. При этом методика предполагает не автоматизированный расчет прогнозируемого состояния узлов ЦНА и корректировку интервалов контролей с помощью аналитических выражений, формирование отчета и принятия решения о дальнейшей эксплуатации ЦНА.

В рамках поставленных задач в настоящей работе предлагается автоматизировать все расчеты для электропараметрической технической диагностики центробежных насосных агрегатов с использованием принципов и порядка, изложенных в работе [1]. Следовательно, разработан программный продукт с целью сокращения времени и удовлетворения всем функциональным требованиям с помощью современных средств разработки.

Разработка программного продукта состоит из следующих требований: добавление информации о ЦНА, хранение информации о ЦНА, расчет состояния сопряжения валов, расчет состояния подшипников, расчет состояния подшипников в двигателе, результат расчета состояния должен сравниваться с классами состояния, хранение в базе данных результатов, составление прогноза перехода ЦНА в следующий класс состояния и наконец вывод отчета о состоянии ЦНА.

В качестве архитектурного подхода был выбран паттерн MVC. Model-view-controller - схема использования нескольких шаблонов проектирования, с помощью которых модель данных приложения, пользовательский интерфейс и взаимодействие с пользователем разделены на три отдельных компонента таким образом, чтобы модификация одного из компонентов оказывала минимальное воздействие на остальные.

В качестве системы управления базами данных была выбрана MySQL, которая позволяет создать базу данных и манипулировать данными (вставлять, обновлять, удалять и выбирать). Система обеспечивает безопасность, надёжность хранения и целостность данных, а также предоставляет средства для администрирования базы данных.

База данных будет хранить информацию о характеристиках ЦНА, результаты диагностики, информацию о ремонтах и значения переходов классов состояния центробежных насосных агрегатов [3].

Работа с программой начинается с выбора необходимого ЦНА, в левом верхнем окне «Выбрать машину» располагающемся на главной форме (рис. 1).

После выбора ЦНА в окне «Информация о машине» отображаются все характеристики выбранной ЦНА.

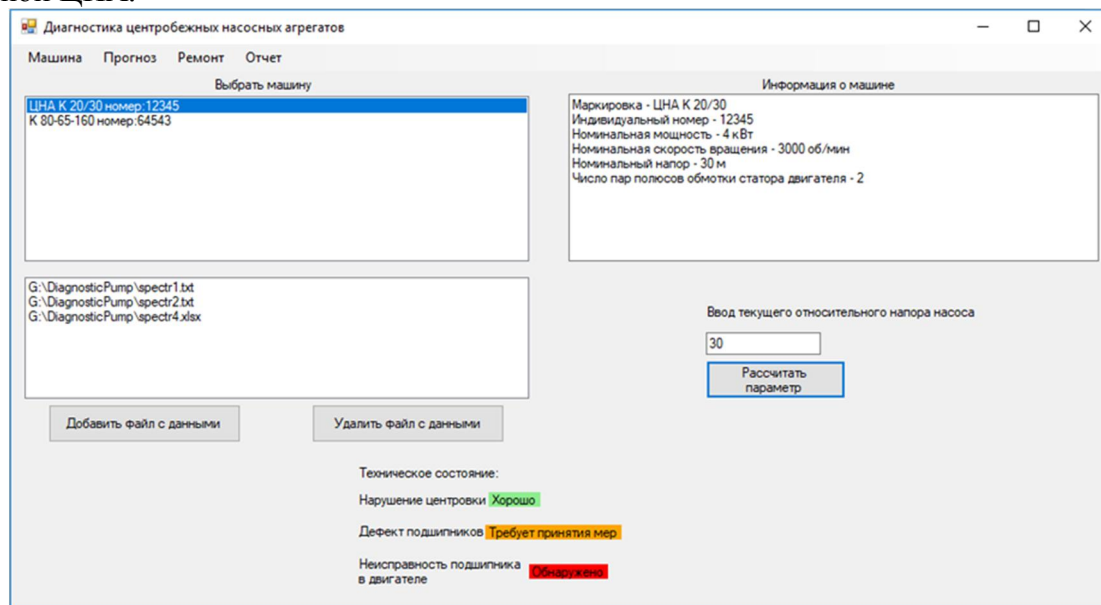


Рис. 1- Главная форма

Далее необходимо выбрать файлы с данными. Программа работает с текстовыми файлами разрешения txt, а так же и с документами MS Excel. При необходимости есть возможность удалить файл.

Для расчета диагностического параметра необходимо указать текущий относительный напор.

После нажатия кнопки происходит расчет диагностических параметров и сравнение их с классами состояния. Результаты диагностики выводятся в нижней области главной формы программы. Если состояние компонента ЦНА классифицируется как «Хорошо», то надпись выделяется зеленым цветом, если состояние классифицируется как «Допустимо», то выделяется желтым, если «Требуется принятия мер» - оранжевым, «Недопустимо» - красным. Все результаты диагностики заносятся в базу данных.

Для внесения данных о новом ЦНА, необходимо нажать кнопку «Машина» и в выпадающем списке выбрать пункт «Добавить». После этого на экране появляется добавления ЦНА.

Далее на появившейся форме (рис. 2) необходимо заполнить все поля описывающие характеристики ЦНА. А так же пограничные значения для классов состояния подшипников и сопряжения валов при определенном относительном напоре. По нажатию кнопки «Добавить» форма закроется, если все данные были введены корректно. Если же данные были введены не правильно или не полностью то программа выдаст ошибку. Если это ошибка связана с неправильным заполнением значений классов состояния подшипников, то программа выдаст ошибку с соответствующим сообщением. Такой же исход будет и при не заполнении значений классов состояния сопряжения валов. Так же при не заполнении полей свойств ЦНА, программа выдает соответствующую ошибку.

Добавление машины

Маркировка: ЦНА К 20/30

Идентификационный номер: 12345

Номинальная мощность, кВт: 4

Номинальная скорость вращения, об/мин: 3000

Номинальный напор, м: 30

Число пар полюсов обмотки статора двигателя: 2

Ввод классов состояния

Классы состояния подшипников

Напор	Хорошо	Допустимо	Работа ограниченное время/Недопустимо
30	0,65	0,71	0,81

Классы состояния сопряжения валов

Напор	Хорошо	Допустимо	Работа ограниченное время/Недопустимо
30	0,48	0,53	0,61

Добавить

Рис. 2- Форма добавление ЦНА

Для введения информации о ремонте требуется выбрать пункт ремонт в верхнем меню на главной форме. После этого откроется форма «Ремонты», на которой необходимо выбрать нужную машину, указать дату ремонта. Так же есть возможность написать комментарий. В нижней части формы можно узнать информацию о ранее внесенных ремонтах.

Для просмотра результата прогноза состояния ЦНА необходимо нажать на кнопку «Прогноз». После этого откроется форма на которой необходимо выбрать нужный ЦНА, выбрать вид прогноза, упрощенный или стандартный, а так же выбрать предмет прогноза, сопряжения валов или состояние подшипников.

Прогноз осуществляется по предыстории изменения диагностического параметра на краткосрочный период (до 6 месяцев). При этом период прогноза не превышает период предыстории измерений, не учитывая измерения до даты последнего ремонта. По упрощенному виду прогноза берется максимальное увеличение значения за минимальное время между диагностиками [3, 4]. По стандартному прогнозу берется при накоплении истории измерений (пять и более процедур контролей) тренд диагностического параметра следует определять по последним пяти измерениям с дальнейшей корректировкой угла наклона функции линейного тренда (скользящий тренд-анализ).

На форме прогноза (рис. 3) появляется график, на котором красной линией соединены точки показывающие дату и значение проводимых ранее диагностик. На оси ординат расположены значения диагностических параметров. Синей линией соединяются значение последнего прогноза и точки перехода в следующий класс состояния. Вертикальными фиолетовыми линиями указываются даты ремонтов.

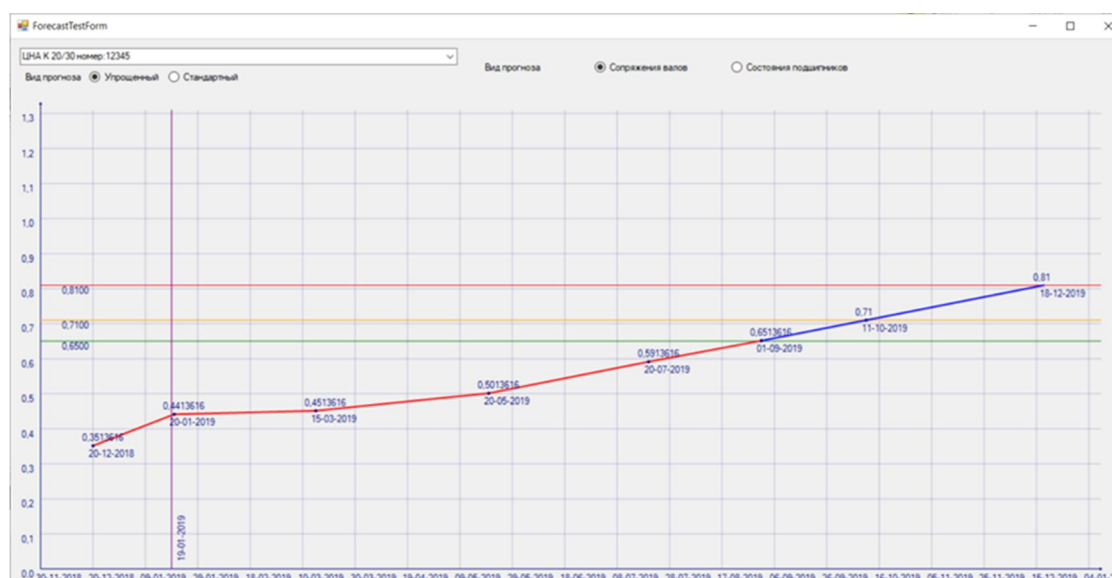


Рис. 3- Форма прогноза

Для формирования отчета необходимо выбрать пункт «Отчет» в верхнем меню расположенном на главной форме. После этого откроется форма отчета, на которой мы можем выбрать шаблон отчета. Шаблон не ограничивает нас в выборе оформления отчета. Шаблон необходимо заполнить ключевыми словами, которые в результате формирования отчета будут заменены на соответствующие данные.

ОТЧЕТ

по результатам токового мониторинга состояния узлов ЦНА

1. Общая информация об ЦНА _____
 Модель ЦНА К 20/30 _____
 Идентификационный номер 12345 _____
 Наименование предприятия/участка _____
2. Текущие рабочие характеристики насоса
 Напор, м (давление, МПа) 30 _____
 Производительность, м³/час _____
3. Пороги диагностических параметров
- | Сопряжение валов | | |
|------------------|-----------|------------------------------------|
| ХОРОШО | ДОПУСТИМО | ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР / НЕДОПУСТИМО |
| 0,65 | 0,71 | 0,81 |
- | Подшипники | | |
|------------|-----------|------------------------------------|
| ХОРОШО | ДОПУСТИМО | ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР / НЕДОПУСТИМО |
| 0,48 | 0,53 | 0,61 |

Рис. 4 - Сформированный отчет

Заключение

В ходе выполнения работы выполнены следующие задачи:

- проанализирован уровень разработки программного обеспечения электро-параметрического метода контроля технического состояния центробежных насосных агрегатов.
- сформулированы функциональные требования.
- разработана база данных.

В результате, выполненных требований с помощью современных средств разработки ПО, было разработано полнофункциональное приложение, удовлетворяющее всем функциональным требованиям. Таким образом, программа легко расширяема и масштабируема.

Список литературы

1. Оценка технического состояния ресурсопределяющих узлов промысловых консольных центробежных насосных агрегатов методом анализа спектров тока электродвигателя [Текст]: учебно-методическое пособие / И. Ю. Быков, П. С. Шичев. - Ухта : УГТУ, 2019. - 77 с. : ил.
2. Баширов М.Г., Миронова И.С. Разработка интегральных критериев для оценки технического состояния и ресурса машинных агрегатов нефтегазового производства. //Научные труды -2015. -№ 1. - С. 46 - 55.
3. Калекин, В.С. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования [Текст]: учеб. пособие / В. С. Калекин, В. В. Токарев. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. - 152 с.
4. Писаревский, В.М. Эксплуатация и диагностика насосных агрегатов магистральных нефтепроводов [Текст]: учеб. пособие / В.М. Писаревский. – Москва: Нефть и газ, 2004. – 126 с.
5. Эксплуатация насосно-силового оборудования на объектах трубо-проводного транспорта [Текст]: учебное пособие / Ю. Д. Земенков [и др.]; под общей ред. Ю. Д. Земенкова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – 456 с.

05.13.06

**А.В. Савчиц канд. техн. наук., В.В. Корзин канд. техн. наук, Е.Я. Пономарев,
М.В. Трухина, А.В. Поклонская, Н.В. Карнавская**

Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ,
Кафедра «Автоматика, электроника и вычислительная техника»,
Волжский, artem-savchic@yandex.ru, korzinv@mail.ru, ponomarev.yerbulat@mail.ru,
trukhina_96@mail.ru, poklonskaya.anastasia95@gmail.com, natashakarnavskaya@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫМИ АППАРАТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIMINTECH

В статье рассматривается применение математического моделирования систем автоматического регулирования тепловыми объектами для применения в инженерной практике при проектировании и модернизации систем управления. Приведена реализация математической модели теплообменного аппарата и контура регулирования температуры в программе SimInTech.

Ключевые слова: *Визуальное моделирование, SimInTech, регулятор, теплообменный аппарат.*

В настоящее время тенденции таковы, что при разработке и модернизации АСУТП большинство проектных организаций вводят в эксплуатацию системы без предварительного моделирования различных контуров регулирования технологических параметров. Так, настройка регуляторов, осуществляется «на глаз» или с помощью встроенных в ПЛК или промышленные регуляторы приборного исполнения алгоритмов автонастройки. Данный подход не всегда дает оптимальный и быстрый результат, особенно при регулировании сложными объектами (например, массообменными и теплообменными).

Алгоритмы автонастройки встроенные в регуляторы и ПЛК, за исключением адаптивных алгоритмов, эффективны для простых объектов, которые можно писать передаточной функцией первого порядка. Вдобавок, большая часть таких алгоритмов использует тестовые прогоны для получения необходимых данных, что не всегда допустимо делать на работающем аппарате [1]. Конечно, есть адаптивные алгоритмы идентификации параметров регулятора, но они сложны и применяются в дорогостоящем оборудовании для систем регулирования.

Упростить и удешевить данный процесс может позволить математическое моделирование, но для вновь внедряемых или модернизируемых систем регулирования и управления технологическими процессами не применяется совсем или достаточно редко. Это обусловлено тем, что проектные организации не хотят тратить время на более тщательное изучение автоматизируемых объектов или попросту у них отсутствуют специалисты в этой области.

Хотя предварительное моделирование позволило бы уменьшить количество ошибок при пуско-наладочных работах и увеличить качество регулирования технологических параметров, а как следствие снижение затрат на материальные и энергетические ресурсы. Немаловажным плюсом моделирования являются безопасность – технологический процесс не задействован при нем и следственно не произойдет аварийных ситуаций.

Дополнительно моделирование позволяет проверить другие варианты подходов к организации контуров регулирования, например, оценить возможность применения оптимальных, адаптивных, нечетких и нейросетевых регуляторов, в особенности для процессов предъявляющих повышенные требования к точности поддержания технологических параметров.

Одним из самых распространённых технологических аппаратов являются теплообменные, например бойлеры, кожухотрубчатые или пластинчатые теплообменники. Данные аппараты обладают существенным недостатком (с точки зрения систем регулирования) – значительной инерционностью. И чем габаритнее теплообменник, тем инерционность выше.

В связи с этим, возникает весьма интересная задача – как добиться такой работы системы регулирования, при которой регулятор смог бы компенсировать инерционность за счет внесения регулирующих воздействий заранее. Вот тут и приходит на помощь моделирование теплообменного аппарата и всей системы регулирования.

Получение модели теплообменного аппарата не представляет сложную задачу, учитывая, что существует большое количество технической литературы, где весьма подробно расписано получение его математического описания.

Наиболее часто используют запись математической модели в форме передаточных функций, дифференциальных уравнений и в пространстве состояний.

Какую форму записи математической модели использовать зависит от многих факторов, например от знаний разработчика, имеющихся данных для получения математической модели, насколько точно модель должна описывать моделируемый процесс или аппарат.

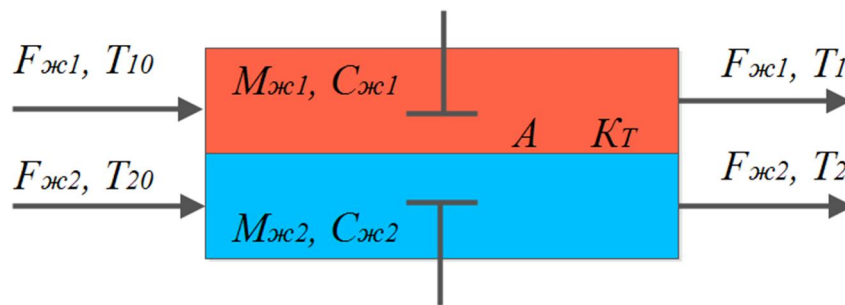


Рис. 1 – Схема потоков в теплообменнике

Математическую модель теплообменного аппарата для подогрева холодной жидкости горячим теплоносителем можно представить аналитически в виде двух уравнений [2]:

$$\begin{cases} M_{ж1} C_{ж1} \frac{dT_1}{dt} = F_{ж1} C_{ж1} (T_{10} - T_1) - AK_T (T_1 - T_2); \\ M_{ж2} C_{ж2} \frac{dT_2}{dt} = F_{ж2} C_{ж2} (T_{20} - T_2) - AK_T (T_1 - T_2), \end{cases} \quad (1)$$

где $F_{ж1}$ – расход горячей жидкости, кг/с,

$F_{ж2}$ – расход холодной жидкости, кг/с,

A – суммарная поверхность теплообмена, m^2 ,

$M_{ж1}$ – масса горячей жидкости, кг,

$M_{ж2}$ – масса холодной жидкости, кг,

$C_{ж1}$ – удельная теплоемкость горячей жидкости Дж/кг · °С,

$C_{ж2}$ – удельная теплоемкость холодной жидкости Дж/кг · °С,

K_T – коэффициент теплопередачи Вт/($m^2 \cdot °C$),

T_{10} – начальная температура холодной жидкости,

T_{20} – начальная температура горячей жидкости,

T_1 – температура холодной жидкости после теплообменника,

T_2 – температура горячей жидкости после теплообменника,

Выразив из уравнений (1) переменные dT_1/dt и dT_2/dt получим систему уравнений, удобную для имитационного (визуального) моделирования.

$$\begin{cases} \frac{dT_1}{dt} = \frac{F_{ж1} C_{ж1} (T_{10} - T_1) - AK_T (T_1 - T_2)}{M_{ж1} C_{ж1}}; \\ \frac{dT_2}{dt} = \frac{F_{ж2} C_{ж2} (T_{20} - T_2) - AK_T (T_1 - T_2)}{M_{ж2} C_{ж2}}. \end{cases} \quad (2)$$

В качестве среды для визуального моделирования была использована программа SimInTech. На рисунке 1 представлена блок-схема реализации первого уравнения из системы уравнений (2). Аналогично выглядит блок-схема для второго уравнения из системы с заменой переменных, соответственно.

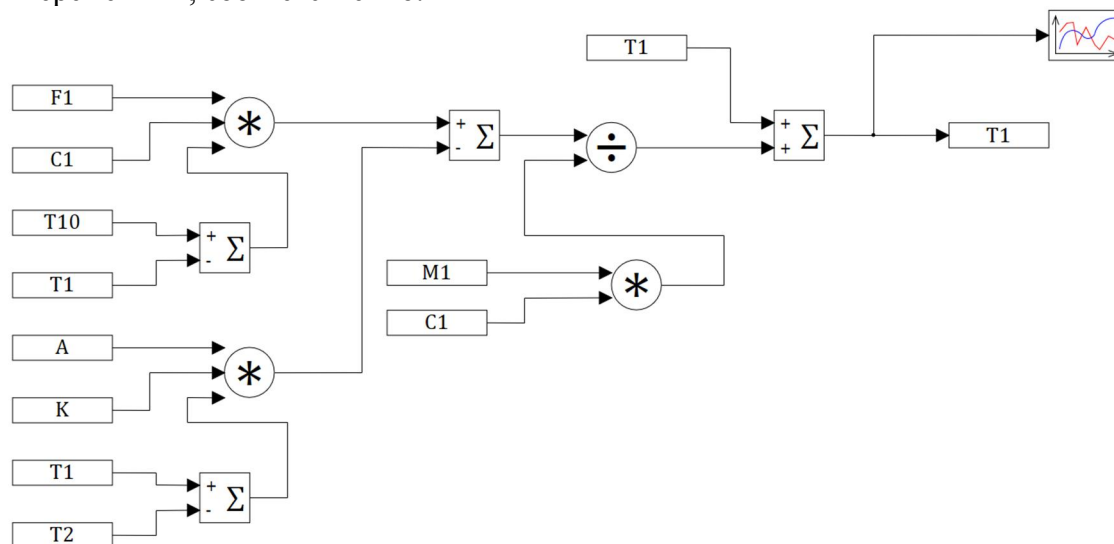


Рис. 2 – Блок-схема реализации математической модели

Значение переменных, входящие в систему уравнений (2), можно найти в справочниках или в технических характеристиках моделируемого теплообменного аппарата. Коэффициент теплопередачи K_T находится из дополнительного расчета, по формуле, которая также приведена в справочной литературе.

Задав набор значений переменных математической модели, было получены результаты, представленные на рисунке 2. Моделирование подтверждает, что увеличение расхода горячего теплоносителя приводит к увеличению его температуры на выходе. При этом увеличение начальной температуры горячего теплоносителя приводит к увеличению температуры подогреваемой жидкости. Возрастание расхода подогреваемой жидкости приводит к понижению ее температуры на выходе.

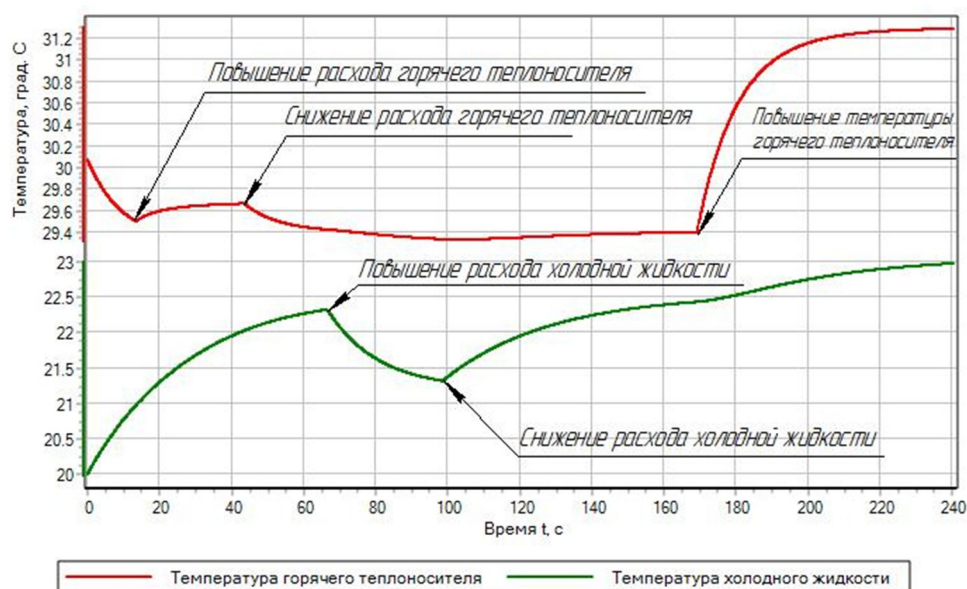


Рис. 3 – Результаты моделирования теплообменного аппарата

И в заключении было проведено моделирование работы системы автоматического регулирования теплообменным аппаратом (рисунок 4). В качестве регулятора был рассмотрен самый простой регулятор - двухпозиционный. Регулирующие воздействие

вносилось на линии подачи горячего теплоносителя, за счет открытия/закрытия электромагнитного клапана. Для полноценного моделирования системы регулирования была добавлена модель электромагнитного клапана. Применение двухпозиционного регулятора для рассматриваемого теплообменного аппарата, конечно, не самый лучший вариант, но на практике такие системы регулирования встречаются довольно часто.

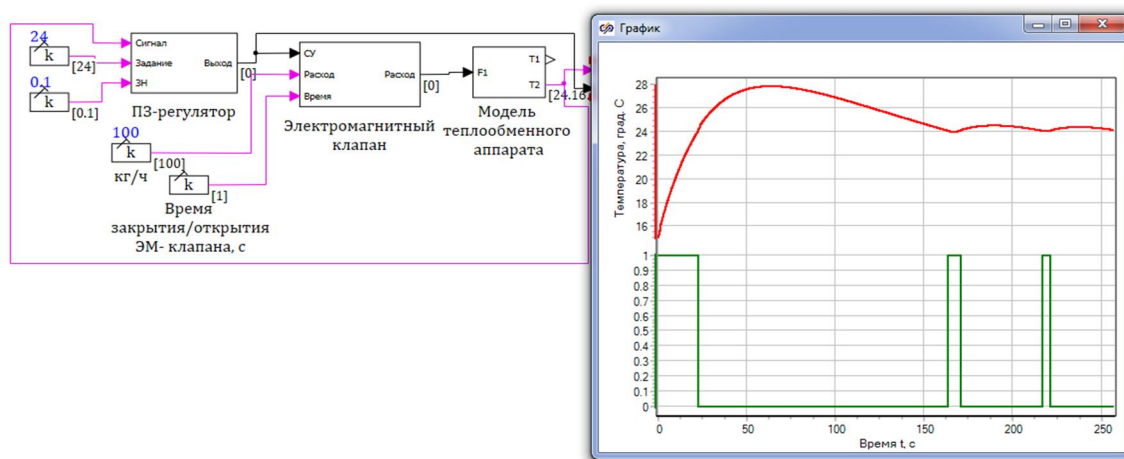


Рис. 4 – Результаты моделирования САР теплообменным аппаратом

Рассмотренная в статье математическая модель теплообменного аппарата можно расширить, например введением третьего уравнения, которое описывает процесс с учетом теплопередачи через стенку или внедрить расчет коэффициентов теплопередачи и теплообмена в зависимости от расхода и температуры. Это позволит повысить не только точность моделирования, но и позволит учитывать нелинейные возмущающие воздействия при настройке контуров регулирования. Если полученная модель будет обладать весьма высокой точностью, то ее можно связать с реальными регуляторами или ПЛК для отработки алгоритмов управления, автоматической настройки регуляторов, а так же обучения адаптивных систем управления без использования реальной аппаратуры.

Список литературы

1. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием/ В.В. Денисенко. – М.:Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
2. Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Митянина О.Е., Кузьменко Е.А. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 135 с.

05.13.06

А.Р. Фардеев канд. техн. наук

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, albert.fardeev@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В работе проведен анализ гидравлических систем, применяемых в технологических процессах машиностроительных предприятий. Исследована возможность использования энергии ветра для обеспечения движения жидкости в трубопроводе. Выведены зависимости между моментом приложенным к ротору насоса и моментом развиваемым гидромотором. Рассматривается возможность накопления энергии ветра в пневмогидравлических аккумуляторах.

Ключевые слова: *гидравлическая система, технологический процесс, энергия ветра, пневмогидравлический аккумулятор.*

Гидроприводы используются для передачи энергии и преобразования движения. По виду источника энергии они подразделяются на насосные, аккумуляторные и магистральные. По характеру движения выходного звена бывают поступательного, поворотного и вращательного движений. По возможности изменения скорости выходного звена делятся на нерегулируемые, регулируемые, стабилизированные и следящие. По характеру циркуляции рабочей жидкости подразделяются на гидроприводы с замкнутой и разомкнутой циркуляцией жидкости.

Нерегулируемым является гидропривод, в котором отсутствует устройство для изменения скорости движения выходного звена. Если скорость движения выходного звена можно изменять по заданному закону, то такой гидропривод является регулируемым. Существуют различные способы регулирования скорости движения выходного звена. Дроссельное регулирование – это регулирование скорости дросселированием потока рабочей жидкости и отводом части потока через дроссель или клапан, минуя гидродвигатель. Объёмное регулирование – это регулирование скорости изменением рабочего объёма насоса или гидродвигателя или того и другого. Иногда скорость выходного звена регулируется изменением скорости приводного двигателя. Такое регулирование называется регулированием приводящим двигателем.

Если в гидроприводе скорость движения выходного звена поддерживается постоянной при изменении внешних воздействий, то такой гидропривод называется стабилизированным. Регулируемый гидропривод, в котором выходное звено повторяет движения звена управления, называется следящим.

Регулируемые гидроприводы используются в качестве приводов станков, прокатных станов, прессового и литейного оборудования, дорожных и строительных машин, транспортных и сельскохозяйственных машин.

Насосные гидроприводы состоят из следующих основных элементов: насосы, гидродвигатели, гидроаппаратура (дроссели, клапаны, гидрораспределители), кондиционеры (отделители твердых частиц, фильтры, теплообменники, гидробаки, гидроаккумуляторы), гидролинии.

В гидроприводах максимальные длительно-действующие давления составляют 25-30 Мпа. Повышение давления позволяет уменьшить размер силовых исполнительных устройств при неизменном развиваемом усилии. Однако при повышении давления повышаются требования к чистоте рабочих жидкостей.

Давление в насосном и магистральном гидроприводах создается насосами. Насосы делятся на следующие основные типы: лопастные (центробежные, осевые), вихревые,

струйные, объёмные (поршневые, роторные). В свою очередь роторные насосы подразделяются на роторно-вращательные (шестерённые, винтовые) и роторно-поступательные (пластинчатые, радиально-поршневые, аксиально-поршневые).

Для гидропривода с применением ветродвигателей более всего подходит регулируемый пластинчатый насос. У ветродвигателя переменная частота вращения и непостоянный момент вращения ротора. Происходят частые трогания из неподвижного состояния. При трогании ротора момент сопротивления насоса должен быть минимальным. Это достигается регулированием рабочего объема насоса. Регулированием рабочего объема насоса можно добиться и постоянного соотношения между скоростью ветра и частотой вращения ротора ветродвигателя. Как было отмечено выше, момент приложенный к ротору ветродвигателя является переменным. Этот момент уравнивается моментом сопротивления ротора насоса, который также должен являться переменным. Переменность момента сопротивления ротора насоса достигается регулированием рабочего объема насоса в зависимости от скорости ветра. Переменный рабочий объём насоса, и частота вращения ротора насоса приводят к переменной частоте вращения ротора гидромотора. Частота вращения ротора гидромотора вычисляется по формуле

$$n_g = (V_{он}/V_{ог})\eta_{он}n_n \quad [1], \quad (1)$$

где $V_{он}$ - рабочий объём насоса, n_n - частота вращения ротора насоса, $V_{ог}$ - рабочий объём гидромотора, $\eta_{он}$ - объёмный КПД гидропривода, n_g - частота вращения ротора гидромотора. При уменьшении скорости ветра уменьшается частота вращения ротора насоса n_n и приложенный к нему момент M_n . Чтобы не прекратилась работа гидропривода, необходимо сохранить момент M_g , развиваемый гидромотором. Момент M_n , который необходимо приложить к ротору насоса для получения необходимого момента M_g , развиваемого гидромотором, вычисляется по формуле

$$M_n = \frac{P_{нас}V_{он}}{2\pi\eta_n} - \frac{AP_{нас}^2}{\mu\omega\eta_n} \quad [2], \quad (2)$$

где $P_{нас}$ - перепад давлений в насосе, $V_{он}$ - рабочий объём насоса, η_n - КПД насоса, μ - динамическая вязкость жидкости, ω - угловая скорость ротора насоса ($\omega = 2\pi n_n$), A - постоянная, зависящая от конструкции насоса. Момент M_g , развиваемый гидромотором, вычисляется по формуле

$$M_g = \frac{P_gV_{ог}\eta_g}{2\pi} + \frac{A_gP_g^2\eta_g}{\mu\omega_g} \quad [2], \quad (3)$$

где P_g - перепад давлений в гидромоторе, $V_{ог}$ - рабочий объём гидромотора, A_g - постоянная, зависящая от конструкции гидромотора, ω_g - угловая скорость ротора гидромотора, η_g - КПД гидромотора.

Перепад давлений в гидромоторе выражается через давление насоса согласно формуле

$$P_g = P_{нас}\eta_{тр} \quad [1],$$

где $\eta_{тр}$ - гидравлический КПД гидропривода.

Подставим последнее выражение в формулу (3), умножив числитель и знаменатель первого слагаемого на $\eta_n V_{он}$, тогда

$$M_g = \frac{P_{нас}V_{он}\eta_{тр}\eta_n\eta_gV_{ог}}{2\pi\eta_nV_{он}} + \frac{A_gP_{нас}^2\eta_{тр}^2\eta_g}{\mu\omega_g}$$

или

$$M_g = \left(\frac{P_{нас}V_{он}}{2\pi\eta_n} - \frac{AP_{нас}^2}{\mu\omega\eta_n} \right) \frac{\eta_{тр}\eta_n\eta_gV_{ог}}{V_{он}} + \frac{AP_{нас}^2\eta_{тр}\eta_gV_{ог}}{\mu\omega V_{он}} + \frac{A_gP_{нас}^2\eta_{тр}^2\eta_g}{\mu\omega_g}$$

Если учесть, что

$$\frac{V_{ог}}{V_{он}\eta_o} = \frac{\omega}{\omega_g} \quad [1],$$

где η_o - объемный КПД гидропривода, то

$$M_z = M_n \frac{\eta_{mp} \eta_n \eta_z V_{oz}}{V_{он}} + \frac{P_{нас}^2 \eta_{mp} \eta_z V_{oz}}{\mu \omega V_{он}} \left(A + A_z \frac{\eta_{mp}}{\eta_o} \right) \quad (4)$$

В этой формуле второе слагаемое очень мало по сравнению с первым ввиду малости коэффициентов A и A_z .

Тогда из формулы (4) видно, что можно уменьшить момент M_n , прикладываемый к ротору насоса, уменьшив во столько же раз рабочий объем насоса $V_{он}$, и при этом момент, развиваемый гидромотором почти не изменится.

В результате частота вращения ротора гидромотора n_z согласно формуле (1) уменьшается и за счёт уменьшения момента M_n (уменьшается $V_{он}$), и за счёт уменьшения частоты вращения ротора насоса n_n .

При увеличении скорости ветра всё происходит наоборот и скорость вращения ротора гидромотора увеличивается. Постоянной частоты вращения ротора гидромотора можно добиться применением гидроаккумулятора. Вначале насос заряжает гидроаккумулятор до определённого верхнего уровня давления P_v . После зарядки гидроаккумулятора, если скорости ветра достаточно для вращения ротора гидромотора с определённой частотой n_z , развивая при этом определённый момент M_z , насос начинает вращать гидромотор через гидропривод. Если скорости ветра недостаточно для этого, то начинается разрядка гидроаккумулятора до некоторого нижнего уровня давления P_n . Разница между уровнями давлений P_v и P_n не очень большая, поэтому при разрядке гидроаккумулятора его можно считать постоянным и равным некоторому среднему значению P . После учёта гидравлических потерь в трубопроводе перепад давлений в гидромоторе станет равным некоторому постоянному значению P_z . Постоянен при такой разрядке гидроаккумулятора и его расход Q_z . Тогда постоянная частота вращения ротора гидромотора n_z при развиваемом им, постоянном моменте M_z обеспечивается формулой

$$Q_z P_z \eta_z = M_z 2\pi n_z [1],$$

где η_z - КПД гидромотора. После разрядки гидроаккумулятора начинается его зарядка. При этом гидромотор не работает и преодоление момента сопротивления, создаваемого нагрузкой производится за счёт других источников энергии другим двигателем.

Если скорость ветра повышается настолько, что увеличивать рабочий объем насоса $V_{он}$ уже невозможно, то начинает увеличиваться давление насоса согласно формуле (2). При повышении давления насоса выше P_v открывается переливной клапан, и часть подачи отводится, минуя гидромотор, и давление перестаёт существенно повышаться.

При отсутствии ветра ветродвигатель останавливается, а рабочий объем насоса доводится до некоторого минимума, сводя к нулю момент M_n , потребляемый насосом согласно формуле (2). Это облегчает страгивание с места ротора ветродвигателя при увеличении скорости ветра. При первоначальном запуске ветродвигателя рабочий объем насоса увеличивается вручную, так как для его автоматического увеличения ещё нет давления в гидроаккумуляторе.

Главные задачи соединения частей гидропривода заключаются в идентичности характеристик ветродвигателя и насоса, в выборе оптимальных соотношений между параметрами насоса, гидромотора и устройств, управляющих гидроприводом. Существует также задача определения необходимой вместимости и полезного объема пневматических гидроаккумуляторов.

Список литературы

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – С 386-391.
2. Фардеев, А.Р. Технологические процессы с комбинированным энергопитанием: механика, управление, автоматизация / Ф. Д. Байрамов, Б. Ф. Байрамов, Н.С. Галимов, А. Р. Фардеев. - Казань, Изд-во Казан. ун-та, 2016. – С. 190.

05.13.06

А.Р. Фардеев канд. техн. наук

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, albert.fardeev@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК К СИСТЕМЕ ЦИРКУЛЯЦИИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

В данной статье предлагается ввести ветронасосные установки в существующую систему циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия. Работа системы от ветронасосной установки возможна лишь при скорости ветра, превышающей определённый уровень. В оставшееся время система работает от источника электроэнергии или от энергии, накопленной в гидроаккумуляторах. Автоматика, предложенная к использованию в системе, позволит автоматизировать процесс подключения и отключения ветродвигателей, гидроаккумуляторов и источника электроэнергии.

Ключевые слова: ветронасосная установка, система циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости, машиностроительное предприятие, автоматизация, гидроаккумулятор.

Работа системы циркуляции и регенерации смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия требует затрат электроэнергии. В целях экономии энергозатрат можно использовать возобновляемые источники энергии. Возможно использование ветродвигателей для производства электроэнергии, которая будет обеспечивать работу ветронасосов. Но скорость ветра колеблется в широких пределах и ветродвигатель не сможет обеспечить работу системы при малых скоростях ветра, когда он ещё способен вырабатывать энергию. Можно было бы при малых скоростях ветра использовать электрические аккумуляторы. Но это приведет к излишней дороговизне системы. Кроме того, при преобразовании механической энергии вращения вала ветродвигателя сначала в электрическую, а затем снова в механическую энергию вращения вала электромотора происходит потеря энергии. Задача решается проще, если ввести в систему дополнительные насосы, приводимые в движение ветродвигателями. Эти насосы будут обеспечивать работу системы при скоростях ветра, превышающих определённый уровень. При скоростях ветра ниже этого уровня, но выше минимально необходимого для работы ветродвигателя, он будет заряжать гидроаккумуляторы. При достижении определённого давления, энергия, накопленная в аккумуляторах, будет использована. В результате энергия ветра будет использоваться максимально.

На машиностроительных предприятиях для обеспечения подачи к металлообрабатывающим станкам чистой смазочно-охлаждающей жидкости существуют системы их циркуляции и регенерации.

Схема системы, которая применяется на многих машиностроительных предприятиях для обеспечения циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости и обслуживает несколько десятков металлообрабатывающих станков одновременно, показана на рис. 1. Она в основном состоит из системного центробежного насоса 1, центробежного фильтрационного насоса 2, резервного насоса 3, чистового бака 4, грязевого бака 5, полосового фильтра 6, переливного клапана 7 и двух трубопроводов. По первому трубопроводу жидкость подаётся из чистового бака к металлообрабатывающим станкам и от них в грязевой бак. По второму трубопроводу жидкость подаётся из грязевого бака в полосовой фильтр и от него в чистовой бак. Есть вспомогательные устройства: устройство для удаления масла, устройство для аэрации жидкости, устройство для удаления конденсата. Устройство для удаления масла

состоит из поплавка 8, маслоотделительного насоса 9, маслоотделителя 10, ёмкости для масла 12 и трубопроводов. Устройство для аэрации жидкости состоит из трубопроводов, по которым подаётся сжатый воздух от пневмомагистрали. Устройство для удаления конденсата состоит из трубопроводов, ёмкости 13 для сбора конденсата и насоса 14. Данная система является совокупностью двух насосных установок [1].

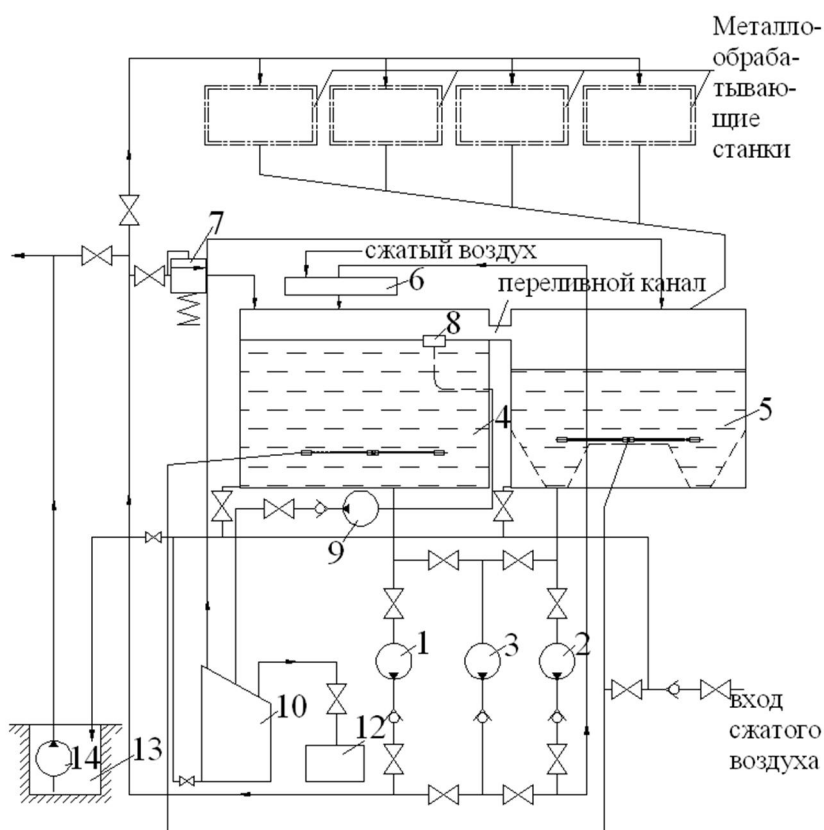


Рис. 1 - Схема системы циркуляции и регенерации смазочно-охлаждающей жидкости

При работе системы загрязнённая жидкость стекает от металлообрабатывающих станков в грязевой бак. Фильтрационный насос 2 нагнетает жидкость из грязевого бака 5 в полосовой фильтр 6. Из фильтра 6 очищенная жидкость стекает в чистовой бак 4. Из чистового бака жидкость подается системным насосом 1 к металлообрабатывающим станкам. Давление, с которым подаётся жидкость к станкам, должно быть неизменным. Это обеспечивает переливной клапан 7, который сливает часть подачи системного насоса 1 в чистовой бак при увеличении давления в трубопроводе выше требуемого.

Мощность фильтрационного насоса 2 превышает мощность системного насоса 1 на 10%. Поэтому жидкость постоянно сливается через переливной канал из чистового бака 4 в грязевой бак 5. При регенерации полосового фильтра фильтрационный насос 2 выключается и прекращается подача чистой жидкости из полосового фильтра в чистовой бак 4. Размеры бака 4 выбраны такими, что его объёма достаточно для обеспечения станков жидкостью во время регенерации фильтра. После окончания регенерации фильтрационный насос 2 включается снова и чистовой бак заполняется жидкостью благодаря тому, что мощность фильтрационного насоса выше мощности системного насоса на 10%.

Самыми мощными, а, следовательно, самыми большими потребителями энергии в рассмотренной системе циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости являются системный насос 1 и фильтрационный насос 2 (см. рис. 1), резервный насос 3 не рассматриваем, так как в общем случае он не используется. Поэтому есть смысл заменить насосы 1 и 2 ветронасосными установками. Замена насоса будет происходить лишь на определённое время. Имеется в виду время работы ветронасосных установок в режиме обеспечения циркуляции жидкости ветронасосной установкой и в режиме разрядки гидроаккумулятора. Системный насос 1 перекачивает очищенную жидкость. Поэтому его можно время от времени заменять ветрона-

сосной установкой с механическим приводом и пластинчатым насосом. Фильтрационный насос 2 перекачивает загрязнённую жидкость, поэтому его можно время от времени заменять ветронасосной установкой с гидроприводом и центробежным насосом. Если бы скорость ветра не снижалась ниже определённого уровня, то можно было бы просто заменить насосы 1 и 2 ветронасосными установками. Так как скорость ветра постоянно изменяется (снижаясь иногда до нуля), то приходится использовать автоматическое управление для подключения на определённое время то насосов 1 и 2, то ветронасосных установок.

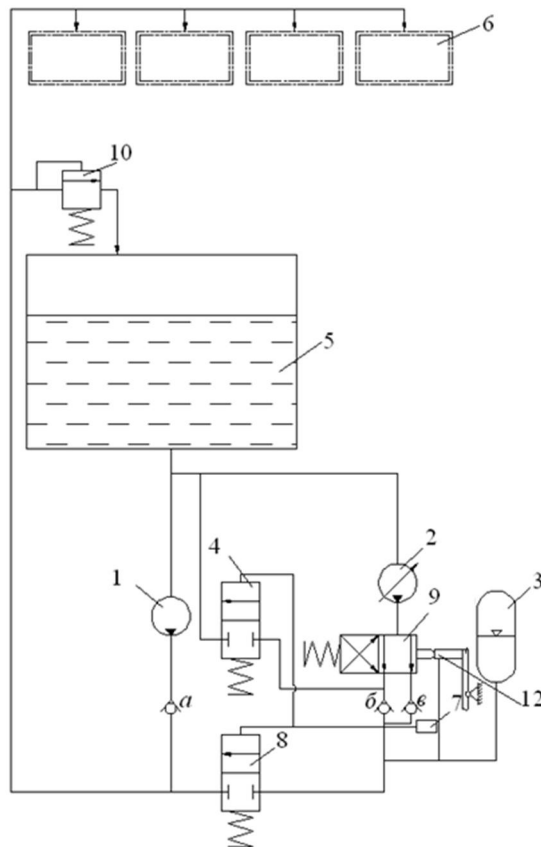


Рис. 2 - Схема автоматизированной системы подачи жидкости с применением ветронасосной установки с механической передачей

Автоматизированная система подачи жидкости с применением ветронасосной установки может быть получена из обычной системы подачи с электронасосом путём присоединения к ней ветронасосной установки и элементов автоматического управления [2]. Таким способом разработана автоматизированная система подачи жидкости с применением ветронасосной установки с механической передачей, схема которой показана на рис. 2. Она состоит из стационарного электрического центробежного насоса 1, пневматического гидроаккумулятора 3, выключателей 4 и 8, гидробака 5, потребителя 6, переключателя 7, гидрораспределителя 9, переливного клапана 10, блока управления с рычагом 11, толкателя переменной длины 12, обратных клапанов *а*, *б*, *в* и ветронасосной установки с механической передачей вращательного движения ротора ветродвигателя ротору регулируемого пластинчатого насоса 2.

Использование разработанной автоматизированной системы подачи жидкости с применением ветронасосной установки, на каком либо машиностроительном предприятии приведёт к существенной экономии финансовых затрат.

Список литературы

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – С. 187.
2. Фардеев, А.Р. Технологические процессы с комбинированным энергопитанием: механика, управление, автоматизация / Ф. Д. Байрамов, Б. Ф. Байрамов, Н.С. Галимов, А. Р. Фардеев. - Казань, Изд-во Казан. ун-та, 2016. – С. 199.

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

05.13.11

Т.Н. Титова канд. физ.-мат. наук

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

НЕКОТОРЫЕ СЛУЧАИ РЕШЕНИЯ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ РИККАТИ

Предложен удобный метод решения алгебраического матричного уравнения Риккати при некоторых ограничениях на соответствующую этому уравнению гамильтонову матрицу. Полученный метод применен к нахождению функции управления в задаче о баллистическом входе спутника в атмосферу.

Ключевые слова: гамильтонова матрица, оптимальное управление, собственное значение, квадратичный критерий качества.

Матричное уравнение Риккати возникает при решении оптимальных задач управления и фильтрации. Рассмотрим задачу оптимизации системы

$$\frac{dx}{dt} = B_1 y + Su$$

по квадратичному критерию качества [1 – 6]

$$J = \int_0^{\infty} (y^T A_1 y + u^T R_1 u) dt$$

где A_1 , B_1 – квадратные матрицы порядка n ; R_1 – квадратная матрица порядка m ; S – матрица размера $n \times m$; A_1 , R_1 – симметрические матрицы; y – n -мерный вектор; u – m -мерный вектор. В этой задаче требуется найти управление $u = f(y)$, минимизирующее приведенный выше функционал. Подобная задача возникает при проектировании автопилота для стабилизации стационарного состояния летательного аппарата. Минимальное значение функционала достигается на управлении [1 – 6]:

$$u = -R^{-1}(S)^T X y,$$

где матрица X является симметрическим решением матричного уравнения Риккати:

$$XB_1 + (B_1)^T X - XS R^{-1} S^T X + A_1 = O$$

Введем следующие обозначения:

$$A = -A_1, B = -(B_1)^T, C = S R^{-1} S^T$$

Получим следующее матричное уравнение Риккати:

$$XCX + XB^T + BX + A = O \quad (1)$$

Рассмотрим также соответствующую этому уравнению гамильтонову матрицу порядка $2n$

$$V = \begin{pmatrix} B^T & C \\ -A & -B \end{pmatrix} \quad (2)$$

В работах [7, 8] предложен метод решения матричного уравнения Риккати, опирающийся на нахождение собственных и присоединенных векторов соответствующей гамильтоновой матрицы, которая предполагается невырожденной. В работе [9] авторы накладывают следующее ограничение на гамильтонову матрицу: ее собственные значения различны и не лежат на мнимой оси комплексной плоскости. В работе [10] изложен метод нахождения симметрического положительно определенного решения матричного уравнения Риккати при

условии, что матрица C является положительно полуопределенной, исходная система равномерно вполне управляема и равномерно вполне наблюдаема. В работах [11, 13] проведено исследование решения матричного уравнения Риккати, связанное с вопросами управляемости и наблюдаемости. Существуют также различные численные методы решения матричного уравнения Риккати [4, 14 - 16]. В настоящей работе мы предлагаем некоторые новые аналитические способы решения матричного уравнения Риккати в различных частных случаях.

Случай 1. Пусть гамильтонова матрица (2) имеет не более одной пары нулевых собственных значений. Пусть $\pm\lambda_i, i=\overline{1, n}$, являются собственными значениями матрицы. Тогда ее можно привести к следующему нормальному виду:

$$\Phi = \begin{pmatrix} U & I \\ O & -U^T \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\text{где } U = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \varepsilon_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \varepsilon_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \varepsilon_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{pmatrix}, \quad I = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \varepsilon \end{pmatrix},$$

$$\lambda_i \neq 0, \quad i = \overline{1, n-1}$$

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

$$\lambda_i + \lambda_j \neq 0 \text{ при } i \neq j, \quad i, j = \overline{1, n}.$$

Пусть T - преобразующая матрица, приводящая гамильтонову матрицу V к нормальному виду (3):

$$T = \begin{pmatrix} F & H \\ G & W \end{pmatrix}, \quad T^{-1}VT = \Phi,$$

где $\det F \neq 0$. Тогда решение матричного уравнения Риккати (1) имеет вид [7, 8]:

$$X = GF^{-1} \quad (4)$$

Симметричность решения доказана в работах [7, 8] только для невырожденной матрицы V . Докажем, что полученное решение (4) является симметрическим при наличии одной пары нулевых собственных значений. Действительно, из уравнения $VT = T\Phi$ получим следующую систему уравнений, которой удовлетворяют матрицы F, G :

$$\begin{cases} B^T F + CG = FU \\ AF + BG = -GU \end{cases} \quad (5)$$

Умножим первое и второе уравнения полученной системы слева соответственно на G^T и F^T и сложим. В результате получим следующее уравнение:

$$G^T B^T F + F^T BG + F^T AF + G^T CG = (G^T F - F^T G)U \quad (6)$$

Положим $Q = G^T F - F^T G$. Заметим, что Q – кососимметрическая матрица. В левой части уравнения (6) стоит симметрическая матрица. Поэтому матрица $(G^T F - F^T G)U = QU$ также является симметрической и, следовательно, удовлетворяет следующему уравнению:

$$QU + U^T Q = O.$$

Тогда элементы матрицы $Q = (q_{ij})$ удовлетворяют следующей системе уравнений:

$$(\lambda_i + \lambda_j)q_{ij} + \varepsilon_{i-1}q_{i-1,j} + \varepsilon_{j-1}q_{i,j-1} = 0$$

$$q_{ij} = -q_{ji}, \quad \varepsilon_0 = q_{0,j} = 0; \quad i, j = \overline{1, n}$$

Если из этой системы отбросить последнее уравнение, то получим систему линейных однородных уравнений с определителем:

$$\prod_{2 \leq i+j \leq 2n} (\lambda_i + \lambda_j) \neq 0$$

Поэтому все $q_{ij}=0$ при $i+j<2n$. Однако q_{nn} также равняется нулю, так как матрица Q – кососимметрическая. Итак, мы доказали, что

$$Q = G^T F - F^T G = 0 \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что матрица $X = GF^{-1}$ является симметрическим решением матричного уравнения Риккати (1). Таким образом, мы распространили формулу, полученную в работах [7, 8] на случай, когда гамильтонова матрица (2) может иметь одну пару нулевых собственных значений. Такой случай возникает, например, в задаче о стабилизации полета самолета на заданной высоте при некоторых значениях параметров, входящих в систему [5].

Случай 2. Рассмотрим уравнение (1) при $C=E$:

$$X^2 + XB^T + BX + A = 0 \quad (8)$$

Из первого уравнения системы (5) выразим матрицу $G = -B^T F + FU$. Подставим матрицу G в формулу (4) и во второе уравнение системы (5). Получим:

$$X = -B^T + FUF^{-1} \quad (9)$$

$$(A - BB^T)F + (B - B^T)FU + FU^2 = 0 \quad (10)$$

Найдя матрицу F из уравнения (10), решение матричного уравнения Риккати получим в виде (9).

Рассмотрим задачу о баллистическом входе в атмосферу, после которого следует приземление искусственного спутника. Баллистический вход – полет спутника в верхних слоях атмосферы по траектории, близкой к круговой. Задача аэродинамического торможения – уменьшить, насколько возможно, возникающие небольшие отклонения от круговой траектории. Введем следующие обозначения: r – радиус Земли; y – высота спутника над поверхностью Земли; θ – угол между касательной к траектории спутника и касательной к окружности, проходящей через данную точку траектории и имеющей центр в центре Земли; Q – сопротивление, регулирование которого осуществляется за счет изменения площади аэродинамического тормоза. Программное движение – круговое по радиусу $r + y$ со скоростью $v = \sqrt{g(r + y)}$. При этом предполагается, что программный угол достаточно мал, $\theta \approx -1^\circ$, программная скорость $v \approx 7800$ м/сек, полное изменение высоты $|\Delta y| < 30$ км, что пренебрежимо мало в сравнении с r .

Тогда уравнения возмущенного движения имеют вид [5]:

$$\Delta \dot{v} = -g\Delta\theta - g\Delta\left(\frac{Q}{mg}\right)$$

$$\Delta \dot{\theta} = \frac{2}{r+y}\Delta v$$

$$\Delta \dot{y} = v\Delta\theta$$

Возьмем в качестве функции управления $\xi = \Delta\left(\frac{Q}{mg}\right)$

Исключив Δv и $\Delta\theta$, получим следующее уравнение:

$$\Delta \ddot{y} = -\frac{2g}{r+y}\Delta \dot{y} - \frac{2vg}{r+y}\xi$$

Введем новые переменные и новую функцию управления:

$$y_1 = \Delta y; \quad y_2 = \Delta \dot{y}; \quad y_3 = \Delta \ddot{y}; \quad u = -\frac{2g}{r+y}\Delta \dot{y} - \frac{2vg}{r+y}\xi$$

Тогда получим следующую систему уравнений:

$$\dot{y}_1 = y_2; \quad \dot{y}_2 = y_3; \quad \dot{y}_3 = u$$

Требуется найти управление $u=f(y)$, минимизирующее функционал:

$$I = \int_0^{\infty} (y_1^2 + a_2 y_2^2 + a_3 y_3^2 + u^2) dt, \quad a_2 > 0, \quad a_3 > 0$$

Тогда функция управления имеет вид:

$$u = -S^T X y, \quad (11)$$

где матрица X является симметрическим решением матричного уравнения Риккати:

$$-XSS^T X + XB_1 + (B_1)^T X + A_1 = O \quad (12)$$

В уравнении (12)

$$S = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad B_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 \end{pmatrix}$$

Заметим, что в уравнении (12) матрица SS^T является вырожденной, а матрица A_1 – положительно определенной. Умножим уравнение (12) слева и справа на матрицу X^{-1} . Далее совершим замену $Y = \sqrt{A_1} X^{-1} \sqrt{A_1}$, $B = \sqrt{A_1} B_1 (\sqrt{A_1})^{-1}$, $A = -\sqrt{A_1} SS^T \sqrt{A_1}$. Получим следующее матричное уравнение Риккати вида (8):

$$Y^2 + YB^T + BY + A = O \quad (13)$$

Найдя невырожденное решение последнего уравнения, решение уравнения (12) получим в виде:

$$X = \sqrt{A_1} Y^{-1} \sqrt{A_1} \quad (14)$$

Решение уравнения (13) мы получим по формуле (9):

$$Y = -B^T + FUF^{-1} \quad (15)$$

где матрица F является невырожденным решением уравнения (10),

$$U = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \varepsilon_2 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix}$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2 = 0; 1$; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – собственные значения соответствующей этой задаче гамильтоновой матрицы, $\lambda_i + \lambda_j \neq 0$.

В уравнении (13)

$$B = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{\sqrt{a_2}} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{\frac{a_2}{a_3}} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & b_1 & 0 \\ 0 & 0 & b_2 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a_3 \end{pmatrix}$$

Введем матрицу

$$Q(\lambda) = \lambda^2 E + \lambda(B - B^T) + A - BB^T = \begin{pmatrix} \lambda^2 - b_1^2 & \lambda b_1 & 0 \\ -\lambda b_1 & \lambda^2 - b_2^2 & \lambda b_2 \\ 0 & -\lambda b_2 & \lambda^2 - a_3 \end{pmatrix}$$

Характеристическое уравнение имеет следующий вид [17]:

$$\det Q(\lambda) = \lambda^6 - \lambda^4 a_3 + \lambda^2 a_2 - 1 = 0$$

Решив характеристическое уравнение, получим собственные значения $\pm \lambda_1, \pm \lambda_2, \pm \lambda_3$.

Выпишем подробнее решение для случая различных собственных значений. Пусть, кроме того, $a_2 a_3 \neq 1$. Тогда столбцы матрицы F можно найти из следующей системы уравнений:

$$Q(\lambda_i) f_i = 0, \quad i = 1, 2, 3$$

Из этой системы получим:

$$f_i = \begin{pmatrix} \lambda_i b_1 \\ b_1^2 - \lambda_i^2 \\ \lambda_i b_2 (b_1^2 - \lambda_i^2) (\lambda_i^2 - a_3)^{-1} \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2, 3$$

В результате найдем решение задачи в виде:

$$F = (f_1 \ f_2 \ f_3), \ Y = -B^T + FUF^{-1}, \ X = \sqrt{A_1} Y^{-1} \sqrt{A_1}, \ u = -S^T X y.$$

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. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. – М: Мир, 1972. – 544 с.
2. Kalman R.E., Bucy R.S. New Results in Linear Filtering and Prediction Theory // Transactions of the ASME — Journal of Basic Engineering. – 1961. – V.83. – P. 95-107.
3. Атанс М. Фалб П. Оптимальное управление. – М: Машиностроение, 1968. – 764 с.
4. Квакуернак К., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. – М: Мир, 1977. – 653 с.
5. Летов А.М. Динамика полета и управление. – М: Наука, 1969. - 359 с.
6. Александров В.В. Оптимальное управление движением. - М: Физматлит, 2005. - 376 с.
7. Potter J.E. Matrix quadratic solutions // SIAM Journal of Applied Mathematics. - 1966. - V. 14, № 3. - P. 496-499.
8. Martensson K. On the matrix Riccati equation // Information Science. - 1971. - V. 3, № 1. - P. 17-23.
9. 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.
10. Bucy R.S., Joseph P.D. Filtering for Stochastic Processes with Applications to Guidance. - AMS Chelsea Publishing Series, 2005. – 217 p.
11. Wimmer H.K. On the algebraic Riccati equation // Bull. Austral. Math. Soc. – 1976. – V. 14. – P. 457-461.
12. Willems J.C. Least squares stationary optimal control and the algebraic Riccati equation // IEEE Trans. Automat Control. – 1971. – V. AC-16. – P. 621–634.
13. Coppel C.A. Matrix quadratic equations // Bull. Austral. Math. Soc. – 1974. – V. 10. - P. 377–401.
14. Bini D.A., Meini B., Poloni F. Transforming Algebraic Riccati Equations into Unilateral Quadratic Matrix Equations // Numer. Math. – 2010. – V. 116. - P. 553–578.
15. 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.
16. Larin V.B. Solution of Matrix Equations in Problems of the Mechanics and Control // Int. Appl. Mech. – 2009. - V. 45, № 8. - P. 847–872.
17. Тумова Т.Н. Свойства гамильтоновых матриц // Естественные и технические науки. - 2015. - № 6(84). - С. 65-66.

05.13.11

М.А. Черноскутов

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
институт естественных наук и математики,
кафедра высокопроизводительных компьютерных технологий,
Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН,
отдел вычислительных систем,
Екатеринбург, mikhail.chernoskutov@urfu.ru

МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ГРАФОВ

В статье представлена многоуровневая архитектура для систем обработки графов, позволяющая разрабатывать и настраивать производительность алгоритмов на графах путём выбора необходимого формата хранения графа.

Ключевые слова: *обработка графов, алгоритмы на графах, высокопроизводительные вычисления.*

1. Введение

Графы являются важной математической абстракцией, позволяющей выразить взаимодействия между объектами реального мира. С помощью графов можно, например, моделировать городскую дорожную инфраструктуру [1] или нейронные связи в человеческом мозге [2]. Исследованием объектов реального мира, которые можно смоделировать с помощью графов занимается наука о сетях [3].

Графы, которые описывают объекты реального мира могут иметь очень большое количество (миллионы и даже миллиарды) вершин и рёбер. Существует множество систем, которые позволяют работать с графами такого размера, например, Parallel BGL [4], GraphLab [5], GraphX [6]. Однако, все эти системы обладают весьма скромной функциональностью относительно количества поддерживаемых алгоритмов по сравнению, например, с традиционными системами обработки графов на ПК, такими как NetworkX [7] или Gephi [8]. Это связано, прежде всего, со сложностью разработки и отладки алгоритмов на графах, их недетерминированностью, а также проблемами с выбором подходящего для конкретной задачи формата хранения графа. В данной статье предложена многоуровневая архитектура для систем обработки графов, позволяющая упростить процесс создания и отладки алгоритмов на графах.

2. Некоторые особенности построения систем обработки графов

Созданию эффективных систем обработки графов обычно мешают два обстоятельства: сложность выбора необходимого формата хранения графа, а также недетерминированность многих алгоритмов на графах.

Первое обстоятельство (разные форматы хранения графа) заключается в том, что разные форматы обеспечивают разную производительность алгоритмов на графах. Сравним, например, два наиболее распространённых формата: матрица смежности и CSR (Compressed Sparse Rows, сжатые списки смежности). Матрица смежности позволяет добавлять или удалять новые рёбра с вычислительной сложностью $O(1)$, в то время как формат CSR предполагает пересчёт всей структуры данных при добавлении нового элемента (т.е. имеет вычислительную сложность $O(N^2)$, где N – количество вершин в графе). Матрица смежности также опережает по вычислительной сложности формат CSR в операциях проверки связности двух вершин ($O(1)$ у матрицы против $O(N)$ у формата CSR). С другой стороны, если речь идёт о работе с большими графами, использование матрицы смежности часто оказывается невозможным из-за того, что объём памяти, требуемый для её хранения имеет нелинейную зависимость от количества вершин в графе ($O(N^2)$). Таким образом, каждый из

форматов имеет свои достоинства и недостатки. Матрица смежности, например, будет более предпочтительна для алгоритма поиска максимального потока, а формат CSR больше подходит для использования в различных алгоритмах поиска кратчайших путей. Эти форматы хранения графов можно использовать как по отдельности, так и комбинируя их в различном виде. Кроме того, могут быть разработаны и совершенно другие, более сложные, форматы хранения графов [9]. При этом, большинство систем обработки графов (например те, что описаны в разделе 1), не предоставляют инструментария для подбора необходимой структуры данных под конкретный алгоритм или размер обрабатываемого графа, что делает использование таких систем неудобным для решения практических задач, предполагающих обработку графов разного размера с помощью множества различных алгоритмов.

Второе обстоятельство (недетерминированность алгоритмов) представляет собой серьёзное препятствие на пути к эффективной реализации алгоритмов на графах. Недетерминированность, прежде всего, затрудняет отладку приложений, а также затрудняет контроль корректности работы алгоритма. Особенно сильно это проблема проявляется при обработке больших графов, когда проверка правильности работы алгоритма “вручную” невозможна из-за размера задачи.

3. Предлагаемая архитектура системы обработки графов

Для устранения обоих обстоятельств предлагается многоуровневая архитектура, приведённая на рис. 1.

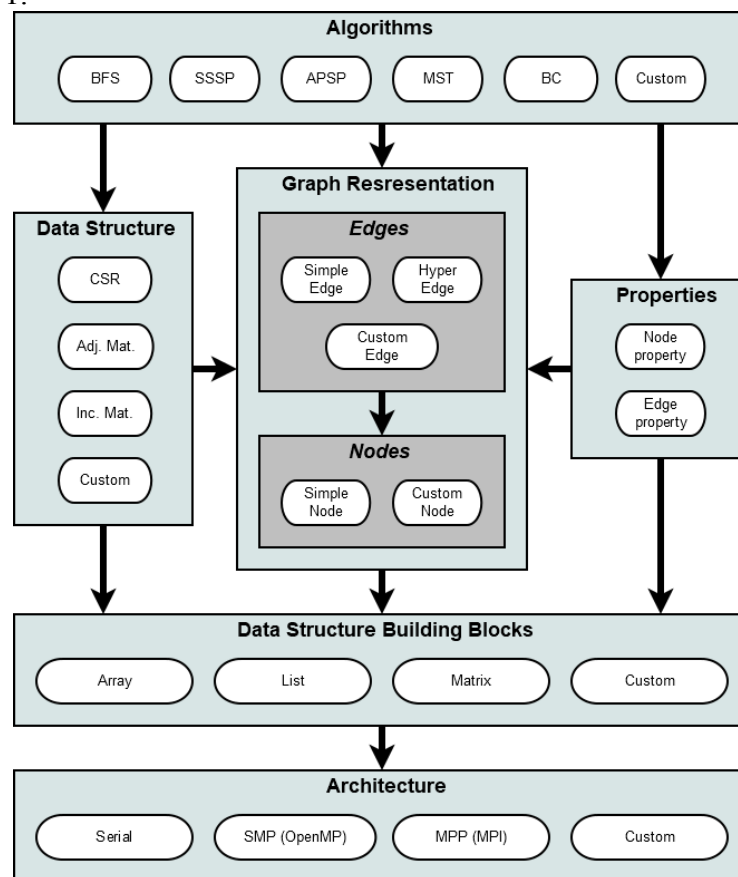


Рис. 1. Многоуровневая архитектура системы обработки графов

Уровень DSBB (Data Structure Building Blocks) ответственен за создание и использование отдельных блоков, из которых будет состоять структура данных для хранения графа. К таким строительным блокам относятся, например, линейный массив, матрица, список, хэш-карта и т.д. При этом допустимо, чтобы одни и те же строительные блоки могли быть реализованы по-разному – например, массив можно реализовать как с помощью стандартных средств выделения памяти (функция `malloc()` или `new`), так и с помощью вектора STL. Уровень DSBB отвечает также и за взаимодействие с вычислительной архитектурой, т.к. все высокоуровневые операции обработки графов сводятся к операциям над строительными блоками.

Уровень представления графа состоит из трёх блоков. Первый блок – Graph Representation, отвечает за непосредственное хранение списка всех рёбер и вершин (у каждого ребра и вершины имеется свой идентификатор, который позволяет отличить её от всех остальных). При этом, сами рёбра и вершины тоже могут быть разных типов. Второй блок – Data Structure, отвечает за высокоуровневые операции навигации по графу и модификации его структуры. К таким операциям относятся, например добавление и удаление вершин и рёбер, поиск вершин и рёбер и т.д.

Блоки GR и DS опираются на нижележащий уровень DSBB и реализованы с помощью атомарных структур данных данного уровня (например, структура данных CSR реализуется в виде двух линейных массивов). В отдельном блоке расположен уровень Properties, который отвечает за использование дополнительных признаков для выбранных вершин и рёбер (например, вес ребра).

На уровне алгоритмов расположены реализации различных пользовательских алгоритмов. На данном уровне пользователь может разрабатывать свои собственные алгоритмы и/или пользоваться уже созданными ранее.

4. Заключение

В данной статье была представлена новая многоуровневая архитектура для систем обработки графов. Данная архитектура позволяет упростить процесс разработки приложений на графах, а также оптимизировать производительность таких приложений путём выбора необходимого формата хранения графа. Предложенная архитектура может быть использована в системах обработки графов, ориентированных на самые разные вычислительные архитектуры – от последовательной обработки до массивного параллелизма.

Список литературы

1. Hznagy A., Fi I., London A., and Nemeth T., “Complex network analysis of public transportation networks: A comprehensive study”, in 2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), June 2015, pp. 371–378.
2. Bullmore E. and Sporns O., “Complex brain networks: Graph theoretical analysis of structural and functional systems (nature reviews neuroscience (2009) 10, (186-198))”, vol. 10, pp. 186–198, 03 2009.
3. Barabasi A.-L., “Network science”, 2016.
4. Gregor D. and Lumsdaine A., “The parallel bgl: A generic library for distributed graph computations”, 01 2005.
5. Low Y., Gonzalez J., Kyrola A., Bickson D., Guestrin C., and Hellerstein J.M., “Graphlab: A new framework for parallel machine learning”, 06 2010.
6. Gonzalez J.E., Xin R.S., Dave A., Crankshaw D., Franklin M.J., and Stoica I., “Graphx: Graph processing in a distributed dataflow framework”, in 11th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 14), Broomfield, CO, 2014, pp. 599–613.
7. Schult D.A., “Exploring network structure, dynamics, and function using networkx”, in In Proceedings of the 7th Python in Science Conference, 2008, pp. 11–15.
8. Bastian M., Heymann S., and Jacomy M., “Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks”, 2009.
9. Jaiyeoba W. and Skadron K., “GraphTinker: A High Performance Data Structure for Dynamic Graph Processing”, 2019 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), Rio de Janeiro, Brazil, 2019, pp. 1030-1041.

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

05.13.11

А.В. Бродский канд. техн. наук

Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, brodski1954@gmail.com

**КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗАДАЧ,
ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ,
В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Статья посвящена вопросам обоснования технологии функционирования программных компонент САПР аэрокосмической техники. Рассматривается подход, который на основе анализа структурных свойств математической модели проектируемого изделия позволяет выполнить переход от вербального описания исходной задачи оптимизации к ее формальной постановке и провести ее разбиение на подзадачи меньшей размерности. Сформулированы формальные условия классификации полученных подзадач, что позволяет оценить трудоемкость и построить вычислительную схему их решения.

Ключевые слова: САПР, вычислительная модель, задача оптимизации, декомпозиция задачи, агрегированная модель, вычислительная схема.

Математические модели являются одной из основных компонент современных систем автоматизированного проектирования (САПР), а задачи оптимизации можно считать одними из самых типовых в процессе синтеза и анализа проектных решений. В [1-3] были рассмотрены вопросы анализа корректности и декомпозиции задач поиска оптимальных параметров проектируемых изделий аэрокосмической техники (АКТ) и показано, что возможность их решения в виде линейно упорядоченной совокупности частных подзадач основывается на возможности разделения полного множества вычислимых отношений Φ^n , соответствующего формально корректной задаче оптимизации, на замкнутые системы уравнений, каждая из которых и определяет отдельную частную подзадачу. В основе такого анализа лежало исследование структурных свойств вычислительной модели проектируемого изделия, а исходная задача оптимизации представлялась в виде кортежа

$$\langle K, X, Y, Z, \hat{X}, D_Y, D_Z \rangle, \quad (1)$$

где K – критерий;

X – вектор фиксированных параметров;

Y – вектор выбираемых (варьируемых или управляемых) параметров;

Z – вектор ограниченных параметров;

$\hat{X} = \{\hat{X}^1, \hat{X}^2, \dots, \hat{X}^{N_x}\}$ – принятое значение вектора фиксированных параметров, где $\hat{X}^i$ – значение i -й компоненты вектора $X = \{X^1, X^2, \dots, X^{N_x}\}$, N_x – размерность вектора X ;

D_Y – множество рассматриваемых значений варьируемых параметров, которое в силу взаимной независимости этих параметров задается в виде: $D_Y = \prod_{t=1}^{N_Y} [Y^{t_n}, Y^{t_b}]$, где Y^{t_n}, Y^{t_b} – нижняя и верхняя границы, соответственно, рассматриваемых значений t -ой компоненты вектора $Y = \{Y^1, Y^2, \dots, Y^{N_Y}\}$, N_Y – размерность вектора Y ;

D_Z – множество допустимых значений ограниченных параметров $Z = \{Z^1, Z^2, \dots, Z^{N_Z}\}$, задаваемым, как правило, в виде $D_Z = \prod_{t=1}^{N_Z} [Z^{t_n}, Z^{t_b}]$, где Z^{t_n}, Z^{t_b} – определяется аналогично Y^{t_n}, Y^{t_b} , N_Z – размерность вектора Z .

Целью настоящей статьи является формирование условий, определяющих к какому из трех возможных классов: расчетные задачи, задачи безусловной оптимизации и задачи условной оптимизации относится каждая из частных подзадач.

Пусть известна совокупность минимальных замкнутых систем $\{L_i\} \ i = 1, 2, \dots, s$, которая может быть получена для Φ^n применением условий, сформулированных в [3]. Тогда, если I – множество переменных, значения которых известны, то через $\mathfrak{A}^n(I)$ обозначим множество переменных, значения которых могут быть получены в результате выполнения операций, порожденных отношениями из $\Phi^n(I)$: $I \Rightarrow \mathfrak{A}^n$.

Введем понятия агрегата и агрегированной модели. Подмножество $\gamma_i \subset \Phi^n$ такое, что $\gamma_i = \{\varphi_j, j \in L_i\} \ i = 1, 2, \dots, s$ будем называть агрегатом. Множество переменных, связанных с агрегатом, определим как $P(\gamma_i) = \bigcup_{j \in L_i} P_j = P(L_i)$. Исходя из условий декомпозиции, его можно представить как $P(\gamma_i) = \alpha_i \cup \nu_i$, где $\alpha_i = P(\gamma_i) \cap (X \cup Y \cup P(\bigcup_{j=1}^{i-1} L_j))$ – входы агрегата, $\nu_i = P(\gamma_i) \setminus \alpha_i$ – выходы агрегата.

Множество агрегатов, порожденных разбиением $\{L_i\} \ i = 1, 2, \dots, s$, определяет агрегированную модель $\langle \Gamma, \Theta, A, \Omega \rangle$:

$$\Gamma = \{\gamma_i, \gamma_i = \{\varphi_j, j \in L_i\}\} \ i = 1, 2, \dots, s;$$

$$\Theta = \bigcup_{i=1}^s \nu_i, \Theta = \mathfrak{A}^n(I);$$

$$A = \bigcup_{i=1}^s \alpha_i \setminus \Theta, A = I;$$

Ω – множество допустимых значений переменных из $\Theta \cup A$.

Тогда для модели $\langle \Gamma, \Theta, A, \Omega \rangle$ определим ориентированный ациклический граф $\Gamma_1 = (\Gamma, B_\Gamma)$, множество вершин которого соответствует агрегатам $\gamma_i \in \Gamma, i = 1, 2, \dots, s$, а множество дуг B_Γ – переменным из $\Theta \cup A$, так что ребро $(\gamma_t, \gamma_j) \in B_\Gamma$ тогда и только тогда, когда $\nu_t \cap \alpha_j \neq \emptyset$. Такой граф будем называть вычислительной схемой задачи.

С другой стороны, поскольку получение искомого решения связано с организацией вычислительного процесса для решения частных задач, то необходимо учитывать действительное представление агрегатов в виде совокупностей отношений модели $M_1 = \{m_{1j}\}$ как совокупности (библиотеки) программно-реализованных модулей. Тогда для любого агрегата γ_i входящие в него отношения связаны с множеством входных и выходных модели M_1 и $P(\gamma_i)$ можно представить в виде:

$$P(\gamma_i) = \lambda(\gamma_i) \cup \chi(\gamma_i),$$

$$\text{где } \lambda(\gamma_i) = \bigcup_{j \in L_i} \lambda_j, \lambda_j \in m_{1j}; \chi(\gamma_i) = P(\gamma_i) \setminus \lambda(\gamma_i).$$

Для такого представления определим ориентированный граф агрегированной модели $G_1(\Gamma, B_1)$, множество вершин которого совпадает с графом Γ_1 , а множество дуг определяется следующим образом: ребро $(\gamma_t, \gamma_j) \in B_1$, тогда и только тогда, когда $\lambda(\gamma_t) \cap \chi(\gamma_j) \neq \emptyset$. Из корректности задачи оптимизации следует, что для графов Γ_1 и G_1 выполняется $|\alpha_i| = |\chi(\gamma_i)|$ и $r(\gamma_i) = |\nu_i| = |\lambda(\gamma_i)|$.

Существующие алгоритмы декомпозиции, основанные на построении максимального блочно-треугольного разбиения, сводятся к выделению сильно связанных компонент на ориентированном частично упорядоченном графе, соответствующем модели M_1 . При таком подходе графы Γ_1 и G_1 совпадают, и учет специфики задачи оптимизации заключается лишь в проверке присутствия переменных из Y среди входов агрегатов. Вместе с тем такой случай, когда известные переменные принадлежат входам агрегатов, является частным и соответствует, в основном, расчетным задачам.

Полный анализ и классификация задач, требующих решения для компонент разбиения, могут быть осуществлены путем установления формального соответствия между множествами $\alpha_i, \chi(\gamma_i), \lambda(\gamma_i) \ \forall i = 1, 2, \dots, s$.

Проведем такой анализ, осуществив перебор всех возможных постановок задач с точки зрения соответствия между компонентами задачи оптимизации и элементами, отражающими структуру модели. Затем, обобщив полученные результаты, сформулируем формальные условия классификации задач, решаемых для компонент разбиения. При этом будем

выделять только условные и безусловные задачи оптимизации, отмечая вместе с тем, что может быть проведена более подробная классификация решаемых задач, например, как целочисленных, линейных, выпуклых и т.п., путем анализа типа переменных из $P(\gamma_i)$ и характера, если есть такая информация, отношений из Φ .

Каждую подзадачу будем рассматривать в виде $w_i = \langle \mu_i, \delta_i, \nu_i, \xi_i, \hat{\delta}_i, D_{\nu_i}, D_{\xi_i} \rangle$, где $\mu_i, \delta_i, \nu_i, \xi_i$ соответствуют по своему характеру компонентам K, X, Y, Z исходной постановки (1) и определяются $\forall i = 1, 2, \dots, s$ следующим образом:

$$\mu_i = \nu_i \cap K, \delta_i = \alpha_i \cap X, \nu_i = \alpha_i \cap Y, \xi_i = \nu_i \cap Z, \\ \hat{\delta}_i = Pr_{\delta_i} \hat{X}, D_{\nu_i} = Pr_{\nu_i} D_Y = \Pi_{y^{t_n} \in \nu_i} [y^{t_n}, y^{t_b}], D_{\xi_i} = Pr_{\xi_i} D_Z = \Pi_{z^{t_n} \in \xi_i} [z^{t_n}, z^{t_b}].$$

Определяющим для решаемых задач с точки зрения оптимизации является присутствие критерия, поэтому рассмотрим сначала как влияет его принадлежность множествам $\lambda(\gamma_i)$ и $\chi(\gamma_i)$.

Случай I¹: $\mu \in \lambda(\gamma)$.

Присутствие критерия сразу определяет рассматриваемую задачу как оптимизационную. Аналогично, непустое множество ограниченных переменных $|\xi(\gamma)| \neq 0$ означает, что задача оптимизации является условной.

Пусть $\xi(\gamma) = \emptyset$. Если $\delta \subset \lambda(\gamma)$, то сформулируем задачу оптимизации:

найти $\min_{\nu \subset D_\nu, \nu' \subset \Omega_{\nu'}} Pr_\mu \gamma(\nu \cup \nu')$ при условии $Pr_\delta \gamma(\nu \cup \nu') = \hat{\delta}$,

а если $\nu \subset \lambda(\gamma)$, то

найти $\min_{\nu' \subset \Omega_{\nu'}} Pr_\mu \gamma(\nu' \cup \delta)$ при условии $Pr_\nu \gamma(\nu' \cup \delta) \in D_\nu$,

т.е. в обоих случаях является условной.

Из замкнутости задачи относительно γ следует, что $\chi(\gamma)$ содержит ровно $|\delta|$ переменных, не входящих в α для первого случая и $|\nu|$ – для второго. Действительно, $|\chi(\gamma) \setminus \alpha| = |\chi(\gamma)| - |\alpha| + |\alpha \cap (P(\gamma) \setminus \chi(\gamma))| = |\alpha \cap \lambda(\gamma)|$, т.е. равняется или $|\delta|$, или $|\nu|$. С учетом полноты это означает, что выбирая значения таких переменных, мы можем удовлетворить ровно $|\delta|$ (или, соответственно, $|\nu|$) условиям на переменные из $\lambda(\gamma)$.

Использование неявного множества варьируемых переменных связано с двойственностью множеств варьируемых и ограниченных переменных. Именно существование ν' позволяет практически обеспечить на ориентированном графе G_1 , реализацией операций 2-го типа (решение системы уравнений) равноправие всех переменных модели при анализе корректности исходной задачи на неориентированном графе G_2 .

Тогда вариант $\{\delta, \nu\} \subset \lambda(\gamma)$ является наилучшим, т.к. соответствует задаче оптимизации в полном объеме с ограничениями как типа равенств, так и неравенств, причем размерность решаемой задачи $|\nu'| = |\nu| + |\delta|$, т.е. максимальная из возможных. Постановка ее имеет вид:

найти $\min_{\nu' \subset \Omega_{\nu'}} Pr_\mu \gamma(\nu')$ при условиях: $Pr_\delta \gamma(\nu') = \hat{\delta}$, $Pr_\nu \gamma(\nu') \in D_\nu$,

И только в том случае когда $\{\delta, \nu\} \subset \chi(\gamma)$, задача носит наиболее желательный безусловный характер:

найти ν такой, что $Pr_\mu \gamma(\hat{\nu}) = \min_{\nu \subset D_\nu} Pr_\mu \gamma(\nu)$.

Итак, если $\mu \in \lambda(\gamma)$, то задача является безусловной, когда $\xi = \emptyset \wedge (\delta \cup \nu) \cap \lambda(\gamma) = \emptyset$ и условной во всех остальных случаях.

Случай II: $\mu \in \chi(\gamma)$

Пусть $\delta \subset \lambda(\gamma)$ и $\xi(\gamma) = \emptyset$, а $\nu \subset \chi(\gamma)$.

В этом случае критерий μ неявно переходит в варьируемые переменные, а существование решения зависит от областей изменения μ и ν . Если $D_\nu = \Omega_\nu$, то когда μ не ограничено, решение не может быть получено, т.к. вследствие полноты γ для $\forall \hat{\mu}_1$ такого, что $Pr_\delta \gamma(\hat{\mu}_1 \cup \hat{\nu}_1) = \hat{\delta}$, $\hat{\nu}_1 \in D_\nu$ $\exists \hat{\mu}_2 < \hat{\mu}_1$ и $\hat{\nu}_2 \in D_\nu$ такие, что $Pr_\delta \gamma(\hat{\mu}_2 \cup \hat{\nu}_2) = \hat{\delta}$. Когда $\Omega_\mu = [\mu^H, \mu^B]$, то, очевидно, мы можем принять $\mu = \mu^H$ и, варьируя ν в диапазоне D_ν , получить заданное $\hat{\delta}$.

¹ В процессе формирования условий классификации не будем указывать индекс i , считая, что такой анализ может быть проведен для любого $i=1, 2, \dots, s$.

Пусть теперь $D_v \subset \Omega_v$. Введем дополнительную переменную μ' и отношение $\psi': \mu' = \psi'(\mu)$, ψ' может быть определено, например, следующим образом: $\psi'(P) = P$. Тогда, добавляя ψ' к γ , получаем новый агрегат $\gamma' = \{\gamma, \psi'\}$. Считая для простоты, что $\lambda(\gamma) = \delta$, получаем $P(\gamma') = P(\gamma) \cup \mu'; r(\gamma') = 2; |P(\gamma') \setminus \alpha| = 2$. Т.е. корректность задачи оптимизации сохраняется, а ее постановка будет иметь следующий вид:

найти $\min_{\mu \in \Omega_\mu} \psi'(\mu)$ при условии $\gamma(\mu \cup v) = \hat{\delta}, \hat{v} \in D_v$.

Таким образом исходная задача в данном случае сводится к задаче условной оптимизации с ограничениями типа равенства. При этом если μ не ограничено, то минимум существует только для монотонных γ . Поиск решения для полученной задачи может выполняться существующими методами условной оптимизации, но, очевидно, более эффективно использовать для этого некоторый специальный алгоритм типа золотого сечения по переменной μ , который, двигаясь от нижней границы Ω_μ , для каждого фиксированного $\hat{v} \in \Omega_\mu$ старается удовлетворить значению $\hat{\delta}$ за счет v из D_v .

Итак, если $D_v = \Omega_v$, то $\min_{\mu \in \Omega_\mu} \mu = \inf \Omega_\mu$. Если $D_v \subset \Omega_v$, то $\min \mu$ может быть получен как решение задачи условной оптимизации с ограничениями типа равенств в том случае, если определено Ω_μ или агрегат γ реализует монотонную функцию для μ .

Пусть теперь $\delta \subset \chi(\gamma)$, а $v = \lambda(\gamma)$. Вводя опять μ и ψ' аналогичным образом, получаем задачу условной оптимизации с ограничениями типа неравенств:

найти $\min_{\mu \in \Omega_\mu} \psi'(\mu)$ при условии $\gamma(v \cup \delta) \in D_v$.

Здесь для неограниченного μ решение существует только при монотонности γ и получается в виде $\min \mu = \min\{\hat{\mu}_1, \hat{\mu}_2\}$, где $\gamma(\hat{\mu}_1 \cup \hat{\delta}) = \inf \Omega_v$, $\gamma(\hat{\mu}_2 \cup \hat{\delta}) = \sup \Omega_v$.

Когда определено Ω_μ , то $\min \mu = \inf \Omega_\mu$ в случае, если $D_v = \Omega_v$, или представляет собой решение выписанной выше задачи, если $D_v \subset \Omega_v$.

Если же $\{\delta, v\} \subset \lambda(\gamma)$, то как уже рассматривалось для случая I, существует v' такое, что $\chi(\gamma) = \{\mu, v'\}$ и $|v'| = |\delta| + |v| - 1$. Неявное введение v' в качестве множества варьируемых переменных позволяет удовлетворить условиям для δ и γ и сводит рассматриваемую задачу к объединению случаев I и II. Поэтому для нее справедливы все оценки существования решения, приведенные ранее и связанные с анализом Ω_μ и Ω_v . Что касается случая, когда множество ограниченных переменных ξ не пусто, то, выполнив сопоставление D_v и D_ξ и изменяя, если необходимо, границы D_v , мы можем свести задачу к уже рассмотренным выше. Решение же может осуществляться применением методов условной оптимизации. Таким образом наличие непустого множества ξ не влияет на характер решения в этом случае.

Случай III. Рассмотрим ряд вырожденных постановок задачи.

Отсутствие фиксированных переменных: $|\delta| = 0$, практически не влияет на класс решаемой задачи. В этом случае только те задачи из I, для которых выполнялось $\delta \cap \lambda(\gamma) \neq \emptyset$, переходят в класс безусловных.

Аналогичным образом могут изменяться задачи и в случае, когда $|\xi| = 0$.

Если $|v| = 0$, то задача оптимизации формально теряет смысл и становится расчетной. Однако, только в случае выполнения $\delta \subset \chi(\gamma)$ для случая I она действительно реализуется простым расчетом соответствующих модулей (операция 1-го типа). Остальные же задачи в целом сохраняют характер решаемой задачи как условной с ограничениями типа равенств и реализуются операциями 2-го типа, т.е. с использованием алгоритмов оптимизации.

Если множество связанных с задачей переменных не содержит критерий, т.е. $|\mu| = 0$, то задача будет иметь смысл только с точки зрения определения значений всех этих переменных, т.е. когда она является расчетной. Однозначное решение в данном случае мы можем получить только если $|v| = 0$. В противном случае результатом решения такой задачи могут выступать пересчитанные диапазоны изменения значений переменных из $P(\gamma) \setminus \alpha$, что обеспечивается решением $2 \times |v'|$ задач безусловной оптимизации. Вместе с тем целесообразность такого пересчета не всегда очевидна. Поэтому трактовка задачи в случае $|\mu| = 0$ зависит от выбранного способа обработки вычислительной схемы Γ_1 .

В процессе анализа мы не рассматриваем отдельно случаи, когда множества δ и ν пересекаются как с входными $\{\chi(\gamma)\}$, так и выходными $\{\lambda(\gamma)\}$ переменными, т.к. такие задачи представляют собой просто объединение более частных случаев принадлежности δ и ν только входам и/или выходам агрегата.

Случай IV. Рассмотрим теперь как влияет на характер решаемой задачи тот факт, что компонента, относительно которой она решается, может состоять из множества отношений.

Пусть $\gamma = \{\varphi_j, j \in L^*\}$ и $k = |L^*|, k > 1$. Из минимальной замкнутости L^* следует по определению, что функция дефицита $d(\varphi_j, \alpha) < 0 \forall j \in L^*$. Это означает, что задача относительно агрегата γ не может быть решена на L^* последовательным выполнением модулей $m_{1j} j \in L^*$, т.е. не может быть расчетной.

Вычислим функцию дефицита для произвольного отношения из L^* :

$$d(\varphi_j, \alpha) = r_j - |P_j \setminus \alpha| = |\lambda_j| - |P_j| + |\alpha \cap P_j| = |\lambda_j| - |\lambda_j \cup \chi_j| + |\alpha \cap P_j| = |\lambda_j| - |\lambda_j| - |\chi_j| + |\alpha \cap P_j| = |\alpha \cap P_j| - |\chi_j| < 0.$$

Тогда любое отношение φ_j из L^* может быть выполнено, если задать для него значения ровно $|\chi_j| - |\alpha \cap P_j|$ переменных из $\chi_j \setminus \alpha$. Очевидно, что имеет смысл дозадавать наименьшее число переменных. Поэтому определим функцию $\hat{d}(L^*, \alpha)$ следующим образом:

$$\hat{d}_0(L_0^*, \alpha) = \min_{j \in L^*} (-d(\varphi_j, \alpha)) = \min_{j \in L^*} (|\chi_j| - |\alpha \cap P_j|), L_0^* = L^*.$$

Пусть $q_0 = \arg \min_{j \in L^*} (|\chi_j| - |\alpha \cap P_j|)$. Выберем на множестве $\chi_{q_0} \setminus \alpha$ ровно $|\hat{d}_0(L_0^*, \alpha)|$ переменных. Обозначим это множество через τ_0 и зададим для его элементов начальные значения $\hat{\tau}_0$. Тогда для L_0^* построим относительно известных переменных $\{\delta \cup \tau_0, \nu\}$ разбиение $\{L_i^0\} i = 1, 2, \dots, k_0, L_1 = \{q_0\}$.

Пусть разбиение $\{L_i^0\}$ такое, что $|L_i^0| = 1 \forall i = 1, 2, \dots, k_0$, т.е. $L_i^0 = j, j \in L^* i = 1, 2, \dots, k_0, L_i^0 \cap L_s^0 = \emptyset$ для $i \neq s$ и $k_0 = k$. Решив тогда k задач относительно отношений из L^* , мы получим значения переменных из $P(L^*)$. Однако, т.к. $d(L^*, \delta \cup \tau_0 \cup \nu) = |\tau_0| > 0$, то при этом для $|\tau_0|$ переменных из $\chi_{q_0} \cap (\delta \cup \tau_0 \cup \nu)$ первоначальные значения могут измениться. Следовательно, на решение должны быть наложены дополнительные ограничения, согласно которым значения переменных из $\{\delta, \tau_0, \nu\}$ не должны изменяться после выполнения отношений из L^* . При этом ограничения типа равенств накладываются непосредственно на переменные из τ_0 , если $\tau_0 \subset \lambda(\gamma)$, и имеют вид $Pr_{\tau_0} \gamma(\delta \cup \tau_0 \cup \nu) = \tau_0$ и на переменные из $\lambda(\gamma) \cap \alpha$, если $\tau_0 \subset \chi(\gamma)$. Таким образом, получаем ограничения:

$$Pr_{\delta} \gamma(\delta \cup \tau_0 \cup \nu) = \delta, \quad Pr_{\nu} \gamma(\delta \cup \tau_0 \cup \nu) = \nu$$

Определим множество переменных ε_{τ_0} следующим образом:

$\varepsilon_{\tau_0} = \varphi_{\tau_0}(\delta, \tau_0, \nu) = Pr_{\tau_0} \gamma(\delta \cup \tau_0 \cup \nu) \setminus \tau_0$. Аналогично определим ε_{δ} и ε_{ν} . Тогда в состав задачи, решаемой относительно множества отношений $\Phi^* = \{\varphi_j, j \in L^*, \varphi_j \in \Phi^n\}, |\Phi^*| > 1$, должны быть введены дополнительно:

– ограниченные переменные ε_{τ_0} , если $\tau_0 \subset \lambda(\gamma)$, т.е.

$$\xi = \{\xi, \varepsilon_{\tau_0}\}, \Phi^* = \{\Phi^*, \varphi_{\tau_0}\},$$

– ограниченные переменные $\varepsilon_{\delta}, \varepsilon_{\nu}$ и варьируемые τ_0 , если $\tau_0 \subset \chi(\gamma)$, т.е.

$$\nu = \{\nu, \tau_0\}, \xi = \{\xi, \varepsilon_{\delta}, \varepsilon_{\nu}\}, \Phi^* = \{\Phi^*, \varphi_{\delta}, \varphi_{\nu}\}.$$

Рассмотрим возможность решения данной задачи на базе алгоритмов только безусловной оптимизации.

Поскольку искомое решение должно определяться как решение задачи оптимизации, которое минимизирует невязку по добавленным ограничениям, то из приведенного анализа случаев I-III вытекает, что решаемая задача может быть представлена в виде задачи безусловной оптимизации только если $|\mu| = 0$ и $|\tau_0| = 1$ или иначе $d(\varphi_{q_0}, \delta \cup \nu) = -1$.

С другой стороны, необходимо чтобы ни одна из k частных задач не была условной, т.е. чтобы для всех отношений из L^* кроме одного выполнялось $|(\alpha \cup \tau_0) \cap \lambda_j| \leq 1 \forall j \neq t_0, \tau_0 \subset \lambda_{t_0}, \alpha \cap \lambda_{t_0} = \emptyset$.

Пусть теперь разбиение $\{L_i^0\}$ такое, что содержит, в свою очередь, компоненты неединичной мощности. Повторяя все рассуждения, мы получаем $\hat{d}_1(L_1^*, \delta \cup \tau_0 \cup \nu), \tau_1, q_1, k_1, t_1$ соответствующие им условия и т.д. Этот процесс завершится на некотором шаге, т.к. L^* конечно. Тогда сформулируем полученные условия следующим образом.

Задача, решаемая относительно компоненты L^* разбиения $\Phi^n(I)$ неединичной мощности, представляет задачу безусловной оптимизации, если

$$|\mu| = 0, |\xi| = 0, |\alpha \cap \lambda_j| \leq 1 \forall j \in L^* \quad (2)$$

и существует такая последовательность $\{(q_s, t_s, k_s, \tau_s)\}; q_s, t_s \in L^*; \tau_s \in \chi_{q_s}$, что $\forall s: s \in [1, l], l < |L^*|$ выполняется

$$(\lambda_{t_s} \cap \chi_{q_s} = \tau_s) \wedge (\alpha_s \cap \lambda_{t_s} = \emptyset) \wedge (d(\varphi_{q_s}, \alpha_s) = -1),$$

где $L_s^* = \{L_i^s\} i = 1, 2, \dots, k_s$ – результат разбиения на минимальные замкнутые системы для $I = \{\delta_s, \nu\}$;

$$|L_s^*| \cdot 1; L_1^s = q_s; L_{s+1}^* = L_{b_s}^s, |L_{b_s}^s| > 1, b_s \leq k; \delta_{s+1} = \{\delta_s, \tau_s\}; L_0^* = L^*, \delta_0 = \delta.$$

Если сформулированные выше условия (2) не выполняются, то имеем задачу условной оптимизации.

На основе проведенного анализа можно теперь сформулировать формальные условия классификации, которые для каждой компоненты разбиения $\{L_i\} i = 1, 2, \dots, s$ множества $\Phi^n(I)$ позволяют оценить задачу, требующую решения относительно данной компоненты, и отнести ее к одному из четырех классов.

Определим эти условия для задачи $(\mu, \delta, \nu, \xi, \hat{\delta}, D_\nu, D_\xi)$ относительно произвольной компоненты L^* : $\chi = \chi(L^*), \lambda = \lambda(L^*)$.

1. Условие расчетной задачи:

$$(\nu \cap (\chi \cup \lambda) = \emptyset) \wedge (\delta \cap \lambda = \emptyset) \vee (\mu \cap \lambda = \emptyset) \wedge (D_\nu = \Omega_\nu)$$

2. Условие задачи безусловной оптимизации:

$$(\mu \cap \lambda \neq \emptyset) \wedge ((\delta \cup \nu) \cap \lambda = \emptyset) \vee (\mu \cap \lambda = \emptyset) \wedge (|(\delta \cup \nu) \cap \lambda| \leq 1), \text{ если } |L^*| = 1$$

(2), если $|L^*| > 1$

3. Условие задачи условной оптимизации:

$$((\delta \cup \nu) \cap \lambda \neq \emptyset) \vee (\mu \cap (\chi \cup \lambda) \neq \emptyset)$$

4. Условие задачи с неоднозначным решением:

$$(\nu \cap (\chi \cup \lambda) \neq \emptyset) \wedge (\mu \cap (\chi \cup \lambda) = \emptyset)$$

Таким образом, получены условия, проверкой которых может быть определен характер задач, решаемых для компонент декомпозиции полного множества вычислимых отношений. Проведение такого анализа для всех компонент разбиения позволяет, формируя множество частных подзадач $\{w_i\} i = 1, 2, \dots, s$, оценить характер исходной решаемой задачи в целом и может служить основой для сравнения различных задач с точки зрения их вычислительной эффективности.

Список литературы

1. Бродский А.В. Автоматизация решения задач оптимизации при проектировании аэрокосмической техники. Электронный журнал «Труды МАИ», Выпуск №71 от 26.12.2013
2. Бродский А.В. Формализация понятия корректности постановки задачи оптимизации при автоматизированном проектировании аэрокосмической техники. Научно-технический вестник Поволжья, 2014, №5, с.123-126
3. Бродский А.В. О возможности декомпозиции формально корректных задач оптимизации в системе автоматизированного проектирования аэрокосмической техники. Научно-технический вестник Поволжья, 2018, №7, с.85-90

05.13.11

С.А. Даденков канд. техн. наук, А.П. Даденкова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра автоматики и телемеханики,
Пермь, dadenkovs@yandex.ru, dadenkovaa@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОТОКОЛА ДОСТУПА P-PERSISTENT-CSMA

В работе предложена модель сети с протоколом случайного множественного доступа p-Persistent CSMA, позволяющая выполнять корректную оценку вероятностных и временных характеристик передачи данных в сети.

Ключевые слова: *имитационное моделирование, AnyLogic, CSMA, predictive p-persistent CSMA.*

При передаче данных в сетях с разделяемой средой применяются протоколы вероятностного и детерминированного доступа. Активное развитие и широкое распространение самоорганизующихся беспроводных сетей с различными топологиями (Mesh, Ad-hoc, MANET) в том числе в области интернета вещей (IoT) и беспроводных сенсорных сетей (WSN), обращает внимание учёных и инженеров на необходимость развития протоколов вероятностного доступа.

Среди множества алгоритмов случайного доступа особо перспективен протокол predictive p-persistent CSMA с псевдо-постоянным уровнем настойчивости передачи и прогнозированием сетевой загрузки, применяемый в сенсорных сетях. Анализ исследуемого протокола посвящено множество работ [1-5]. В данной статье рассматривается создание программного инструмента для оценки вероятностных и временных характеристик передачи данных в сети с исследуемым протоколом доступа.

Разработка модели функционирования алгоритма доступа PpP-CSMA осуществляется в современной системе имитационного моделирования AnyLogic. Выбор системы моделирования подробно представлен в работе [6], которая иллюстрирует преимущества создания модели и ее дальнейшего исследования в среде AnyLogic по сравнению с другими распространёнными инструментами моделирования. Разрабатываемая модель имеет иерархическую структуру, содержащую уровни объектов: канал, узлы и сообщения. Основным активным элементом модели сети являются узлы, реализующие алгоритм доступа и передачи сообщений. Модели других объектов (канала, сообщений) являются пассивными и представляют собой наборы параметров, которые влияют на характеристики передачи.

Модель канала (рис. 1, Channel) содержит коллекцию объектов-узлов пользовательского класса Nodee с заданным числом. Параметры канала передачи: скорость передачи данных, параметры доступа протокола β_1 и β_2 , базовая ширина соревновательного окна baseWindow; переменные: состояния передачи в текущем и предыдущем пакетном циклах, статус коллизии передачи, количество слотов доступа для передачи. Структура сообщения (рис. 1, Message) модели содержит три параметра: приоритет, размер сообщения и время его генерации.

Модель узла (рис. 1, Nodee) сети включает такие индивидуальные параметры как число слотов приоритетного доступа к каналу, передаваемый объект-сообщение (пакет), случайное число слотов доступа, прогнозируемая нагрузка backlog, а также коллекцию объектов-сообщений и событие генерации сообщений с заданной интенсивностью.

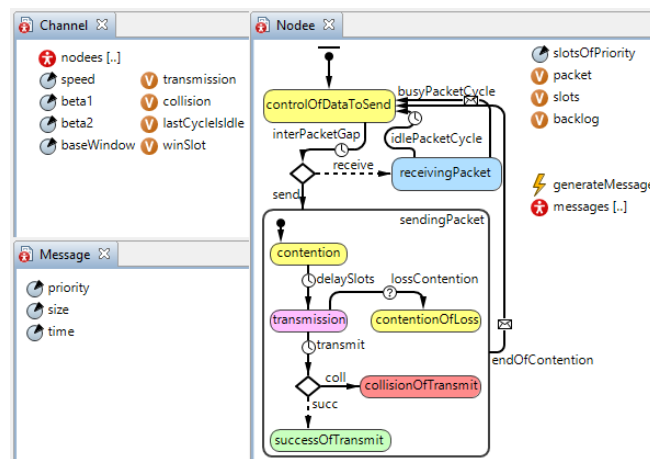


Рис. 1 – Структуры модели сети передачи данных с протоколом PpP-CSMA

Модель алгоритма PpP-CSMA представлена диаграммой состояний и переходов (рис. 1, Nodee). Основными являются следующие три состояния:

1. Состояние «controlOfDataToSend» - состояние контроля данных к отправке, является началом каждого пакетного цикла, в рамках которого выполняется установка начальных параметров доступа.

2. Состояние «sendingPacket» - сложное состояние отправки пакета, которое моделирует доступ узла к сетевому каналу по протоколу PpP-CSMA.

3. Состояние «receivingPacket» - состояние ожидания приёма пакета узлами, не отправляющими данные. Состояние, в том числе, моделирует прохождение свободного пакетного цикла.

Каждый новый пакетный цикл начинается с состояния контроля данных к отправке controlOfDataToSend, где узел прогнозирует нагрузку на новый пакетный цикл в зависимости от состояния предыдущего (табл. 1, №1). Переход из состояния осуществляется после истечения межпакетного интервала β_1 (табл. 2, №1). Условие (табл. 2, №2, 3) наличия у узла сообщения для передачи определяет переход в состояние передачи sendingPacket, а в ином случае в состояние ожидания приёма receivingPacket (рис. 1). Для узлов, находящихся в состоянии receivingPacket определены два варианта завершения пакетного цикла – свободного и занятого. Условия переходов idlePacketCycle, busyPacketCycle показаны в таблице 2 (№4, 5). Если узел имеет сообщение для передачи, то управление передаётся в сложное состояние sendingPacket. Первым является состояние соперничества узлов за канал contention, где выполняется розыгрыш случайного числа слотов доступа (табл. 1, №4), а после – моделируется задержка доступа (табл. 2, №6). В состоянии transmission узел контролирует доступность среды передачи (табл. 1, №5). Узел(ы), выбравший меньшее число слотов доступа начинает передачу, а все остальные узлы переходят в состояние проигрыша contentionOfLoss. В случае, когда несколько узлов выбирают одинаковое число слотов доступа для передачи, то фиксируется состояние коллизии в пакетном цикле. Переход transmit (табл. 2, №8) моделирует задержку передачи пакета по сетевому каналу. В зависимости от состояния коллизии узел переходит (переходы coll, succ (табл. 2, №9, 10)) в состояние успешной successOfTransmit или неудачной collisionOfTransmit передачи. Поскольку в модели представлен пример моделирования передачи сообщения с сервисом доставки без подтверждения, то безотносительно к результату цикла сообщение удаляется (табл. 1, №7, 8). Занятый пакетный цикл завершается синхронизацией его окончания посредством отправки всем узлам сети служебной команды, по которой они переходят (табл. 2, №5, 11) в состояние нового пакетного цикла controlOfDataToSend (табл.1, №1). Пакетный цикл повторяется множество раз для получения статистически корректных результатов моделирования.

Счётчики числа пакетных циклов позволяют оценить вероятности успешной и неудачной передачи данных, вероятности коллизии и потери данных, коэффициент загрузки сетевого канала. Таймер передачи сетевых пакетов позволяет анализировать распределение времени

их передачи, оценить время занятости среды передачи и определить коэффициент эффективного использования полосы пропускания канала. Статистика по числу слотов доступа при передачах, а также по распределению прогнозируемой нагрузки, позволяет анализировать эффективность механизма прогнозирования нагрузки в сети.

Таблица 1 – Характеристика состояний модели узла сети

№	Состояние	Действие при входе
1	controlOfDataToSend	backlog+=(channel.lastCycleIsIdle?-1:(channel.collision?+1:-)); backlog = (backlog>64?64:(backlog<1?1:backlog));
2	receivingPacket	
3	sendingPacket	
4	contention	slots = uniform_discr(0, backlog*channel.baseWindow-1)+ (channel.lastCycleIsIdle?0:1)*(packet.priority?1:0)*slotsOfPriority;
5	transmission	if (!channel.transmission){ channel.winSlot = slots channel.transmission = true; } else if (slots == channel.winSlot) channel.collision = true;
6	contentionOfLoss	
7	collisionOfTransmit	remove_messages(packet); sendToAll("EndOfPacketCycle");
8	successOfTransmit	

Таблица 2 – Характеристика переходов модели узла сети

№	Переход	Действие
1	interPacketGap По таймауту (мс) channel.beta1	packet = null; channel.collision = false; channel.transmission = false; channel.winSlot = -1;
2	Send Условие !messages.isEmpty()	packet = messages.get(0)
3	Receive Условие Не выполняется send	
4	idlePacketCycle По таймауту (мс) channel.baseWindow*backlog*channel.beta2 Доп. Условие !channel.transmission	channel.lastCycleIsIdle = true;
5	busyPacketCycle При получении сообщения "EndOfPacketCycle"	channel.lastCycleIsIdle = false;
6	delaySlots При получении сообщения "EndOfPacketCycle"	
7	lossContention При выполнении условия ((channel.transmission)&&(slots>channel.winSlot))	
8	transmit По таймауту (мс) packet.size*8.0/channel.speed	
9	coll Условие channel.collision	
10	succ Условие Не выполняется coll	
11	endOfContention При получении сообщения "EndOfPacketCycle"	channel.lastCycleIsIdle = false;

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-37-00070 "Алгоритмы проектирования информационно-управляющих сетей LonWorks с требуемыми вероятностными и временными характеристиками".

Список литературы

1. Moshe K. Collision resolution simulation for distributed control architectures using LonWorks // IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. – Edmonton, 2005. – P. 319–326.
2. Miśkiewicz M. Analysis of mean access delay in variable-window CSMA // Sensors. Schweiz: Molecular Diversity Preservation International. – 2007. – Vol. 7. – P. 3535–3559.
3. Miśkiewicz M. Average Channel Utilization of CSMA With Geometric Distribution Under Varying Workload // IEEE Transactions on industrial informatics. – 2009. – Vol. 5 no 2. – P. 123-131. DOI: 10.1109/TII.2009.2017524.
4. Buchholz P., Plonnigs J. Analytical analysis of access-schemes of the CSMA type // Proc. of IEEE International Workshop on Factory Communication Systems WFCS. – 2004. – Wien, 2004. – P. 127–136.
5. Dadenkov S.A. Analytical model of random multiple access protocol // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2019. – № 1(48). – P.192-202. 10.15588/1607-3274-2019-1-18.
6. Даденков С.А., Кон Е.Л. Выбор среды имитационного моделирования информационно-управляющих сетей // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2019. – №1.

05.13.11

С.А. Даденков канд. техн. наук, А.П. Даденкова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра автоматики и телемеханики,
Пермь, dadenkovs@yandex.ru, dadenkovaa@yandex.ru

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕНСОРНОЙ СЕТИ LONWORKS

В работе предложена модель сети LonWorks, разработанная в системе имитационного моделирования AnyLogic. Представлено описание основного активного элемента модели – узла сети. Рассмотрены его диаграммы состояний и переходов, определяющие работу коммуникационного стека протоколов LonTalk.

Ключевые слова: *LonWorks, AnyLogic, имитационное моделирование, сенсорные сети.*

Современные распределённые системы управления представляют собой сложную гетерогенную многоуровневую структуру, оперирующую большими объемами различной информации. Информация в таких системах должна обслуживаться в режиме реального времени, что накладывает жёсткие ограничения на вероятностные и временные характеристики передачи и обработки данных. Это особенно важно для получивших широкое распространение fieldbus-сетей с событийно-ориентированным подходом управления технологическими процессами на основе протоколов со случайным множественным доступом CSMA: LonWorks, Industrial Ethernet, Modbus TCP, EtherNet/IP (DeviceNet), ProfiNet (Profibus поверх Ethernet), HSE (Foundation Fieldbus), Interbus-TCP/IP.

Анализ исследований [1-5] показывает преимущественное использование аналитических способов решения задачи проектирования сенсорных и вычислительных сетей. В работе [6] авторами показана целесообразность использования системы имитационного моделирования AnyLogic для решения задачи разработки и исследования новой модели функционирования сети.

Результатом разработки стала многофакторная модель сенсорной сети, позволяющая выполнять точную оценку множества вероятностно-временных характеристик и показателей производительности сети.

Архитектура разработанной модели представляет собой иерархическую структуру распределённой сети LonWorks, и моделируется вложенностью объектов в указанной последовательности: сегмент, канал, узел, сообщение. Краткая характеристика классов агентов верхнего уровня иерархии представлена в работе [7]. Ключевым элементом модели, представлению которого посвящена статья, является объект класса узел (рис. 1). Модель узла сети представлена структурой из прикладного (APP_CPU), сетевого (NET_CPU) и канального (MAC_CPU) процессоров. Они реализуют функциональность семи уровней коммуникационного стека протоколов LonTalk, взаимодействующих через выделенные для этого области памяти (очереди).

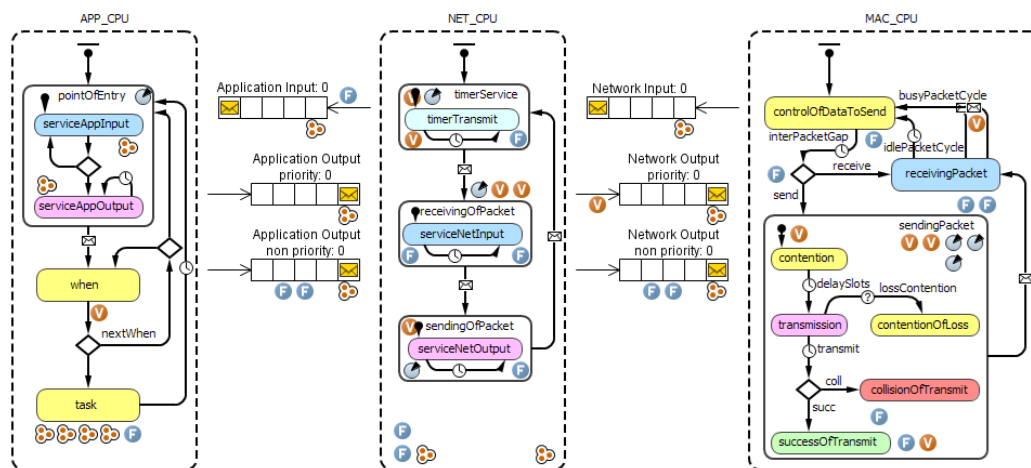


Рис. 1 – Модель узла сенсорной сети LonWorks

Рабочий цикл прикладного процессора начинается с обработки критической секции *pointOfEntry* (рис. 1). В состоянии *serviceAppInput* вначале решаются задачи приёма и обработки всех входящих данных из очереди сообщений *ApplicationInput*, а в состоянии *serviceAppOutput* – задачи формирования и отправки исходящих пакетов. Переходы между состояниями моделируют задержку работы с очередью сообщений. После завершения критической секции управление передаётся в цикл приоритетных задач, состоящих из модулей, объединяющих задачи *task* и условия начала их обработки *when*. Последовательность обслуживания модулей задана циклической дисциплиной обслуживания (*Round-robin*) [8]. Переходы между состояниями *when* и *task* моделируют задержки обработки программных инструкций процессором. Цикл обслуживания задач завершается переходом в точку входа после наступления события и решения задачи, либо после полного прохождения цикла приоритетных задач и обработки одного модуля неприоритетных задач. Значимой временной задержкой данного процессора является время реакции подсистемы обслуживания модулей на изменение значений контролируемых параметров. Таким образом, модель процессора учитывает следующие значительно влияющие на характеристики функционирования параметры: размер сетевого сообщения, записи данных в область памяти, директивы работы планировщика задач, совокупность условий операторов проверки, трудоёмкость реализации проверок и задач и другие. Описание упрощенной аналитической и имитационной моделей процессора, аналогичной предложенной, представлено ранее в работах [8, 9].

Рабочий цикл сетевого процессора начинается с состояния *timerService* (*timerTransmit*) контроля и управления служебными таймерами времени передачи данных. Выполняется контроль таймеров: передачи, времени между отправкой повторяемых сообщений, времени принятия дубликатов сообщений. В состоянии *receivingOfPacket* выполняются проверка наличия и обработка сообщений во входной очереди сообщений от процессора доступа, запись их в очереди входящих (*Application Input*, к прикладному процессору) и/или исходящих (*NetworkOutput*, к процессору доступа) сообщений. Сетевые сообщения на данном этапе получают обслуживание в зависимости от приоритета, сервиса доставки и типа сообщения. При обработке сообщений с сервисом надежной доставки сетевой процессор занимается и формированием ответного сетевого сообщения-подтверждения. Задержки процесса связаны с задержками чтения, обработки и записи сетевых сообщений. В последнем состоянии *serviceNetOutput* (*sendingOfPacket*) цикла обслуживания процессором выполняется обработка исходящих сетевых сообщений. На этапе анализируется вначале приоритетная, а затем неприоритетная очереди сообщений прикладного уровня. В случае наличия сетевых сообщений они передаются в очереди сообщений процессора доступа, что сопровождается моделированием задержки чтения и записи между областями памяти узла. Таким образом, модель сетевого процессора узла учитывает следующие параметры функционирования сети: типовые задержки работы с памятью узла, задержки обработки сетевых сообщений, приоритеты и дисциплины обслуживания сообщений в очередях узла, допустимое время передачи сетевого сообщения и другие.

Рабочий цикл процессора доступа начинается с состояния контроля данных к отправке controlOfDataToSend, где узел контролирует среду передачи, выполняет расчёт прогнозируемой нагрузки. Новый пакетный цикл начинается с межпакетного интервала доступа, свидетельствующего об отсутствии передачи в канале. После этого каждый узел, в зависимости от наличия сообщений готовых к отправке в очереди исходящих сообщений либо переходит в режим ожидания, либо в режим передачи. В режиме приёма узлы прослушивают общую среду передачи, и пакетный цикл заканчивается либо приёмом данных, либо окончанием пустого пакетного цикла. Основой занятого пакетного цикла является диаграмма переходов состояния sendingPacket соперничества узла за канал. В начальном состоянии contention узел моделирует случайный доступ к каналу, с учётом приоритета сообщения и параметров доступа среды передачи. После этого узел(ы) выбравший меньшее число слотов доступа и заставший канал свободным начинает передачу. Продолжительность передачи моделируется задержкой передачи сообщения определённого размера по каналу с заданной пропускной способностью. Результатом пакетного цикла является успешная или неудачная передача. В зависимости от сервиса доставки и типа сообщения, счётчиков передачи, оно либо удаляется, либо ставится на повторную передачу. Отдельно модель процессора представлена в статье [7]. В модели удалось учесть следующие параметры, влияющие на вероятностные и временные характеристики функционирования узла: допустимый диапазон изменения прогнозируемой на канал нагрузки, базовая ширина соревновательного окна доступа, межпакетный интервал доступа, продолжительность временного элементарного слота доступа, время передачи пакета, ограничение узла на количество попыток передачи сообщения и другие.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-37-00070 "Алгоритмы проектирования информационно-управляющих сетей LonWorks с требуемыми вероятностными и временными характеристиками".

Список литературы

1. Moshe K. Collision resolution simulation for distributed control architectures using LonWorks // IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. – Edmonton, 2005. – P. 319–326.
2. Miśkiewicz M. Analysis of mean access delay in variable-window CSMA // Sensors. Schweiz: Molecular Diversity Preservation International. – 2007. – Vol. 7. – P. 3535–3559.
3. Miśkiewicz M. Access delay in LonTalk MAC protocol // Computer Standards & Interfaces. – Nederland: Elsevier Science Publishing Company, 2009. – Vol. 31(3). – P. 548–556. DOI: 10.1016/J.CSI.2008.03.025.
4. Buchholz P., Plonnigs J. Analytical analysis of access-schemes of the CSMA type // Proc. of IEEE International Workshop on Factory Communication Systems WFCS. – 2004. – Wien, 2004. – P. 127–136.
5. Dadenkov S.A. Analytical model of random multiple access protocol // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2019. – № 1(48). – P.192-202. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-1-18.
6. Даденков С.А., Кон Е.Л. Выбор среды имитационного моделирования информационно-управляющих сетей // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2019. – №1.
7. Даденков С.А., Даденкова А.П. Проектирование имитационной модели протокола доступа r-persistent-CSMA//Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. -№12.
8. Даденков С.А., Даденков Д.А. Модель циклического алгоритма планирования задач в распределенной системе реального времени // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2017. – № 4(43). – P.116-123. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-4-13.
9. Даденков С.А., Кокоулин А.Н., Кон Е.Л. Разработка имитационной модели циклического алгоритма планирования задач реального времени // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2018. – № 5. – С. 39–44.

05.13.11

**Ю.А. Ушаков канд. техн. наук, А.Л. Коннов канд. техн. наук,
Н.Ю. Ушакова канд. техн. наук**

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра геометрии и компьютерных наук,
Оренбург, andrey_konnov@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОСПРИЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МНОГОТОЧЕЧНЫХ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ WEBRTC

Работа посвящена возможности автоматического объективного контроля качества восприятия на клиентской стороне как для аудио, так и для видео потока для оперативного решения проблем передачи WebRTC.

Ключевые слова: видеоконференция, аудио поток, видео поток.

Передача голоса и видео по сетям передачи имеет долгую историю и современные распространенные проблемы со всеми широко используемыми способами передачи, которые исходят из старых телефонных подходов к передаче чувствительного к задержкам трафика.

WebRTC использует протокол SRTP (SecureReal-timeTransportProtocol) для передачи данных (не только голоса и видео, но и любых других), а в качестве сигнализации и синхронизации сторон необходимо использовать набор почти независимых друг от друга технологий, внешних и внутренних компонентов. Сигнализация не специфицирована и зависит от сервера и протокола, который ее обеспечивает, потоки RTP должны быть согласованы между точками приема и передачи как по кодекам, так и по типу содержимого пакетов RTP (RTPpayload), по портам UDP и TCP (при прямой передаче), по использованию средств обнаружения (STUN) и обхода NAT (TURN). Если один из компонентов не отработал корректно, закрыты порты брандмауэром, отсутствуют промежуточные сервера STUN/TURN, может не быть голоса и одной из сторон, пропасть видео, внезапно прерваться вся связь. В работе мы рассмотрим способы реализации диагностики и исправления ошибок связи WebRTC.

WebRTC очень децентрализованный, поэтому основная диагностика должна быть доступна на клиентской стороне. Однако сетевые проблемы, связанные с NAT и брандмауэром нужно решать только совместно с инструментами на обеих сторонах. Проект Test.webrtc.org позволяет протестировать работу WebRTC на каждом шаге, но он не позволяет проверить открытость конкретных портов и технологий, а также не позволяет потом использовать результаты в конкретных приложениях. Тестирование сети состоит из следующих этапов.

1. Тестирование доступа из браузера к порту TCP сервера сигнализации по протоколу HTTPS/Websocket - осуществляется простым запросом Ajax из javascript, при этом "xhr.timeout" должен устанавливаться в минимальное значение и только при неуспешном тесте прогрессивно увеличиваться. WebSocket и LongPoll запросы требуют использования setTimeout для прерывания соединения дольше заданного, для этого в работе использовалась javascript библиотеку okHttp3.

2. Тестирование доступа из браузера к порту TCP и UDP требуемых серверов STUN/TURN, тестирование авторизации на них. Для тестирования используются компоненты "window.RTCPeerConnection" и аналоги для браузеров Firefox и Safari. После успешного запроса сервер TURN должен выдать порт и адрес прокси для RTP, который требуется также протестировать [1].

3. Тестирование доступа к порту UDP сервера коммутации WebRTC (SFU или MCU) и передачи/приема (эхо) RTP потока с требуемым payload. Для этого используется второе соединение к TURN серверу, затем создается канал данных, по которому передается тестовое сообщение через метод “peer.send”. Используется подход и библиотека simple-peer [2], таким образом проверяется P2P соединение через TURN между браузерами на стороне клиента.

Диагностика в реальном времени самая трудная, потому что недостаточно узнать о потере пакета, требуется знать реальное воздействие на звук/изображение и степень ухудшения субъективного качества (QoE). Поэтому используются следующие подходы:

1. Проверка показателей WebRTC getStats (googJitterReceived, googCurrentDelayMs, packetsLost, bitsReceivedPerSecond, googDecodeMs, googEncodeUsagePercent, googRtt, googNacksSent, googNacksReceived).

2. Периодические синхронные скриншоты принимаемого и отправляемого изображения на клиентах, отсылка на сервер для сравнения с качества.

3. Модификация изображения через использование своего метода создания потока [3] для добавления невидимых или маловидимых меток на изображение для контроля на удаленной стороне их наличия и соответствия. Для этого поток, полученный из видеокamеры через getUserMedia ассоциируется непосредственно со скрытым элементом “video”, который модифицируется средствами рисования на канвасе, потом получившийся поток через захват Canvas.captureStream ассоциируется с нужным PeerConnection. Это может происходить периодически (для реальных ситуаций), или постоянно (для тестов).

4. Качество звука сложно контролировать без вмешательства в передачу, для этого используются объекты AudioContext - AudioBufferSourceNode для генерации звуковой метки, AnalyserNode - для поиска в звуке этой метки.

Основной проблемой с доступом к портам серверов является недоступность в случае, если на маршрутизаторе запрещены только некоторые из портов.

Проблемы с качеством изображения и звука более сложны в исправлении, поскольку не имеют объективных показателей и метрик.

Во время сеанса периодически начинается анализ части видеопотока (рис.1). Поток отключается от непосредственной передачи, прореживается, перенаправляется в Canvas, там ему добавляется Watermark, рассчитывается перцептуальный хэш (п-хэш) с уменьшением изображения до 64x64, также слепок кадра сохраняется в base64 через функцию toDataURL(). Отрезок для определения качества не может быть менее 2-х секунд, он должен рассчитываться исходя из интервалов ключевых кадров, количества NACK сообщений.

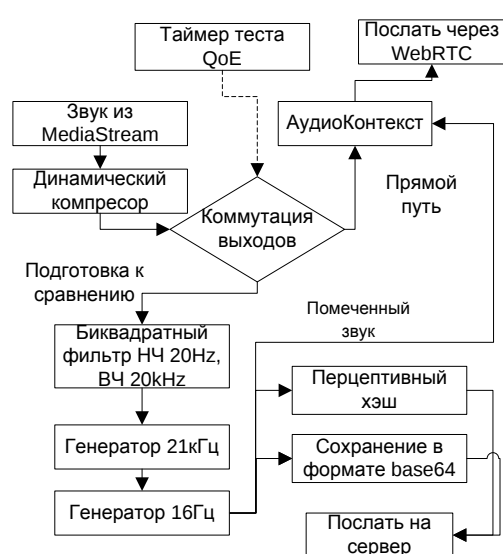


Рис. 1 – Подготовка видео



Рис. 2 – Подготовка аудио

После промаркированные фреймы перенаправляются в прежний поток вывода, а их п-хешы и копии в формате base64 отсылаются на сервер по другим каналам (или Data-channel WebRTC или POST/Websocket).

На приемной стороне с потоком происходит тоже самое. После этого на сервере вычисляется расстояние Хемминга для изображений. Основной проблемой является синхронизация начала последовательности и возможные пропуски кадров в последовательности. Для этого на этапе маркировки начало последовательности выделяется сильнее чем остальные кадры, потом ищутся наиболее близкие начальные кадры в обеих последовательностях. Если совпадений фрагментов не найдено, то значит или нет видео, или оно сильно искажено.

Если требуется осуществлять текущий контроль изображения, то используется тот же метод маркирования кадров, но частота прореживания на маркировку снижается до 1 кадра в 2 секунды. Также существуют методы поиска лица и анализа его подвижности (face-api.js, picojs).

Анализ голоса более сложен из-за повышенных требований к минимизации задержек, возможной эхо-компенсации, а также из-за более сложной маркировки фрагментов (рис.2). Любая заметная анализатору метка в звуковом потоке в доступных, но неслышимых частотах может исказить звук при неблагоприятном стечении обстоятельств. Кроме того в звуке нет фреймов и анализировать нужно только фрагмент звуковой дорожки. Для постоянного использования нужно учесть тот момент, что звук частот ниже 20Гц и выше 20кГц может возникать одновременно при стуках и ударах по микрофону, поэтому в схему добавлен предварительный полосной фильтр.

На удаленной стороне на входе потока должен стоять спектральный анализатор для выявления несущих низких и высоких частот, а также полосной фильтр для очистки от них исходного звука.

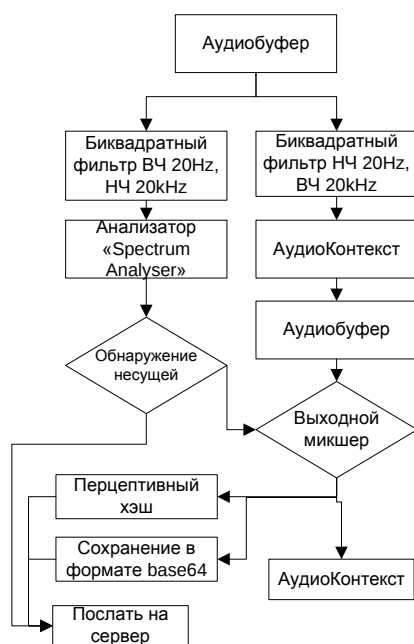


Рис. 3 – Анализ видео

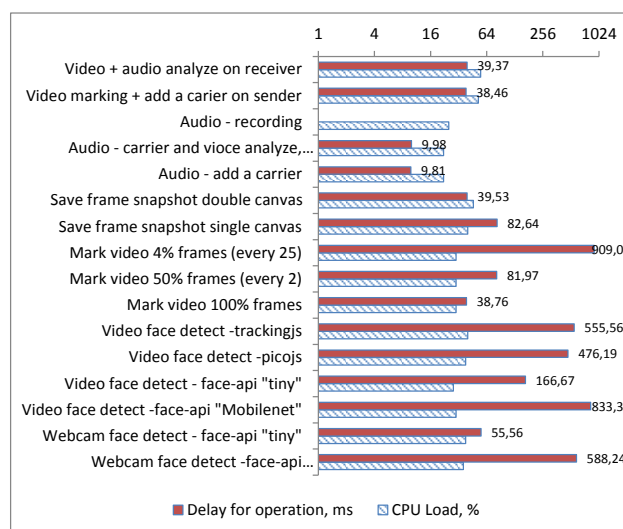


Рис. 4 – Загрузка CPU и время задержки

Напрямую несущие частоты в анализе использовать нельзя, поскольку они сильно искажаются как фильтрами, так и кодеком и наложение других звуков, могут прерываться из-за потери пакетов.

На сервере анализ аудиодорожки происходит по другому, чем с в видео. Поскольку дорожка с удаленной стороны может быть подмножеством дорожки с исходной стороны (непрерывная часть, множество отрезков), то требуется провести анализ как в целом (через п-хеш), так и отдельных частей. Для этого и посылается записанная дорожка целиком на

сервер при необходимости. Если анализ по п-хешу выявил существенные различия, требуется сначала выявить возможные провалы в звуке, вызванные потерями пакетов. Для этого сравниваются громкости двух дорожек, выявляется возможное начало и конец совпадающих фрагментов, а также участки с несовпадающими данными. На несовпадающих участках производится спектральный анализ, если спектр различен в пределах заданных погрешностей, то считаем, что это аномалия и помечаем участок как испорченный.

Для проведения эксперимента был использован фреймворк Selenium, который позволяет загружать много копий браузера и автоматизировать действия с ними. Для работы с браузерами и написания скриптов тестирования использовался KITE, в котором есть примеры под популярные сигнальные серверы, а также для P2P связи WebRTC. Во фреймворке используется модуль kite-common, в котором есть небольшая часть по определению наличия видео и аудио. Видео определяете по копии кадра, в котором рассчитывается сумма цветов всех точек. Если кадр черный, то сумма будет около нуля, если с белой заливкой – то как максимальная сумма при данном размере кадра. Для определения качества и наличия артефактов такой метод не подходит, поэтому был реализован метод, описанный в главе IV. Контроль звука осуществлялся по наличию несущей. Для генерации видео источника в оригинальном kate используется ключ запуска «--use-fake-device-for-media-stream», что позволяет посылать картинку с временем и крутящимся сектором, а также со звуком (регулярный beep). Но для проверки QoE этого недостаточно, были использованы дополнительные опции «--use-file-for-fake-audio-capture=file.y4m --use-file-for-fake-video-capture=file.wav --allow-file-access», которые позволили воспроизвести реальное видео и звук. Видео и звук были записаны на реальной веб-конференции и имели размеченные заранее проблемы с периодически крутящейся камерой и с громкими.

Тестирование проводилось на поднятой в облаке инфраструктуре с 2 виртуальными машинами, на первой установлен в качестве сигнального сервера Janus, он настроен без использования авторизации на порту 8089 по протоколу websocket, для защищенного канала использовались сертификаты LetsEncrypt. Также был создан простой скрипт на PHP для генерации логинов и паролей TURN сервера и взаимодействия с APIcoturn. Второй сервер использовался как TURN сервер, на нем был установлен coturn с авторизацией по логину/паролю и ключу, включенным API, SSL/TLS шифрованием и сертификатом LetsEncrypt.

В первой части эксперимента мы проанализируем нагрузку на процессор и память различных методов работы с видео и аудио источниками: распознавание лица, маркирование видео, сохранение видео в base64, маркирование аудио, анализ голосовых частот, анализ наличия несущей. Во второй части будем испытывать все нужные элементы вместе. Здесь и далее загрузка процессора будет дана общая на браузер, без разбивки на составляющие.

Проверка определения лица проводилась на браузере FirefoxESR 52 в Windows10Pro 1903, компьютер Core-i7-3517/8GbRAM/SSD. Chrome также был испытан, но не все лица, которые запустились на Chrome без ошибок запустились на Firefox, кроме того была оценена загрузка процессора на Chrome с библиотекой fase-api.js. Были получены следующие результаты загрузки CPU для Face Detection remote video:

- SSDMobilenetv1 – 30%, таймаут определения лица 960ms (1 fps);
- TinyFaceDetector – 28%, таймаут определения лица 160 msec (6 fps).

Для Face Detection local webcam:

- SSD Mobilenet v1 – 36%, таймаут определения лица 550ms (1.7 fps);
- Tiny Face Detector – 38%, таймаут определения лица 55 msec(18 fps).

Были протестированы и другие библиотеки:

- piscojs работает только при прямом взгляде камеру, максимальный наклон головы 5%, загрузка 38%, таймаут определения лица около 500мс);
- trackingjs, не поддерживает поворот головы и наклон более 15%, загрузка 40%, таймаут определения лица около 600мс.

В реальном видео на компьютере в браузере определения лица пока ненадежно и очень ресурсоемко. Анализ маркирования видео проводился на том же оборудовании. Получены следующие результаты загрузки CPU:

- Маркировка всего потока 25fps - 30%, маркировка половины потока 12fps - 30%; маркировка каждого 25 кадра - 30%. Во всех случаях по показателям внутренней нагрузки браузера, до 90% всей нагрузки занимал процесс GPU.
- Сохранение в base64 всего видео потока за период времени - 40%, среднее время на 1 кадр – 86мс, поддерживаемая частота кадров - 12 fps; при использовании предварительного копирования кадров загрузка 46% и частота (с быстрым копированием кадра в два скрытых Canvas) - 25fps.
- Генерация несущей и добавление в аудиопоток - 22% CPU, задержка менее 10мс.
- Анализ несущей, голосовых частот и применение эквалайзера в аудиопоток –22%, задержка менее 10мс.
- Запись звука –25%.

Теперь проверим, как поведет себя браузер, когда все элементы соберутся вместе в единую систему генерации и проверки. Для этого в видео на источнике добавляется 1 метка в углу каждые 25 кадров, этот кадр посылается на сервер. Был создан прототип системы проверки. На приемнике сначала идет анализ заранее определенной части в углу кадра всех кадров в для поиска характерной метки для начала синхронизации потока. Метка должна быть небольшой и контрастной, поиск идет по сравнению с присланным п-хешем метки (функция phash требует 2.7 мс начиная с копирования и масштабирования Canvas и заканчивая вычислением расстояния Хемминга). Весь процесс поиска не должен быть длиннее 40мс (время кадра), с учетом прорисовки основного Canvas (около 3мс).

Загрузка как на передающем, так и на принимающем компьютере была около 50% CPU (на браузере Chrome – до 70%). Наличие видео метки детектируется не дальше 2-3 кадра от начала вещания, наличие голосовой метки – около 0.5-1 секунды, максимальная длительность одного цикла подготовки видео и аудио при формировании посылки – 38мс, при анализе на приемной стороне – 39мс.

Как видно из графика (рис.4) существуют операции, которые длиннее 40 мс и не могут быть выполнены в реальном времени на видеопотоке 25 FPS.

В результате исследования были рассмотрены методы контроля и обеспечения качества связи по протоколам WebRTC, методы контроля на клиентской стороне, испытан прототип системы контроля, показавший задержку на кадр в районе 38-39мс, что позволяет в реальном времени отслеживать отличия в видеопотоке от оригинала и реагировать на это.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-37-00485, 16-29-09639, 18-07-01446 и гранта Оренбургской области № 32.

Список литературы

1. Amirante A., Castaldi T., Miniero L. and Romano S.P., Jattack: A WebRTC load testing tool, 2016 Principles, Systems and Applications of IP Telecommunications (IPTComm), Chicago, IL, 2016, pp.1-6. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7780247&isnumber=7780245>.
2. Performance Evaluation of WebRTC-based Video Conferencing, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, vol. 45, issue 3, URL <http://wimnet.ee.columbia.edu/wp-content/uploads/2017/10/WebRTC-Performance.pdf>, 2017, pp. 56-68.
3. Shukhman A.E., Polezhaev P.N., Legashev L.V., Ushakov Y.A., Bolodurina I.P., “Creation of regional center for shared access to educational software based on cloud technology” in proc. of IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2017, pp. 916-919.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)**

05.13.18

**М.М. Балачков, В.В. Верхотурова, О.Ю. Долматов, В.В. Закусилов,
М.С. Кузнецов, А.А. Пермикин**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Инженерная школа ядерных технологий,
Отделение ядерно-топливного цикла,
Томск, kms@tpu.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
ПОЛЕЙ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ СИНТЕЗЕ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКИ**

В рамках данной работы представлены результаты математического моделирования распространения волны горения в процессе СВ-синтеза функциональных материалов ядерной техники. По полученным данным предлагается проведение оценки влияния факторов подготовки и проведения синтеза на фазовый состав конечного продукта, а так же температурные режимы протекания синтеза.

Ключевые слова: СВ-синтез, волна горения, ядерная техника, функциональные материалы.

Введение

На сегодняшний день ядерная промышленность нуждается в новых функциональных материалах. К ним относятся материалы ядерных топливных композиций, соединения, защищающие от ионизирующего излучения, композиты для иммобилизации РАО и другие.

Перспективной материаловедческой технологией, которая позволяет получать такие материалы, является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Данный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами порошковой металлургии, основным из которых является малые затраты энергии на синтез [1].

Ввиду дороговизны исходного сырья, важной задачей является проведение моделирование процесса направленного синтеза получаемых соединений с целью осуществления оценки свойств конечного продукта. Таким образом, целью данной работы является построение математической модели распространения волны горения в процессе СВ-синтеза функциональных материалов ядерной техники.

Математическая модель

Основой процесса СВС является перенос тепла внутри образца, в связи с этим, основу математической модели составляет дифференциальное уравнение теплопроводности. Изготавливаемые образцы имеют цилиндрическую форму, поэтому целесообразней использовать уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах, пренебрегая зависимостью от полярного угла и, в первом приближении, предполагая малое изменение термодинамических коэффициентов между двумя соседними точками сетки:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right) + f(z, r, u, \eta), \quad (1)$$

где u – температура; t – время; α – коэффициент температуропроводности; z – высота; r – длина радиус вектора; f – функция тепловых источников; η – глубина превращения.

При синтезе материалов проходят химические реакции, скорость прохождения которых, влияет на мощность теплового источника. В модели предполагается, что химические

реакции проходят в одну стадию. Дифференциальное уравнение, описывающее скорость химической реакции при СВ-синтезе будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{d\eta}{dt} = k_0 \cdot \sqrt{u} \cdot \exp(-E_a/(R \cdot u)) \cdot e^{-m_t \cdot \eta}, \quad (2)$$

где k_0 – фактор частоты; E_a – энергия активации реакции; R – постоянная Больцмана; m_t – параметр торможения.

Тепловой источник зависит от скорости протекания химической реакции, и её температурного эффекта. Таким образом, функция теплового источника, с учётом размерности величин входящих в уравнение (1) будет описываться уравнением вида:

$$f(z, r, u, \eta) = \frac{Q}{c} \cdot k_0 \cdot \sqrt{u} \cdot \exp(-E_a/(R \cdot u)) \cdot e^{-m_t \cdot \eta}, \quad (3)$$

где Q – удельный тепловой эффект химической реакции; c – теплоёмкость образца.

Очевидно, что перед проведением синтеза в образце отсутствует конечный продукт, математическая запись этого утверждения даёт начальное условие:

$$\eta = 0. \quad (4)$$

Граничные условия выбраны, исходя из параметров протекания синтеза: СВС проходит в техническом вакууме, образец помещён на несгораемую подложку с малым коэффициентом теплопроводности, поэтому можно пренебречь передачей тепла при контакте подложки и образца:

$$\lambda \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=H} = -\varepsilon \cdot \sigma_B \cdot (u^4 - u_c^4); \quad \lambda \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0; \quad \lambda \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{r=R} = -\varepsilon \cdot \sigma_B \cdot (u^4 - u_c^4), \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности образца; H – высота заготовки; ε – степень черноты тела; σ_B – постоянная Стефана-Больцмана; u_c – температура окружающей среды; R – радиус заготовки.

Необходимо учитывать изменение термодинамических свойств заготовки в процессе синтеза при проведении расчёта, так как они зависят от температуры и химического состава. Свойства начальной шихты можно рассчитать как средневзвешенное значение относительно массовой доли реагентов:

$$c_0 = c_1 \cdot \eta_1 + c_2 (1 - \eta_1); \quad \lambda_0 = \lambda_1 \cdot \eta_1 + \lambda_2 (1 - \eta_1), \quad (6)$$

где $c, \lambda_{0,1,2}$ – удельная теплоёмкость, коэффициент теплопроводности начальной смеси реагентов, первого реагента и второго реагента соответственно; η_1 – массовая доля первого реагента в начальной смеси реагентов.

Для синтеза необходимых материалов изначально подбирают соотношение исходных реагентов согласно стехиометрии проводимой реакции. Из этого следует, что в качестве константы, описывающей состав шихты, удобней использовать не массовую долю, а отношение молярных долей реагентов:

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \nu \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1}}, \quad (7)$$

где $\mu_{1,2}$ – молярная масса первого и второго реагента соответственно; ν – отношение молей второго вещества к первому.

Аналогично выражениям (6), с помощью средневзвешенного значения, можно найти свойства образца в любой момент времени:

$$c = c_f \cdot \eta + c_0 (1 - \eta); \quad \tilde{\lambda} = \lambda_f \cdot \eta + \lambda_0 (1 - \eta), \quad (8)$$

где c, λ_f – удельная теплоёмкость, коэффициент теплопроводности синтезируемого материала соответственно; $\tilde{\lambda}$ – коэффициент теплопроводности образца с максимальной плотностью.

Влияние плотности заготовки влияет на многие характеристики. В рамках модели предполагается, что во время проведения синтеза плотность заготовки не изменяется, но

возможно изменение плотности на стадии подготовки шихты. Максимально достижимая плотность будет определяться аналогично выражениям (6):

$$\rho_0 = \rho_1 \cdot \eta_1 + \rho_2 \cdot (1 - \eta_1), \quad (9)$$

где $\rho_{0,1,2}$ – максимальная теоретическая плотность начальной смеси реагентов, плотность первого и второго реагента соответственно.

Влияние плотности на коэффициент теплопроводности, без учёта наличия газа в порах заготовки, можно учесть с помощью следующего соотношения:

$$\lambda = \tilde{\lambda} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}. \quad (10)$$

Зависимость теплоёмкости для элементарных веществ и некоторых соединений от температуры описывается с помощью полинома второй степени:

$$c_{1,2,f} = \frac{4,1868}{\mu_{1,2}} \cdot (\alpha_{1,2,f} + 10^{-3} \cdot \beta_{1,2,f} \cdot u + 10^5 \cdot \gamma_{1,2,f} \cdot u^{-2}), \quad (11)$$

где μ_f – молярная масса синтезируемого соединения; $\alpha, \beta, \gamma_{1,2,f}$ – постоянные величины для первого, второго и синтезируемого соединения соответственно.

Для расчёта теплоёмкости интерметаллидных соединений рекомендуется использовать правило Неймана-Коппа, заключающееся в нахождении средневзвешенного значения теплоёмкости относительно молярной массы:

$$c_f = \frac{c_1 \cdot \mu_1 + c_2 \cdot \mu_2}{\mu_f}. \quad (12)$$

Величину Q можно рассчитать следующим образом:

$$Q = \frac{-\Delta H \cdot \rho}{\mu_f}, \quad (13)$$

где ΔH – стандартная энтальпия образования вещества.

Коэффициент температуропроводности равен:

$$\alpha^2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}. \quad (14)$$

Для имитации подогрева образца необходимо изменить верхнее граничное условие:

$$\lambda \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=H} = -\varepsilon \cdot \sigma_B \cdot (u^4 - u_c^4) + \Phi; \quad (15)$$

$$\Phi = \begin{cases} \Phi_0, & u < u_{\text{ост}}; \\ 0, & u \geq u_{\text{ост}}, \end{cases}$$

где Φ – функция имитации локального нагрева; Φ_0 – тепловой поток, создаваемый на верхней границе образца; $u_{\text{ост}}$ – температура отключения локального нагрева.

Результаты

С целью верификации полученных данных температурные поля, определенные в результате математического моделирования, сопоставлялись с экспериментальными данными.

Теплофизические константы для систем Ni-Al [2–6] и W-B [2, 7–10] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Теплофизические константы, используемые при проведении расчётов [2–10]

	Система Ni-Al			Система W-B		
	Al (1)	Ni (2)	NiAl (f)	W (1)	W (2)	WB (f)
α	4,94	7,10	–	1,54	5,74	13,89
β, K^{-1}	2,96	1,00	–	4,4	0,76	-0,78
γ, K^2	0,00	-2,23	–	0,00	0,00	-5,02
$\mu, \text{кг/моль} \cdot 10^{-3}$	26,98	58,69	85,67	10,82	183,84	194,66
$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{K)}$	210,0	66,2	80,0	1,5	100,0	30,0
$\Delta H, \text{Дж/моль} \cdot 10^3$	0,0	0,0	-118,4	0,0	0,0	-71,13

Температура окружающей среды принималась равной 303 К, начальная температура образцов 873 и 1023 К для смесей Ni-Al и W-B соответственно. Отношение молей реагентов (ν) как в расчете, так и в эксперименте равнялось 1. Высота и радиус образца – 1 см, шаг сетки 0,1 см, временной шаг 0,01 с. Подробно экспериментальная установка и процесс подготовки образцов представлены в работе 11.

Температурные режимы синтеза для систем Ni-Al и W-B полученные в результате моделирования и экспериментально представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

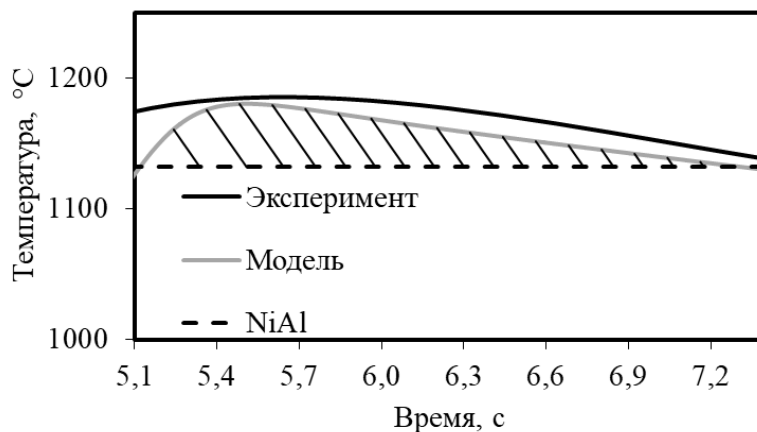


Рис. 1– Температурный режим протекания СВ-синтеза системы Ni-Al

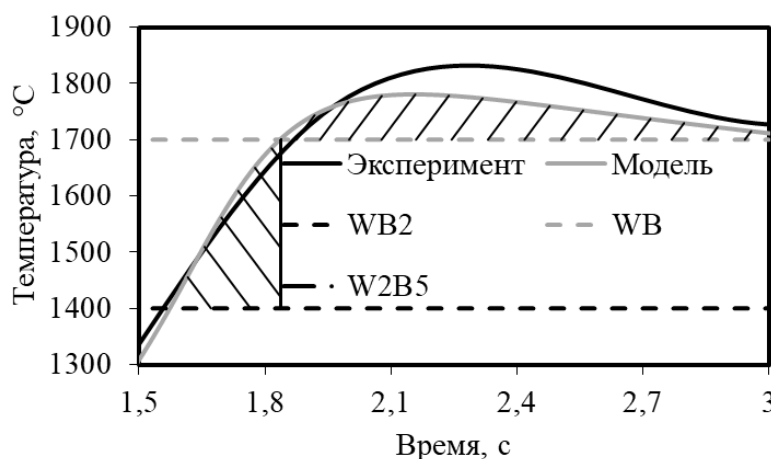


Рис. 2– Температурный режим протекания СВ-синтеза системы W-B

Основываясь на представленных температурных режимах, осуществлялся прогноз фазового состава конечного продукта, исходя из температуры образования фаз. Для системы Ni-Al доля композиции NiAl должна составлять порядка 98-100%, для системы W-B фаза WB – 80-82%, фаза WB₂ – 18-20%.

На следующем шаге работы образцы подвергались рентгенофазовому анализу. Фазовый состав образцов представлен на рисунках 3 и 4.

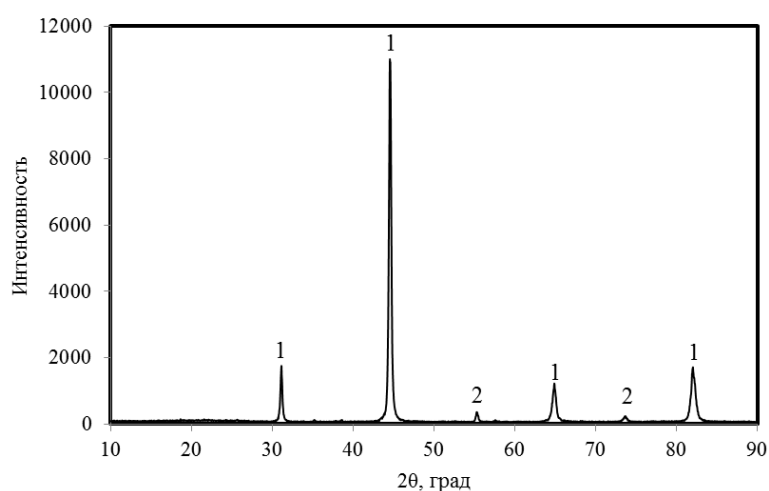


Рис. 3– Фазовый состав образца на основе системы Ni-Al:
1 – NiAl 99 %; 2 – Al₂O₃ 1 %

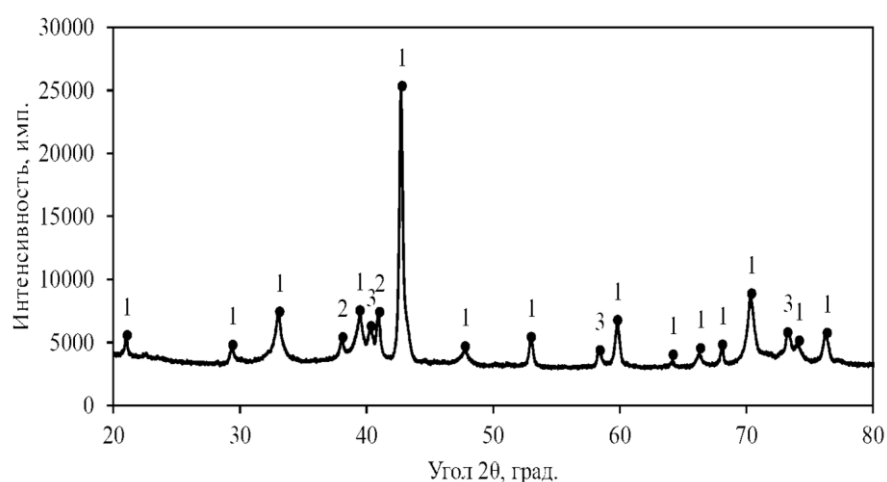


Рис.4– Рентгенограмма синтезированного вещества:
1: WB – 82 %; 2: WB₂ – 10 %; 3: W – 8 %

Заключение

Результатом представленной в работе, модели является прогноз температурного режима протекания синтеза в системах W-B и Ni-Al, позволяющий прогнозировать фазовый состав образцов и термические напряжения. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что построенная модель и реальный процесс СВС совпадают по максимальной температуре синтеза, характеру его протекания и остыванию образца. Расхождение во времени нагрева образца в эксперименте и модели, возможно устранить путем учета фазовых переходов и протекания реакции образования не учтенных в модели. Отклонения в прогнозе фазового состава связаны с отклонением от идеальной стехиометрии шихты и неравномерным образованием фаз по объему образца, ввиду чего данные неточности необходимо учитывать при прогнозе и выборе режима проведения синтеза.

Выражение благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 19-43-703022/19.

Список литературы

1. Амосов А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: учебное пособие / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 471 с.
2. Смитлз К.Дж. Металлы: Справ. изд. Пер. с англ. / К. Дж. Смитлз. – М.: Metallurgia, 1980. – 447 с.
3. Елманов Г.Н. Том 1. Физика твердого тела / Г. Н. Елманов, А. Г. Залужный, В. И. Скрытний, Е. А. Смирнов, В. Н. Яльцев – М.: МИФИ, 2007. – 636 с.
4. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: Справ. изд. / В.Е. Зиновьев. – М.: Metallurgia, 1989. – 384 с.
5. Косицын С.В. Фазовые и структурные превращения в сплавах на основе моноалюминид никеля. / С.В. Косицын, И.И. Косицына // Успехи физ. мет. – 2008. – т.9. – С.195-258.
6. Непалушев А.А. Получение реакционных тепловыделяющих активированных составов и лент на их основе для соединения материалов дисс. ... к.т.н: 05.16.06: защищена 14.04.2016: утв. 15.10.2016 / Непалушев Андрей Александрович. – М., 2016. – 133 с.
7. Верятин У.Д., Маширев В.П., Рябцев Н.Г., Тарасов В.И., Rogozkin Б.Д., Коробов И.В. Термодинамические свойства неорганических веществ / У.Д. Верятин, В.П. Маширев, Н.Г. Рябцев, В.И. Тарасов, Б.Д. Рогозкин, И.В. Коробов. – М.: Атомиздат, 1965. – 461 с.
8. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. / Г.В. Самсонов, Т.И. Серебрякова, В.А. Неронов – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.
9. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники / В.С. Чиркин. – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.
10. Самсонов Г.В., Виноцкий И.М. Тугоплавкие соединения / Г.В. Самсонов, И.М. Виноцкий. – М.: Metallurgia, 1976. – 559 с.
11. Демянюк Д.Г., Долматов О.Ю., Исаченко Д.С., Кузнецов М.С., Семенов А.О., Чурсин С.С. Современные методы получения матричных материалов для иммобилизации радиоактивных отходов // Известия высших учебных заведений. – 2013. – Т. 56. – №. 4/2.

05.13.18

¹А.Ю. Барыкин канд. техн. наук, ²Р.Р. Басыров канд. техн. наук,
¹В.М. Нигметзянова канд. педагог. наук, ¹Ш.С. Хуснетдинов канд. техн. наук

НЧИ ФГАОУ ВО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,

¹каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта»,

²каф. «Автомобили, автомобильные двигатели и дизайн»,

Набережные Челны, aleks-jb@rambler.ru, nigmatzianova@mail.ru,

SSHusnetdinov@kpfu.ru, basr@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ МУФТЫ СЦЕПЛЕНИЯ

В статье изучены факторы, определяющие нагруженность сухого фрикционного сцепления при эксплуатации. Проведен анализ существующей методики расчета рабочего процесса муфты. На основании опытных данных предложена уточнённая методика оценки нагруженности сцепления.

Ключевые слова: *муфта сцепления, эксплуатационная нагрузка, нажимной диск, эмпирический коэффициент, тепловой режим.*

На современных автомобилях достаточно широко применяется муфта сцепления, как важный конструктивный элемент рабочих процессов начала движения и переключения передач в механической коробке. Определяющим фактором нагруженности сухого фрикционного сцепления, наиболее часто применяемого в автомобильных трансмиссиях, является трение скольжения. Уровень работы трения, традиционно именуемой в автомобильной науке работой буксования сцепления, принимается как основной оценочный параметр в большинстве научных работ и учебников. На основании расчётных значений работы буксования предлагается определять производные показатели нагруженности сцепления. К таким показателям относят удельную работу буксования и нагрев ведущего диска за один цикл работы («выключение – включение») при начале движения или переключении передач.

Анализ математических моделей определения работы буксования, используемых в работах [1, 2] и других трудах, показывает, что они могут быть сведены к следующей зависимости:

$$L_0 = \frac{M_{e \max}}{a \cdot M_{e \max} - c \cdot M_{\psi}} \cdot J_a \cdot \omega_e^d \cdot b, \quad (1)$$

где $M_{e \max}$ - максимальный крутящий момент двигателя; M_{ψ} - момент сопротивления движению, принимаемый для определённого режима работы и приводимый к первичному валу коробки передач; J_a - момент инерции автомобиля, приводимый к первичному валу коробки передач; ω_e - расчётная частота вращения коленчатого вала двигателя и ведущих деталей муфты сцепления; a , b , c , d - эмпирические коэффициенты, принимаемые в зависимости от типа двигателя и режима включения сцепления.

Выбор эмпирических коэффициентов в различных работах осуществляется произвольно, без уточнения факторов, влияющих на оценку уровня буксования. Обычно в математической модели рассматривается режим наиболее распространённых условий эксплуатации автомобилей, в некоторых случаях принимаются во внимание частные случаи нагружения (резкое и плавное включение муфты сцепления, тяжёлые условия эксплуатации). Возможно использование различных сочетаний эмпирических коэффициентов для общего случая нагружения. Например, в работе [1] указано, что результаты расчёта по двум вариантам набора коэффициентов будут примерно одинаковыми.

При расчёте нагрева ведущего диска по формуле, приводимой в ряде источников, в частности, в работе [1], возникают неточности, связанные с упрощённым подходом к рабочему режиму муфты сцепления.

Коэффициент распределения тепла γ принимается как отношение числа поверхностей трения нагреваемого диска к числу дисков сцепления. При этом не учитывается сложность рабочих процессов, в частности, неравномерность распределения тепла, возникающая, во-первых, вследствие различных условий вентиляции среднего и крайнего дисков в двухдисковом сцеплении; во-вторых, из-за недостаточной чистоты выключения сцепления, присущей ряду современных конструкций [3].

Масса диска существенно влияет на уровень теплоотвода, однако в данном случае расчёта, когда рассматривается единичный цикл нагружения, существенное значение играет площадь рабочей поверхности диска. Как отмечено в работе [4], градиент температур по ширине диска является весьма заметным. Поэтому следует сделать обоснованный вывод, что при равной массе и большей площади рабочей поверхности диска можно получить меньшую величину поверхностной температуры.

По данным работы [5] можно сделать вывод о том, что часть поверхности ведущего диска вследствие неравномерности износа и других факторов может недостаточно эффективно использоваться в процессе буксования муфты сцепления.

Необходимо также учитывать эксплуатационное состояние муфты сцепления, так как при работе в зимнее время начальные параметры исследуемого процесса существенно отличаются от принимаемых в нормальных условиях [6, 7]. Требуется применение системного подхода к вопросу влияния различных факторов окружающей среды, сопряженных агрегатов и узлов трансмиссии [8].

Для расчёта нагрева ведущего диска за один цикл работы предлагается использовать известную формулу, уточнённую с учётом отечественных условий эксплуатации:

$$\Delta T = \frac{\gamma \cdot L_{\sigma} \cdot k_t}{m_{\sigma} \cdot c_{\sigma}}, \quad (2)$$

где γ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения тепла между деталями сцепления, в данном случае – между маховиком и ведущим диском (дисками); k_t - коэффициент, учитывающий начальную температуру нажимного диска; m_{σ} - масса ведущего диска; c_{σ} - удельная теплоёмкость материала диска.

Предлагается определять массу ведущего диска по формуле:

$$m_{\sigma} = \frac{\pi}{4} \cdot \rho_{\sigma} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \bar{S}_{\sigma} \cdot k_v, \quad (3)$$

где ρ_{σ} - плотность материала диска; D , d - наружный и внутренний диаметры рабочей поверхности ведущего диска; $\bar{S}_{\sigma}$ - средняя толщина ведущего диска в пределах радиального размера $\{d; D\}$; k_v - коэффициент, учитывающий соответствие расчётного и реального объёмов диска.

Удельную работу трения предлагается находить по известной зависимости, уточнённой с учётом конструктивных особенностей муфты и реальных условий эксплуатации:

$$l_{\sigma} = L_{\sigma} / (F_p \cdot k_a \cdot k_g \cdot i), \quad (4)$$

где F_p - площадь одной рабочей поверхности ведущего диска; k_a - коэффициент, учитывающий влияние вентиляции диска (наличие вентиляционных канавок на диске, вентиляционных окон в кожухе и т.п.); k_g - коэффициент, учитывающий ограничения полноты включения сцепления вследствие износа и деформации ведущего диска; i - число дисков муфты сцепления.

В предложенной выше математической модели полученные значения удельной работы буксования и нагрева ведущего диска сравниваются с допустимыми параметрами, после чего делается вывод об интенсивности эксплуатации и необходимости совершенствования конструкции сцепления. Анализ научной и учебной литературы показывает заметные расхождения в предлагаемых диапазонах допустимых значений удельной работы буксования. Есть также различия в дифференциации диапазонов, задаваемые в зависимости от условий эксплуатации, типа подвижного состава и конструкции сцепления.

Предлагается устанавливать диапазон допустимых значений удельной работы буксования по следующей зависимости:

$$[l_{\sigma}] = [l_{\sigma}]_0 \cdot k_{tn} \cdot k_{ts}, \quad (5)$$

где $[l_{\sigma}]_0$ - удельная работа буксования для общего случая нагружения; k_{tn} - коэффициент, учитывающий условия трения в сцеплении, k_{ts} - коэффициент, учитывающий число дисков сцепления.

Применение предложенной математической модели позволит, по мнению авторов статьи, повысить точность расчёта и выбора конструктивных параметров, обеспечить надёжность и экономическую эффективность применения муфты сцепления в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. *Осепчугов, В.В.* Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: Учебн. для студ. вузов по спец. "Автомобили и автомобильное хозяйство" / В.В. Осепчугов, А.К. Фрумкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.
2. *Барский, И.Б.* Сцепления транспортных и тяговых машин / И.Б. Барский, С.Г. Борисов [и др.] – М., Машиностроение, 1989. – 344 с.
3. *Кулаков, А.Т.* Исследование изменения технического состояния сцепления грузового автомобиля / А.Т. Кулаков, Э.М. Мухаметдинов, Л.М. Габсалихова, Р.И. Гарипов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2019. – № 4. – С. 52-56.
4. *Гусаков, Н.В.* Конструкция автомобиля. Шасси / Н.В. Гусаков, И.Н. Зверев, А.Л. Карунин [и др.] // Под общ. ред. А.Л. Карунина. – М.: МАМИ, 2000. – 528 с.
5. *Кулаков, А.Т.* Особенности конструкции, эксплуатации, обслуживания и ремонта силовых агрегатов грузовых автомобилей: учебное пособие / А.Т. Кулаков, А.С. Денисов, А.А. Макушин. – М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 448 с.
6. *Barykin, A.Y.* The research of thermal processes of the automobile chassis / A.Y. Barykin, R.K. Takhaviev, A.D. Samigullin // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2018. – Vol. 8, Is. Special Issue 8. – P. 458-464.
7. *Барыкин, А.Ю.* Исследование работоспособности ведущего диска фрикционной муфты сцепления / А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, Ш.С. Хуснетдинов // Научно-технический вестник Поволжья, 2018. - № 12. - С. 59-62.
8. *Барыкин, А.Ю.* К вопросу системного анализа условий эксплуатации привода колёс автомобилей КАМАЗ / А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, М.М. Мухаметдинов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 74-76.

05.13.18

А.П. Буйносов д-р техн. наук, К.В. Панов

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, buynosov@mail.ru, k.v.panov@yandex.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛУЖИВАНИЙ И ТЕКУЩИХ РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРОВЗОВ В СЕРВИСНОМ ЛОКОМОТИВНОМ ДЕПО

В статье приводится разработанная авторами имитационная модель процесса обслуживания и ремонтов электровозов в сервисном локомотивном депо, результаты моделирования технологических процессов в сервисном локомотивном депо Московка Западно-Сибирского управления ООО «СТМ-Сервис».

Ключевые слова: электровоз, сервис, депо, обслуживание, ремонт, процесс, имитационное моделирование.

Современное сервисное локомотивное депо (СЛД) – сложное, многокритериальное, технологическое предприятие по ремонту тягового подвижного состава (ТПС), состоящее из взаимосвязанных элементов: цехов, производственных участков, рабочих мест и т. д. Производственное, технологическое, вероятностное, информационное, экономическое и организационное единство элементов СЛД обеспечивает взаимосвязь различных производственных процессов в рамках выполнения заданной функции [1]. Основное назначение СЛД – устранение повреждений ТПС при обеспечении их безотказной работы в эксплуатации. Для СЛД в качестве основного показателя, интегрально оценивающего непроизводительный простой локомотива, принят коэффициент технической готовности (КТГ). Суммарные потери КТГ, связанные с организацией ремонта ТПС, составляют 74,8 %. Следовательно, повышение эффективности эксплуатации отечественных локомотивов существенно зависит от принятой модели организации производства в СЛД.

Модель технологического процесса технических обслуживаний и текущих ремонтов (ТО и Р) электровозов в СЛД на основе применения Марковских процессов может быть представлена в виде графа дискретных состояний (рис. 1).

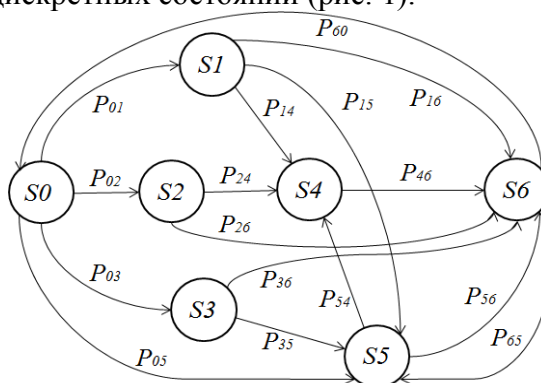


Рис.1. Граф состояний электровоза при проведении ТО и Р

На рис. 1 электровоз может иметь следующие состояния: S_0 – начало процесса ТО и Р (установка электровоза в СЛД); S_i ($i = 1-6$) – участки, соответственно: 1 – ТО-2; 2 – ТР-1; 3 – ТР-2; 4 – ТР-3; 5 – неплановый ремонт (НР); 6 – сдача электровоза после ТО и Р. P_{ij} – состояние электровоза при проведении ТО и Р в СЛД. При разработке имитационной модели при ремонте электровоза в СЛД используем программный продукт «AnyLogic». Процесс перехода ремонтируемого электровоза и (или) его узлов из одного состояния в другое (перемещение с одной ремонтной позиции на последующую) оценивается

вероятностью события P_{ij} (причем, операция выполняется последовательно и безусловно, то $P = 1$, а связь отсутствует – $P = 0$). Взаимосвязи перемещений электровоза в СЛД можно будет представить в виде матрицы:

$$G_k = \begin{pmatrix} - & (P_{12}, t_{12}) & \dots & (P_{1j}, t_{1j}) & \dots & (P_{1n}, t_{1n}) \\ (P_{21}, t_{21}) & - & \dots & (P_{2j}, t_{2j}) & \dots & (P_{2n}, t_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (P_{i1}, t_{i1}) & (P_{i2}, t_{i2}) & \dots & (P_{ij}, t_{ij}) & \dots & (P_{in}, t_{in}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (P_{n1}, t_{n1}) & (P_{n2}, t_{n2}) & \dots & (P_{nj}, t_{nj}) & \dots & - \end{pmatrix}, \begin{cases} \sum_{i=1}^{n_i} P_{ij} = 1 \\ \sum_{j=1}^{n_j} P_{ij} = 1 \\ k = 1, \dots, m, \end{cases} \quad (1)$$

где n – количество вершин графа (производственных участков СЛД), n изменяется от 1 до 8; t_{ij} – время перемещения объекта с i -й на j -ю позицию, минут.

Соответствующую матрицу потока электровозов можно записать как:

$$H^R = \begin{pmatrix} - & h_{12}^R & \dots & h_{1j}^R & \dots & h_{1n}^R \\ h_{21}^R & - & \dots & h_{2j}^R & \dots & h_{2n}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{i1}^R & h_{i2}^R & \dots & h_{ij}^R & \dots & h_{in}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1}^R & h_{n2}^R & \dots & h_{nj}^R & \dots & - \end{pmatrix}. \quad (2)$$

где $h_{ij}^R = (r_i, r_j)$ – интенсивность перемещения электровозов (их узлов и (или) деталей) между позициями ri и rj , ед./ч. (если связь и обмен между электровозами, их узлами и деталями при выполнении ТО и Р существует, то $h_{ij}^R \neq 0$, в противном случае – $h_{ij}^R = 0$).

При постовой структуре преимущественное распределение узлов и деталей электровозов происходит через вход и выход технологической системы, имеющие непосредственные связи с каждой позицией ТО и Р:

$$\sum_{k=1}^n (h_{1,k}^R + h_{k,n}^R) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} (h_{i+1,j}^R) \rightarrow \max. \quad (3)$$

Выражение (3) справедливо при следующих ограничениях: 1) $h_{ij}^R = 0$, $i = j$ – передвижение узлов и деталей электровозов между ремонтными позициями и внутри отдельной ремонтной позиции не учитывается; 2) на момент времени T количество отремонтированных и (или) прошедших ТО электровозов равно их количеству в $S0$ (см. рис. 1):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_{i,j}^R = H(T), \quad (4)$$

где $H(T)$ – количество всех поступивших в СЛД электровозов за конкретное время T .

Поточная форма организации производства ремонта в СЛД визуально отображается размещением значащих элементов матрицы $h_{ij}^R \neq 0$ вдоль главной диагонали:

$$\sum_{k=1}^{n-1} (h_{k,k+1}^R) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j \neq i+1}^{n-1} (h_{i,j}^R) \rightarrow \max. \quad (5)$$

Для сетевой структуры материальных потоков характерно цеховое производство и производство по предметно-замкнутому циклу, при этом элементы матрицы распределены «по поверхности выше» или «выше и ниже главной диагонали» [2]. Время технологической подготовки и переналадки ремонтной позиции при смене электровоза:

$$pt_{ij} = (t_{ij}^{(1)}, t_{ij}^{(2)}, \dots, t_{ij}^{(n)}), i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, m \quad (6)$$

где pt_{ij}^k – среднее время переналадки k -ой позиции при смене электровоза с i -го на j -ый (если подготовка и переналадка не требуется – $t = 0$).

Формирование потока заявок подгонки электровозов в ПТОЛ (на ТО) и в СЛД на ТР с интенсивностью поступления, 1/день (ч.):

$$Pot = (pot_1(t), \dots, pot_m(t)), t = 1, \dots, 24 \quad (7)$$

Среднесуточная программа ТО и Р:

$$\overline{Pot}(t) = (\overline{pot_1}(t), \dots, \overline{pot_m}(t)) = \frac{1}{30} (vol_1, \dots, vol_m), t = 1, \dots, 30 \quad (8)$$

На следующем этапе построения имитационной модели выполняется разработка моделирующего алгоритма (рис. 2).

Для повышения эффективности работы СЛД необходимо выявить закономерности различных случайных процессов при проведении ТО и Р электровозов. Одним из эффективных методов решения подобных задач является метод статистического анализа, предусматривающий сбор, обработку и исследование собранного материала (данных) в конкретном СЛД [3]. Необходимость выбора законов распределения потока различных заявок, и продолжительности при этом переходных периодов во многих случаях определяется тем, что последние могут составлять значительную часть процессов проведения ТО и Р, а закон распределения входного потока заявок может оказывать существенное влияние на статистические характеристики выходных параметров системы массового обслуживания. Поэтому, не учитывая период нестационарности и влияние вида закона распределения потока заявок, невозможно оптимизировать рабочие характеристики ремонта электровоза в СЛД [4, 5].

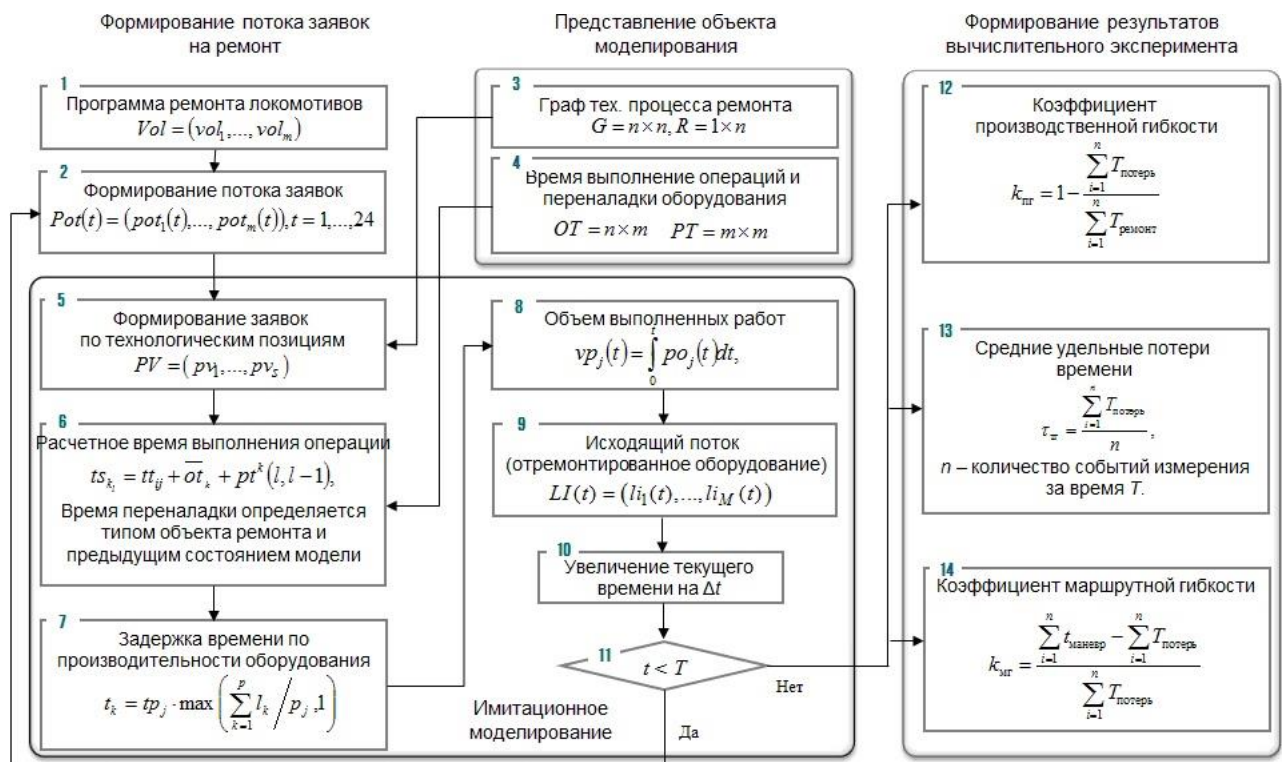


Рис. 2. Алгоритм имитационного моделирования

Исследования выполнялись в СЛД Московка, которое является одним из крупнейших предприятий по ремонту тягового подвижного состава на железных дорогах Российской Федерации, задачей которого является обеспечение бесперебойной работы электровозов серии 2ЭС6, ВЛ11 и ВЛ10 разных индексов.

На основе разработанной имитационной модели выполнены расчеты производственных показателей СЛД Московка (коэффициент загрузки стойловых участков, коэффициент загрузки маневровых локомотивов, среднее количество электровозов, ожидающих ремонт по каждому виду ТР), рассчитаны логистические потери при проведении ТО и Р в СЛД (продолжительность постановки электровозов в цех, время в ожидании ТО и ТР). Было выявлено, что в СЛД невозможно сократить ряд логистических потерь при перемещении электровозов по территории депо, из-за структуры производственных участков и принятой формы организации производства.

Длина и расположение тракционных путей сохраняет высокие потери связанных с преодолением расстояния, как ремонтных, так и маневровых локомотивов, что приводит к низкой пропускной способности СЛД и увеличению очередей и занятости участков и продолжительности ремонта.

Список литературы

1. *Панов К.В.* Разработка имитационной модели деповского ремонта локомотивов учитывающую вероятность возникновения неплановых технологических операций // Известия Транссиба. 2018. №4 (36). С. 20-28.
2. *Буйносов А.П.* Алгоритм построения уравнений трансляционной динамики движения колесной пары в рельсовой колее // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 87-90.
3. *Буйносов А.П., Цихалевский И.С.* Ремонт и техническое обслуживание при эксплуатации локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 2. С. 23-26.
4. *Панов К.В.* Имитационная модель производственно-логистического процесса локомотиворемонтного предприятия // Вестник УрГУПС. 2019. № 1 (41). С. 96-108.
5. *Лантев С.И., Антропов С.Н., Буйносов А.П.* Расчет прочности тележки газотурбовоза как статически неопределимой системы // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 6. С. 20-23.

05.13.18

А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва,
Институт электроники и светотехники,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
Саранск, elsoldador@rambler.ru

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ

В данной статье рассматривается возможность построения математической модели натриевой лампы высокого давления с использованием метода матричных операторов. Также проводится сравнение экспериментальных данных и полученных результатов математической модели.

Ключевые слова: *математическая модель, натриевая лампа, метод, сигнал.*

Спектральные методы идентификации базируются на использовании аппарата матричного оператора. Эти методы являются развитием частотных методов и строятся на разложении сигналов объекта на ортонормированные функции [2,4]. Результатом идентификации становится интегральное определение ядра уравнения объекта, которое в простейшем случае линейных одномерных систем совпадает с весовой функцией.

Спектральные методы могут быть использованы для идентификации нестационарных систем, параметры которых, в частности, ядро интегрального уравнения, меняются со временем [3].

Пусть стационарный объект описывается интегральным соотношением

$$y(t) = \int_0^t \omega(t - \tau)x(\tau)d\tau, \quad (1)$$

где $\omega(t)$ – функция веса объекта.

В результате проведения эксперимента в интервале времени $[0, T]$ зарегистрированы детерминированные сигналы $x(t)$ и $y(t)$. В соответствии с методом матричных операторов представим их в виде разложения по ортонормируемому базису некоторых ортогональных функций:

$$x(t) = \Phi^T(t)C^x, \quad y(t) = \Phi^T(t)C^y, \quad \omega(\tau) = \Phi^T(\tau)a, \quad (2)$$

где $\Phi^T(t)$ – заданный ортонормированный базис, C^x , C^y , a – коэффициенты разложения соответствующих функций по заданному базису

Подставим (2) в (1), тогда

$$\Phi^T(t)C^y = \int_0^t \Phi^T(t - \tau)a\Phi^T(\tau)C^x d\tau. \quad (3)$$

Вынося из-под знака интеграла переменные, не зависящие от τ , и умножая последовательно (3) на $\Phi(t)$, а затем, интегрируя обе части по t , в силу ортогональности выбранного базиса получим систему уравнений для вычисления неизвестной матрицы системы a :

$$c_i^y = aC^x \int_0^T \varphi_i(t) \left[\int_0^t \Phi(t - \tau)\Phi(\tau)d\tau \right] dt. \quad (4)$$

Обозначая результат интегрирования ортонормированной системы функций в соответствии с (4) как

$$\mathbf{S} = \int_0^T \varphi_i(t) \left[\int_0^t \Phi(t-\tau) \Phi(\tau) d\tau \right] dt, \quad (5)$$

значение которой характеризует свойства выбранного базиса, можно найти $\mathbf{A}$ из системы алгебраических уравнений:

$$c_k^y = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_j c_i^x s_{ij}^k, \quad k=1,2,\dots,n \quad (6)$$

или в матричном виде:

$$\mathbf{S}_c \mathbf{a} = \mathbf{c}^y. \quad (7)$$

Зная матричный оператор, из третьего выражения (2) можно вычислить функцию веса системы.

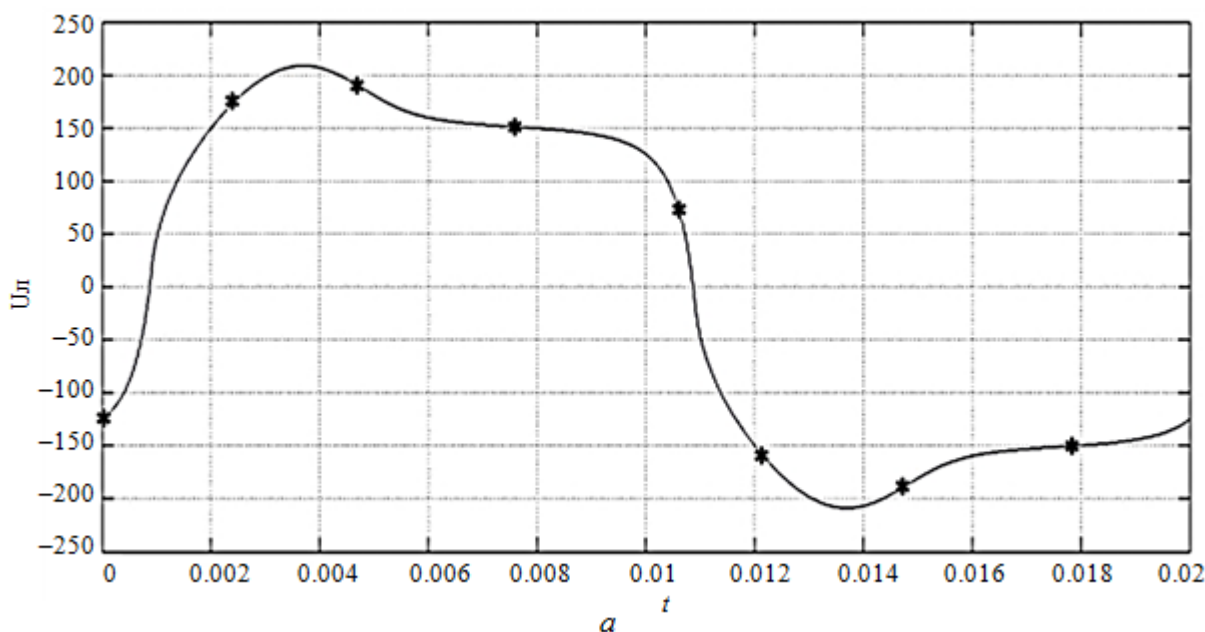
Описанный выше подход позволяет реализовать математическую модель натриевой лампы высокого давления, используя метод матричных операторов. На рисунке 1 представлены результаты идентификации, а на рисунке 2 приводится разложение функции веса.

Для проверки ошибки моделирования выполним следующие действия, входными данными для математической модели являлись данные, полученные при выполнении экспериментальных исследований [1]. На рисунках 3 – 4 приведены графики ошибок, полученных от сравнения реальных результатов с результатами моделирования.

Модель характеризуется 8 параметрами, представляющими собой коэффициенты разложения нелинейной функции веса этой математической модели. Точность моделирования можно повышать, увеличивая число членов разложения функции веса. Расчет коэффициентов разложения сводится к вычислению сверток функций ортонормируемого базиса. Сравнение моделей проводится по максимальной относительной ошибке моделирования:

$$em = \sup(\theta - \hat{\theta}). \quad (8)$$

Максимальная ошибка вычисления параметров модели составила 12,3%



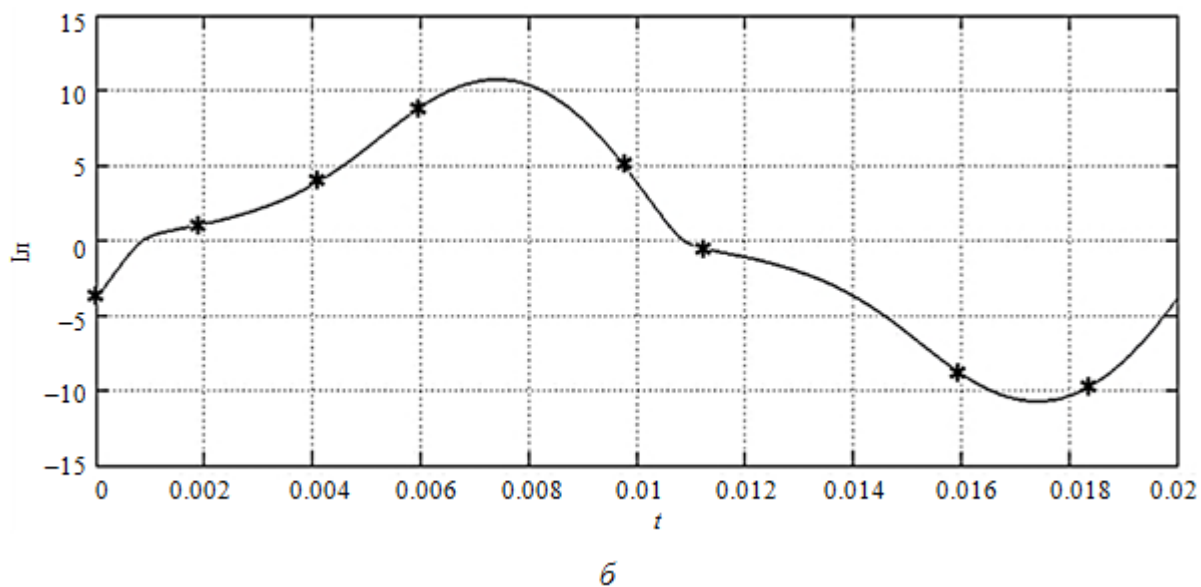


Рис. 1 – Осциллограммы выходного сигнала напряжения (а) и тока (б)

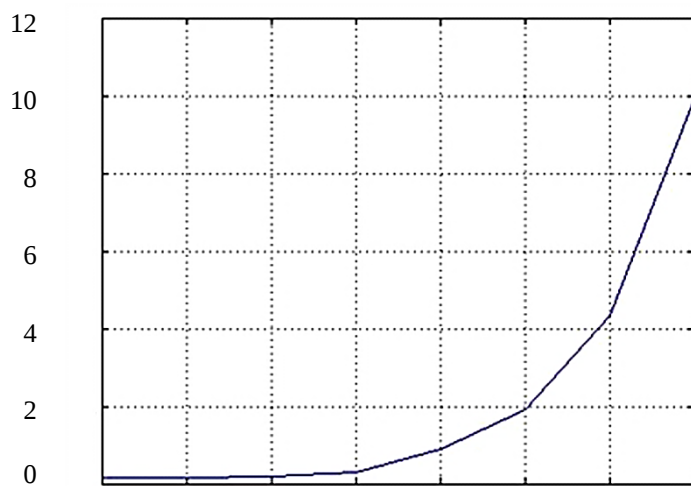


Рис. 2 – Вычисление коэффициентов разложения функции веса

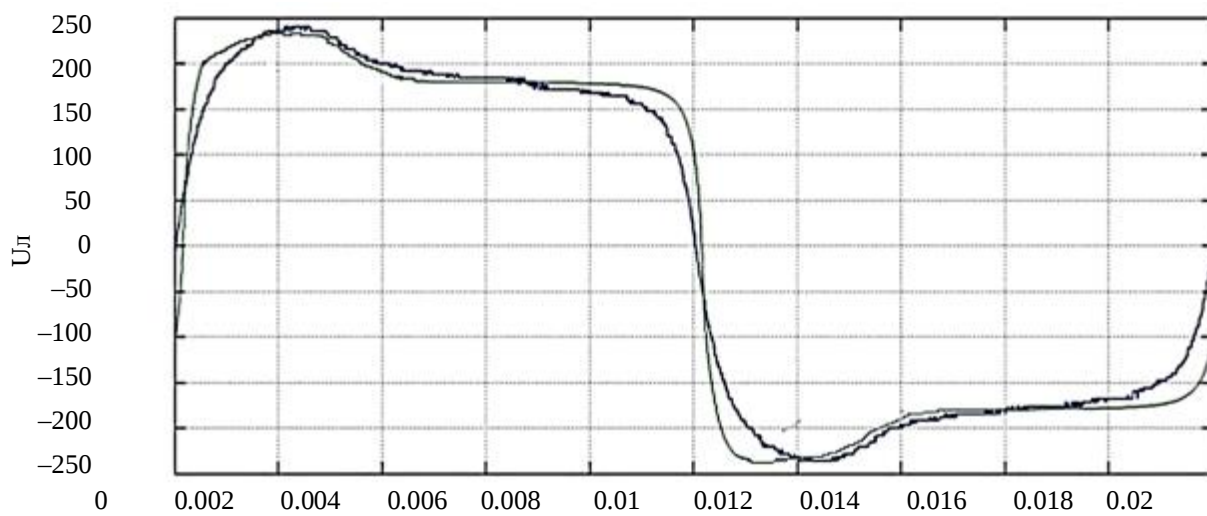


Рис. 3 – Ошибка моделирования по напряжению

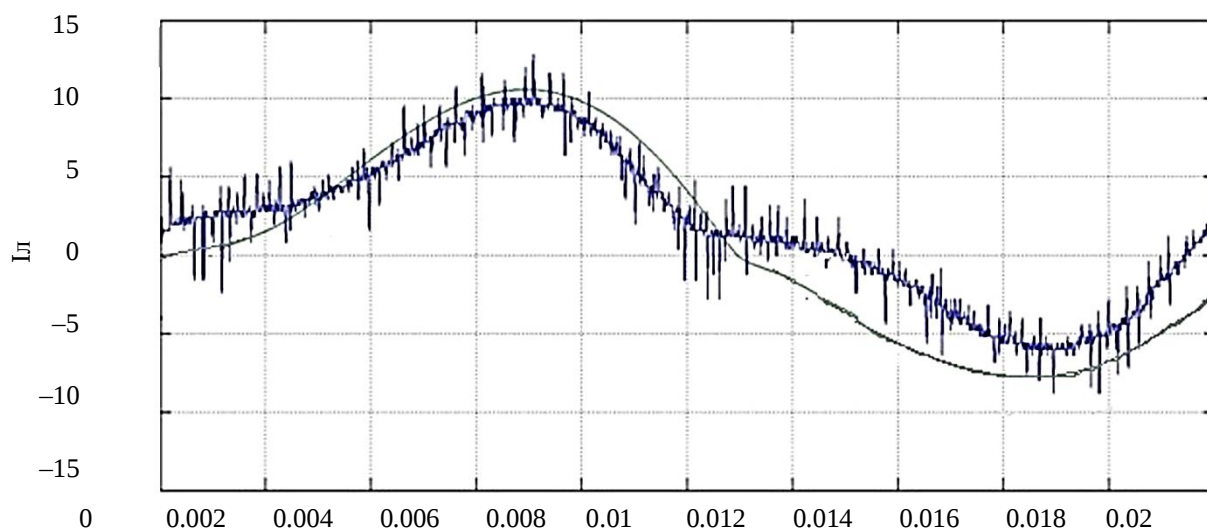


Рис. 4 – Ошибка моделирования по току

Список литературы:

1. Клыков М.Е. Моделирование электрических цепей с натриевыми лампами высокого давления / М.Е. Клыков, О.Г. Корягин, А. Е. Краснопольский // Светотехника. – 2003. – № 4. – С. 2–6.
2. Кончуковский Д.А. Моделирование электрических параметров газоразрядной лампы высокого давления / Д.А. Кончуковский // Электротехника, электроэнергетика. – №1. – 2010. – С. 72–77.
3. Семенов А.Д. Экспериментальная апробация математической модели натриевых ламп высокого давления / А.Д. Семенов, А.В. Волков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 1. – С. 136–139.
4. Кончуковский Д.А. Моделирование электрических параметров газоразрядной лампы / Д.А. Кончуковский // Светотехника. – 2009. – №4. – С. 12–15.

05.13.18

А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва
 Институт электроники и светотехники,
 кафедра электроники и наноэлектроники,
 Саранск, elsoldador@rambler.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ ПЕРЕМЕННЫХ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В данной статье рассматривается возможность построения математической модели натриевой лампы высокого давления в пространстве состояний, модель включает в себя набор переменных входа, выхода и состояния, связанных между собой дифференциальными уравнениями первого порядка. Применение такого способа описания исследуемого объекта позволяет расширить сферу применения и уточнить начальные представления о процессах, которые в нем происходят.

Ключевые слова: математическая модель, натриевая лампа, система, давление.

Существует несколько подходов для моделирования работы натриевой лампы. Математические концепции разработаны на основе анализа причинно-следственных связей между параметрами и содержат физически определенные константы и регулируемые коэффициенты, которые оцениваются косвенно из полученных экспериментальных данных.

Комбинированный подход представляется наиболее продуктивным: физически обоснованные модели, которые трансформируются в более простые соотношения, которые адаптируются к эмпирическим данным посредством регрессионного анализа.

Дифференциально-математические модели позволяют учитывать начальные условия развития разряда, а также инерцию его дальнейшего процесса развития внутри лампы.

Для ламп высокого давления приемлемые результаты получены с помощью модели [2,3], отображенной системой двух нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка (1):

$$\begin{cases} \frac{dg_{\text{л}}}{dt} = A_{\text{л}} U_0^2 \frac{\left(\frac{i_{\text{л}}}{\beta U_0}\right)^2 - g_{\text{л}}^2}{1 + k_1 \left(\frac{|i_{\text{л}}|}{\beta g_{\text{л}} U_0} - 1\right)}, \\ \frac{d\beta}{dt} = \left[k_2 + k_3 \left(\frac{|i_{\text{л}}|}{\beta g_{\text{л}} U_0}\right)^{k_4} \right] \cdot \left[1 + k_1 \left(\frac{|i_{\text{л}}|}{\beta g_{\text{л}} U_0} - 1\right) - \beta \right], \end{cases} \quad (1)$$

где $g_{\text{л}}$ – приведенная проводимость лампы, учитывающая среднее значение концентрации электронов;

β – безразмерный коэффициент, изменяющийся во времени и учитывающий подвижность электронов;

$i_{\text{л}}$ – ток, протекающий через лампу;

U_0 – номинальное напряжение на лампе;

$A_{\text{л}}$ – коэффициент, определяемый конструкцией лампы;

k_1 – k_4 – электрические коэффициенты, определяемые для конкретного типа лампы.

В качестве примера рассмотрим лампу ДНаЗ-600, для которой:

$$k_1 = 0,6; k_2 = 1,5 \cdot 10^4; k_3 = 3 \cdot 10^4; k_4 = 1,5; U_0 = 135; A_{\text{л}} = 5,5.$$

Именно эти процессы оказывают существенное влияние на основной параметр лампы – ее эквивалентную электрическую проводимость.

Проводимость лампы $G_{\text{л}}$ может быть определена выражением

$$G_{\text{л}} = \beta g_{\text{л}}. \quad (2)$$

При питании лампы через индуктивный дроссель уравнения лампы (1) и (2) следует дополнить уравнением по закону Кирхгофа для напряжений с учетом того, что все элементы соединены последовательно и через них протекает один и тот же ток:

$$e_c(t) = Ri_{\text{л}} + L \frac{di_{\text{л}}}{dt} + U_{\text{л}}, \quad (3)$$

где $e_c(t) = E_m \sin(\omega t + \alpha)$ – напряжение питающей сети;

L , R – соответственно индуктивность и активное сопротивление ограничительного дросселя.

Для представления этого уравнения в форме Коши выразим производную от тока лампы через переменные состояния и задающие величины источников питания:

$$\frac{di_{\text{л}}}{dt} = \frac{1}{L} [e_c(t) - Ri_{\text{л}} - U_{\text{л}}]. \quad (4)$$

Модификация базовой модели переходных процессов в связке НЛВД – дроссель. Взята за основу дифференциально-алгебраическая модель НЛВД уравнения (1). Для уменьшения влияния ошибок округления и достижения размерности различных переменных целесообразно перейти к безразмерным величинам:

$$\bar{t} = \frac{t}{T_0}; x_1 = \frac{g_{\text{л}}}{g_0}; x_2 = \beta; x_3 = \frac{i_{\text{л}}}{I_0}; y_1 = x_3; y_2 = \frac{u_{\text{л}}}{U_0} = \frac{x_3}{x_1 x_2}; \quad (5)$$

$$y_3 = \frac{G_{\text{л}}}{G_0} = x_1 x_2; y_4 = \frac{P_{\text{л}}}{P_0} = \frac{u_{\text{л}} i_{\text{л}}}{U_0 I_0} = \frac{x_3^2}{x_1 x_2}; w = \frac{u_c}{U_0}, \quad (6)$$

где T_0 , P_0 , U_0 , I_0 , g_0 , G_0 – характерные значения соответствующих электрических параметров.

После несложных преобразований можно получить следующую модель нестационарных режимов работы комплекта НЛВД – дроссель с использованием пространства состояний:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = A_{\text{л}} T_0 P_0 \frac{\left[\left(\frac{x_3}{x_2} \right)^2 - x_1^2 \right]}{\left[1 + k_1 \left(\frac{|x_3|}{(x_1 x_2) - 1} \right) \right]}, \\ \frac{dx_2}{dt} = \left[k_2 + k_3 \left(\frac{|x_3|}{(x_1 x_2)} \right)^{k_4} \right] \left[1 + k_1 \left(\frac{|x_3|}{(x_1 x_2)} - 1 \right) - \beta \right], \\ \frac{dx_3}{dt} = \left(\frac{T_0}{(L P_0)} \right) \left(\frac{U_0^2 w - P_0 R x_3 - U_0^2 x_3}{(x_1 x_2)} \right); \end{cases} \quad (7)$$

$$y_1 = x_3; y_2 = \frac{x_3}{(x_1 x_2)}; y_3 = x_1 x_2; y_4 = \frac{x_3^2}{(x_1 x_2)}. \quad (8)$$

Здесь $x_i = x_i(t)$, $i = \overline{1,3}$ – фазовые переменные (переменные состояния); $y_j = y_j(t)$, $j = \overline{1,4}$ – выходные (наблюдаемые) переменные (ток, напряжение, проводимость и мощность лампы); $w = w(t)$ – входное (возмущающее) воздействие; t – время, $t \in [0; T]$; T – длительность промежутка времени, в котором изучается процесс. При расчетах конкретных процессов рассмотренная модель (7), (8) дополняется начальными условиями:

$$x_i(0) = x_{i0}, i = \overline{1,3}. \quad (9)$$

Дифференциальная система (7) является по существу нелинейной и содержит операции деления на фазовые переменные, одна из которых – x_1 – может принимать физические значения, близкие к нулю, что вызывает локальную неустойчивость решения системы. Другими словами, дифференциальная система локально жесткая.

Рассмотрим математическую модель натриевой лампы, построенную на основе (1) с учетом уравнений (4)–(6). Она усовершенствована и будет применяться во всех последующих алгоритмах для идентификации параметров НЛВД. Полученное уравнение имеет вид [1,4]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{1}{L} \left[U_s - \left(\frac{1}{x_2 x_3} + R \right) x_1 \right], \\ \frac{dx_2}{dt} &= A_l U_0^2 x_2^2 \frac{\left(\frac{x_1}{U_0 x_2 x_3} \right)^2 - 1}{1 + k_1 \left(\frac{|x_1|}{U_0 x_2 x_3} - 1 \right)}, \\ \frac{dx_3}{dt} &= \left[k_2 + k_3 \left(\frac{|x_1|}{U_0 x_2 x_3} \right)^{k_4} \right] \left[1 + k_1 \left(\frac{|x_1|}{U_0 x_2 x_3} - 1 \right) - x_3 \right], \end{aligned} \right. \quad (10)$$

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.

Параметры модели для конкретного типа лампы могут быть рассчитаны или определены экспериментально. Чтобы проверить несоответствие между результатами моделирования и экспериментальными исследованиями, проведем проверку ошибок моделирования с помощью программы MATLAB.

Расхождение с экспериментальными данными составляет менее 10%, что является приемлемым результатом для моделирования.

Незначительные ошибки моделирования свидетельствуют об адекватности полученной математической модели. Она является нелинейной и характеризуется восемью параметрами, определение которых по экспериментальным данным для последующего контроля представляет собой сложную задачу параметрической идентификации нелинейного объекта.

Список литературы

1. Волков А.В. Автоматизация системы отбраковки ламп высокого давления / А.В. Волков, А.В. Троянский // В сборнике: Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 44-48.
2. Клыков М.Е. Моделирование электрических цепей с натриевыми лампами высокого давления / М.Е. Клыков, О.Г. Корягин, А.Е. Краснополянский // Светотехника. – 2003. – № 4. – С. 2–6.
3. Кончуковский Д.А. Моделирование электрических параметров газоразрядной лампы высокого давления / Д.А. Кончуковский // Электротехника, электроэнергетика. – №1. – 2010. – С. 72–77.
4. Семенов А.Д. Экспериментальная апробация математической модели натриевых ламп высокого давления / А.Д. Семенов, А.В. Волков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 1. – С. 136-139.

05.13.18

Г.Н. Гусев, В.В. Епин

Институт механики сплошных сред Уральского отделения РАН,
Отдел комплексных проблем механики деформируемого твердого тела,
Пермь, gusev.g@icmm.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ НА ЖИЛОЕ ЗДАНИЕ. ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ, НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В статье описан натурный эксперимент по анализу вибрационного отклика пятиэтажного жилого здания на заданную транспортную нагрузку. Создана численная математическая модель системы «здание – грунтовое основание – источник вибрационного воздействия». На основе данных эксперимента и модели проведена оценка технического состояния строительного объекта. Представленный алгоритм оценки может являться инструментом прогнозирования изменения напряженно-деформированного состояния системы и выявления дефектов в несущих конструкциях.

Ключевые слова: вибрационный мониторинг, оценка напряженно-деформированного состояния сооружения, математическая модель, прогноз.

В процессе эксплуатации, здания подвергаются воздействию вибрации, как естественной (связанной с такими явлениями, как ветер или землетрясение), так и техногенной (вызванной деятельностью человека, например строительными работами, движением транспорта) природы. Вибрация может стать причиной повреждения конструкции здания, снизив ее эксплуатационную надежность: уменьшить устойчивость, ухудшить несущую способность. Признаками снижения эксплуатационной надежности является появление трещин, оторванных от несущего каркаса элементов и т.п. Появление дефектов существенно меняют амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) как всего сооружения, так и отдельных его частей. Поэтому вибрацию сооружений следует постоянно или периодически контролировать, чтобы определить, насколько действующие вибрационные нагрузки изменяют АЧХ объекта и напрямую свидетельствуют об эволюции дефектов и снижении его несущей способности [1,2].

Целью описанной научно-исследовательской работы явилась оценка уровня вибрационного воздействия на Объект – жилое здание от транспортного потока, проходящего по смежным со зданием улицам, и отклика сооружения на него. Экспериментальное исследование длилось чуть более года и включало в себя два этапа измерений – лето 2018 года и лето 2019 года. Измерения были разнесены во времени, чтобы показать или опровергнуть явление накопления дефектов в конструкции сооружения и эволюцию вибрационного отклика.

Рассматриваемое здание - пятиэтажное, с подвальным этажом, с встроенными помещениями общественного назначения на первом этаже. Стены кирпичные, фундаменты железобетонные, перекрытия деревянные.

Источником вибрации является транспортный поток, проходящий через лежащий полицейский вблизи одного из углов здания. В качестве зон контроля вибрационного воздействия на здание выбраны помещения: подвала в здании в зоне третьего подъезда – угол здания; чердачное помещение в зоне углового подъезда; квартиры на 3-ем, 4-ом и 5-ом этажах соответственно.



а)



б)

Рис. 1 - Аппаратно-программный комплекс для вибро-измерений:

а) сейсмостанция, блок сбора информации, сейсμοприемники;

б) сейсμοприемник на точке измерения

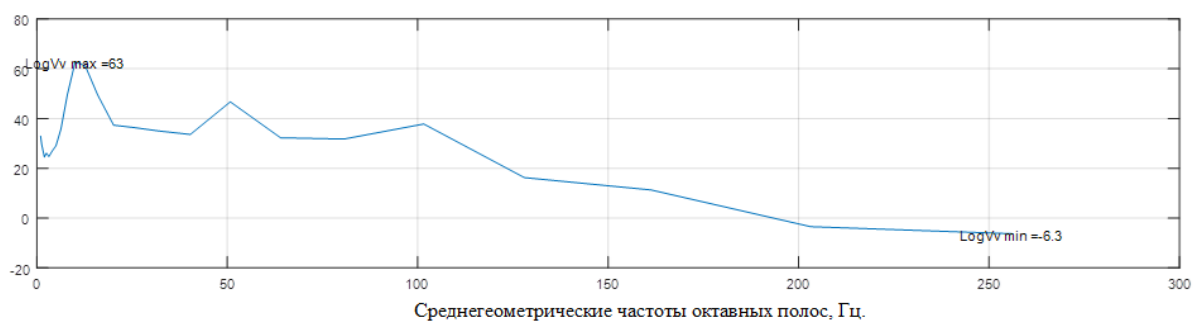
В качестве измерительной аппаратуры были использованы следующие приборы и устройства: сейсмостанция ZET 048-E, производства компании ООО «ЭТМС»; сейсμοприемники ВС 1313; портативный персональный компьютер; набор экранированных кабелей и элементов питания и устройства позиционирования и крепления сейсμοприемников.

В качестве контролируемых параметров выступили виброускорения, считываемые с элементов конструкции здания посредством аппаратного комплекса в диапазоне частот от 0,3 до 400 Гц. Неравномерность АЧХ составила порядка ± 1 дБ. Уровень СКЗ (среднеквадратических значений) контролируемых параметров составил порядка 4×10^{-5} м/с². Основная погрешность выявлена в пределах 4%.

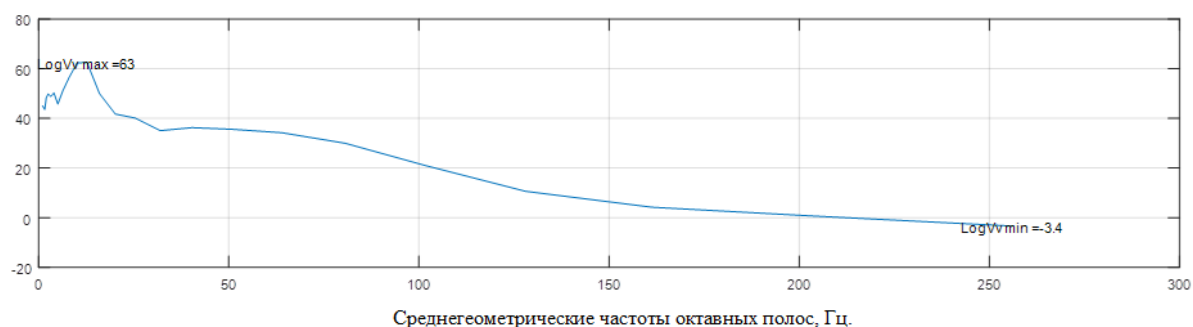
Для контроля уровня влияния фоновой вибрации на непосредственные измерения импульсного воздействия для точек контроля вибрации были измерены уровни фонового воздействия, которые для описанных помещений колебались в пределах 33 – 35 дБ.

Время измерений выбиралось из условия наличия наиболее интенсивного воздействия транспортного потока. Также были проведены измерения вибрации от заданного воздействия. В течение часа по прилегающим улицам курсировал автомобиль КАМАЗ, загруженный щебнем (в том числе непосредственно в зоне проведения измерений).

На первом этапе эксперимента – лето 2018 г.: максимальное пиковое значение вертикальной составляющей виброскорости для фундаментных конструкций здания составило 0,38 мм/с; максимальное пиковое значение горизонтальной составляющей виброскорости для конструкций здания составило 1,9 мм/с; максимальное значение логарифмического уровня СКЗ виброскорости для конструкций здания составило 63 дБ. На втором этапе эксперимента – лето 2019 г.: максимальное пиковое значение вертикальной составляющей виброскорости для фундаментных конструкций здания составило 0,35 мм/с; максимальное пиковое значение горизонтальной составляющей виброскорости для конструкций здания составило 2,1 мм/с; максимальное значение логарифмического уровня СКЗ виброскорости для конструкций здания составило 62 дБ. Существенного изменения АЧХ Объекта за прошедший год зафиксировано не было, что косвенно говорит об отсутствии эволюции дефектов и сохранении несущей способности.



а)



б)

Рис. 2 - Графики Log10 уровней СКЗ виброскоростей в одной из точек измерений – перекрытия 3-го этажа, дБ: а) результаты анализа и обработки прямых измерений; б) результаты анализа и обработки численного эксперимента в построенной математической модели

Также по результатам исследования в программном комплексе ANSYS 17.1 была построена математическая модель системы «здание – грунтовое основание – источник вибрационного воздействия», которая впоследствии была верифицирована. На модели отрабатывались возможные сценарии изменения АЧХ объекта при эволюции дефектов и прогнозировалось снижение несущей способности, как отдельных частей сооружения, так и всего здания в целом. Результаты сравнения АЧХ объекта представлены на рисунке 2. Совпадение логарифмических уровней СКЗ виброскоростей составило доли процента, что позволяет оперировать данными модели и использовать модель для долгосрочного прогнозирования (с условием периодической верификации).

Разработан алгоритм оценки изменения несущей способности сооружений, который включает в себя периодические натурные измерения АЧХ строительной конструкции, создание на базе технического обследования и проведенных измерений математической модели здания, последующую ее периодическую верификацию и моделирование различных сценариев поведения объекта под действием вибрационного воздействия.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар. ВИБРАЦИЯ ЗДАНИЙ. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию».
2. ГОСТ Р 22.1.12-2005 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования.
3. Шардаков И.Н., Шестаков А.П., Гусев Г.Н., Цветков Р.В. Динамическое деформирование железобетонной конструкции // XXI Зимняя школа по механике сплошных сред. Тезисы докладов, 2019. С. 330.
4. Епин В.В., Цветков Р.В., Шардаков И.Н. Деформационный мониторинг фундаментов зданий методом гидростатического нивелирования // Инженерно-строительный журнал, №3, 2015 — С. 21–28.

05.13.18

Г.Н. Гусев, В.В. Епин

Институт механики сплошных сред Уральского отделения РАН,
Отдел комплексных проблем механики деформируемого твердого тела,
Пермь, gusev.g@icmm.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕРГИВАНИЯ АРМАТУРНОГО СТЕРЖНЯ ИЗ БЕТОННОГО ОБРАЗЦА

Работа посвящена описанию проведенного численного эксперимента по оценке сил предельного сцепления арматурного стержня, погруженного в бетонный образец. Представлена численная математическая модель бетонного цилиндра заданных размеров с погруженным в него арматурным стержнем. Проведена серия вычислительных экспериментов по моделированию выдергивания арматурного стержня из бетонного образца с учетом механизмов разрушения тела бетона и реализации в арматурном стержне пластических деформаций.

Ключевые слова: математическая модель, железобетонная конструкция, армирование, несущая способность, ANSYS.

Эксплуатационный ресурс железобетонных конструкций во многом определяется параметрами, характеризующими появление необратимых деформаций. Сложность эволюции деформационных процессов в железобетонных конструкциях от начального консервативного состояния к конечному - критическому обусловлена особенностями деформационных свойств бетона и стальной арматуры, а также их конструктивным взаимодействием. Построение численных моделей, достоверно описывающих процессы трещинообразования и развития трещин в железобетоне, позволяет оценивать несущую способность и ресурс прочности того или иного конструктивного элемента без привлечения дорогостоящих натурных экспериментов.

Установлено, что в эволюции процесса трещинообразования в железобетонных конструкциях доминирующую роль играет механизм разрушения связей между арматурой и бетоном. В настоящей работе представлена конечно-элементная модель процесса образования трещин в зоне взаимодействия стальной арматуры и бетона. Математическое моделирование деформационного процесса, включающего этап трещинообразования, осуществлено в рамках феноменологических подходов механики деформированного твердого тела. В использованном подходе процесс трещинообразования моделировался как резкое снижение жесткости материала (бетона) в локализованной области с использованием модели Вильяма-Варнке. Направление распространения локализованной области с пониженной жесткостью, место расположения этой области, а также закономерности снижения жесткостных характеристик материала определялись на основе критериальных тензорных соотношений. Необходимо также отметить, что в качестве закона деформирования материала для арматурной стали был выбран закон изотропного упрочнения.

Расчетная область в модели представляет собой осесимметричный элемент бетонной конструкции с одним арматурным стержнем внутри. Тело арматурного стержня в модели максимально детализировано. Моделируется процесс выдергивания стержня из тела бетона [1]. Написанный в программном комплексе ANSYS код, позволяет параметризовать решаемую задачу, варьируя как геометрические характеристики модели в целом, так и физико-механические параметры материалов [2].

Анализируются сопутствующие этому процессу явления в построенной модели. Проведено сравнение результатов квазистатического расчета и решения, учитывающего силы инерции. В качестве обоснования целесообразности учета сил инерции приводится оценка вклада кинетической энергии в момент трещинообразования в общую механическую энергию системы.

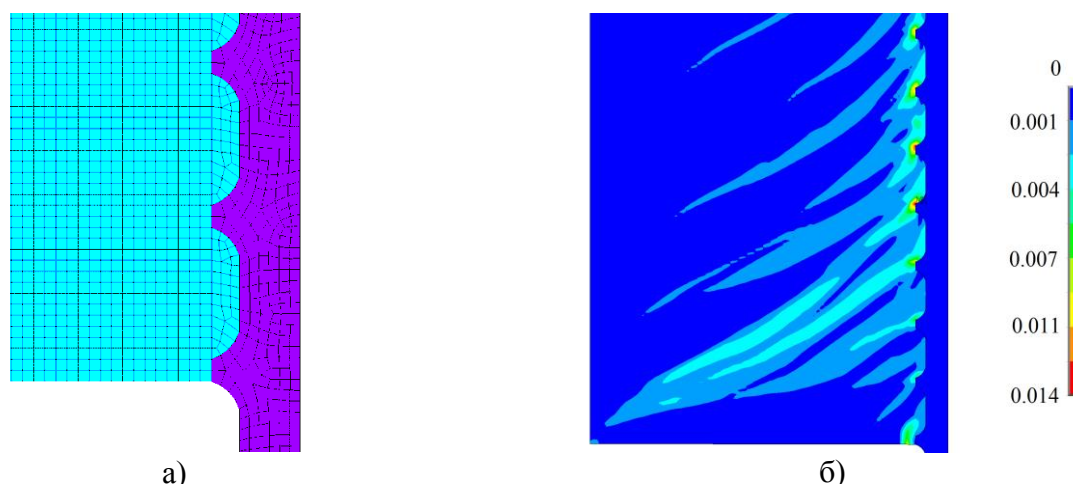


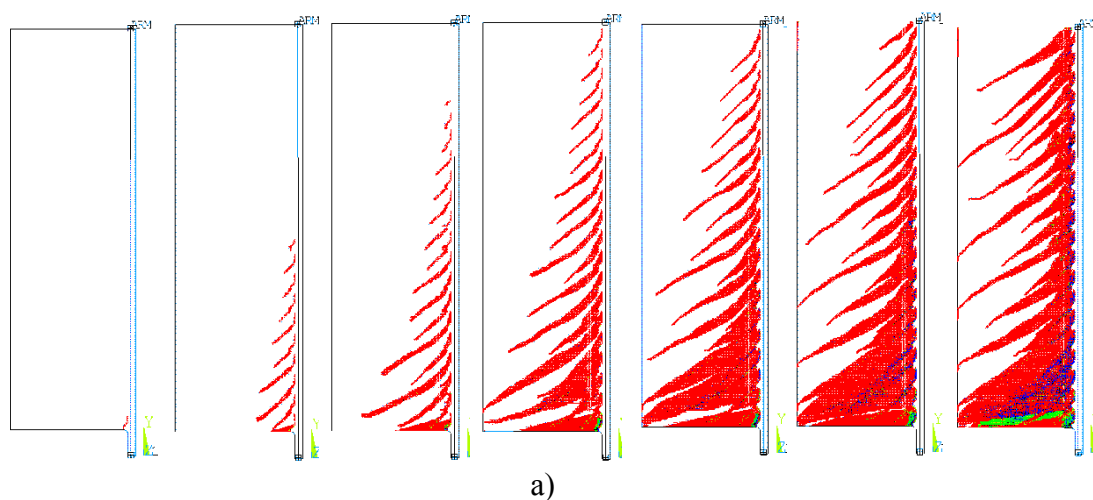
Рис. 1 - Конечно-элементная модель стального арматурного стержня и бетонного цилиндра:
а) конечно-элементная сетка; б) изополя интенсивности общих деформаций на промежуточном шаге решения

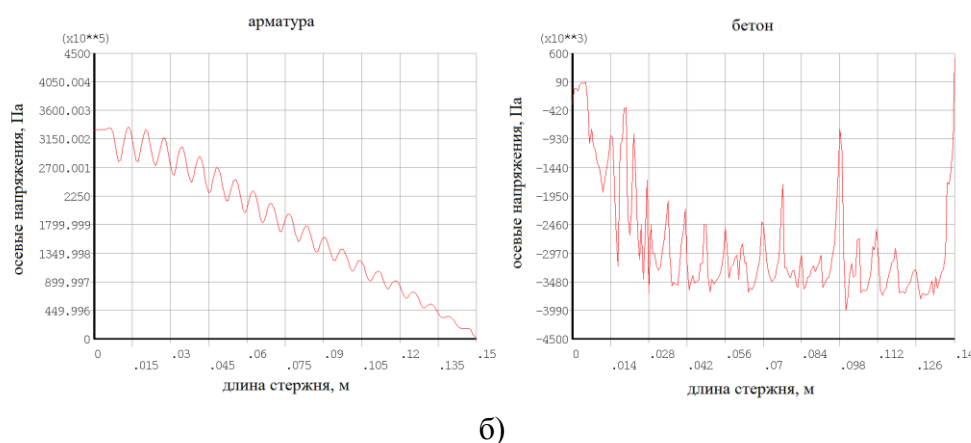
Анализ результатов проведенных серий расчетов для различных вариантов геометрии арматурных стержней и вариации их физико-механических характеристик позволил выявить механизм зарождения и развития фронта разрушения бетонного тела цилиндра по границе контакта с армирующим стержнем.

Сделан вывод о том, что величина максимальной удерживающей силы, которая и определяет предельное усилие выдергивания, слабо зависит от длины погруженного стержня и профиля его сечения, а в большей степени определяется физико-механическими характеристиками бетона и стали.

Физико-механические характеристики арматурного стержня, а именно предел пластичности и закон деформирования, существенным образом определяют положение области зарождения разрушения на границе сопряжения стержня с бетоном, характер движения фронта разрушения вдоль границы или же локализацию области образования трещин с последующим разрывом и выдергиванием самой арматуры.

По результатам анализа экспериментальных данных составлены номограммы зависимости силы предельного сцепления в зависимости от различных вариантов материала арматурной стали и профилей арматурных стержней. Численные эксперименты по выдергиванию стержней проведены для различных по свойствам вариантов бетонных цилиндров.





б)

Рис. 2 - Результаты численного моделирования: а) характер развития фронта разрушения на границе арматура-бетон; б) эпюры распределения осевых напряжений вдоль границы арматура-бетон со стороны стержня и тела бетона в отдельности.

Также по результатам исследования в программном комплексе ANSYS 17.1 был написан программный код, который позволяет учитывать результаты определения предельного усилия выдергивания арматуры для расчета железобетонных сооружений в целом. Программа позволяет задавать закон сцепления арматуры и бетона на масштабах большего порядка для корректной оценки несущей способности конструкций в целом и прогнозирования механизма их разрушения в объеме совокупности конструктивных элементов.

Разработанный алгоритм расчета предельной силы сцепления арматуры и бетона лег в основу серии экспериментов на полномасштабной модели железобетонной конструкции, которая в условиях экспериментального стенда подвергалась разрушению под действием статических нагрузок [3].



Рис. 3 - Железобетонная модель строительной конструкции на экспериментальном стенде ИМСС УрО РАН, г. Пермь. Высота модели 8 м. Модель находится внутри силовой рамы стенда (рама показана желтым цветом).

Список литературы

1. ГОСТ Р 56731-2015 Анкеры механические для крепления в бетоне. Методы испытаний.
2. Гусев Г.Н., Шардаков И.Н., Шестаков А.П. Численное моделирование процессов образования трещин при взаимодействии стальной арматуры и бетона в железобетонных конструкциях // В сборнике: Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций Сборник материалов. 2016. С. 66.
3. Шардаков И.Н., Шестаков А.П., Гусев Г.Н., Бартоломей М.Л., Кашевара Г.Г., Цветков Р.В., Глот И.О. Экспериментальный стенд для исследования особенностей предкритических и критических деформационных процессов в железобетонных конструкциях (математическое моделирование, структурная схема) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Т. 12. № 4. С. 163-175.

05.13.18

А.А. Каменских канд. техн. наук, А.П. Панькова

ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, anna_kamenskih@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ ГЕРЦА

В работе представлено численное моделирование деформационного поведения ряда современных антифрикционных полимерных материалов и композитов на их основе на примере задачи Герца. Установлено хорошее количественное и качественное соответствие численного и аналитического решения задачи. Установлено, что учет фрикционных свойств полимерных материалов оказывает не значительное влияние на контактное давление (приблизительно 0,0001 %). Учет упругопластической модели поведения антифрикционных материалов оказывает существенное влияние на радиус площадки контакта (в среднем больше на 25 %). В связи с этим уровень контактного давления снизился в среднем на 45%, а уровень контактного касательного напряжения снизился приблизительно в 2 раза.

Ключевые слова: антифрикционный материал, задача Герца, полимер, композиционный материал, эксперимент, контакт, трение.

В настоящее время существует большой набор полимерных материалов российского и зарубежного производства, пригодных к использованию в качестве антифрикционных покрытий и прослоек в узлах конструкций, работающих в рамках контактного взаимодействия с трением. Такие материалы находят широкое применение в авиационной технике, строительстве, медицине, машиностроении и других областях. К современным антифрикционным полимерным материалам можно отнести [1, 2]: композиционные антифрикционные полимерные материалы на основе фторопласта, модифицированный фторопласт, сверхвысокомолекулярные полиэтилены (СВМПЭ) российского и зарубежного производства и композиционные материалы на их основе. Решение задач о деформационном поведении конструкций с антифрикционными покрытиями и прослойками предполагает наличие информации о свойствах и структуре материалов [2]. До сих пор отмечается недостаточность информации о свойствах исследуемых материалов [2-3], что сдерживает их эффективность в использовании во многих сферах промышленности. Актуальными направлениями исследования до сих пор остается определение свойств полимерных материалов в рамках экспериментов, построение моделей их поведения, а так же численное моделирование их напряженно-деформированного состояния на тестовых задачах и модельных образцах.

В работе рассмотрено влияние свойств антифрикционных полимерных материалов на параметры зоны контакта на примере задачи Герца о деформировании жестким сферическим штампом полупространства. Материал полупространства – полимер, материал сферического индентора – сталь. Радиус сферического индентора 1 м, сила индентирования 1,5 МН. Задача Герца имеет известное аналитическое решение. В качестве материалов полупространства рассмотрен набор современных антифрикционных материалов: СВМПЭ наполненный углеродом (Мат. 1); СВМПЭ производства Германии (Мат. 2); СВМПЭ производства России (Мат. 3); антифрикционный материал на основе фторопласта со сферическими (мат. 4) и дендритными (мат. 5) бронзовыми включениями и дисульфидом молибдена, модифицированный фторопласт (мат. 6). Физико-механические свойства антифрикционных материалов были получены экспериментально, научной группой ИМСС УрО РАН и ООО «Альфа-Тех» во главе с д.ф.-м.н. А.А. Адамовым [4]. На рис. 1 представлены упругие константы материалов и диаграмма $\sigma - \varepsilon$. В рамках натурных экспериментов современные антифрикционные полимерные материалы и композиты на их основе проявили нелинейное поведение. По этому в рамках модели поведения полимеров выбрана деформационная теория упругопластичности.

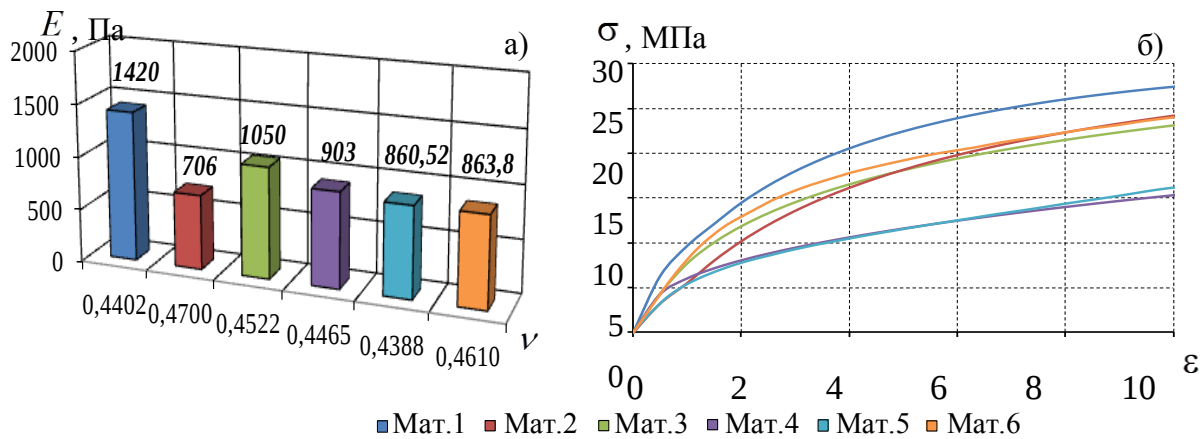


Рис. 1. Физико-механические свойства антифрикционных материалов:

а) упругие константы; б) диаграмма $\sigma - \epsilon$

На рис. 2 представлено сравнение результатов численного и аналитического решения задачи Герца для всех рассматриваемых материалов в рамках теории упругости без учета трения.

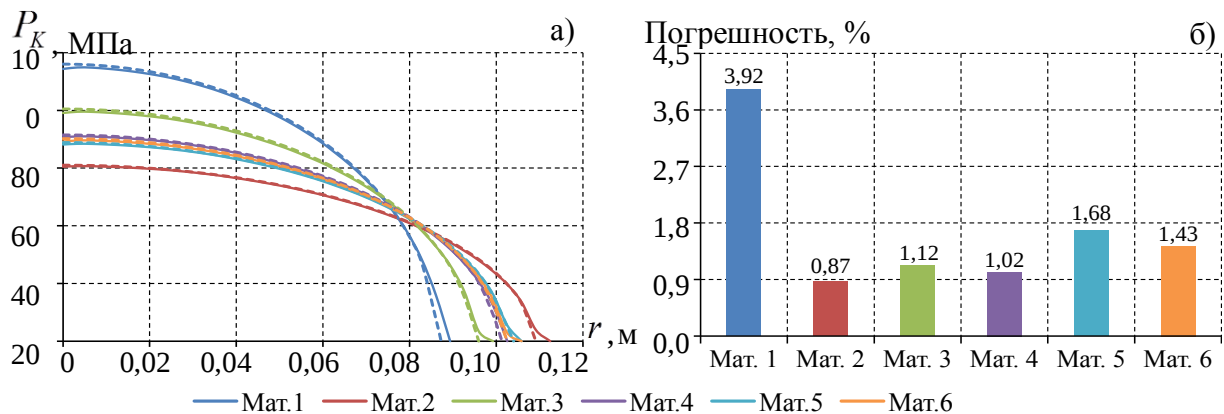


Рис. 2. Решения задачи Герца для разных материалов полупространства:

а) контактное давление; б) погрешность численного решения

сплошная линия – численное решение задачи

пунктирная линия – аналитическое решение задачи

В среднем погрешность не превышает $\approx 1,7\%$. Но можем заметить, что у полупространства из мат.1 погрешность численного решения больше, чем у других рассматриваемых материалов примерно на $\approx 2,6\%$.

Далее в задаче Герца был выполнен учет трения по сопрягаемым поверхностям. Коэффициент трения взят одинаковый для всех материалов 0,04, что соответствует справочным данным. На рис. 3 показаны распределения параметров контакта в задаче Герца при учете трения в упругой постановке.

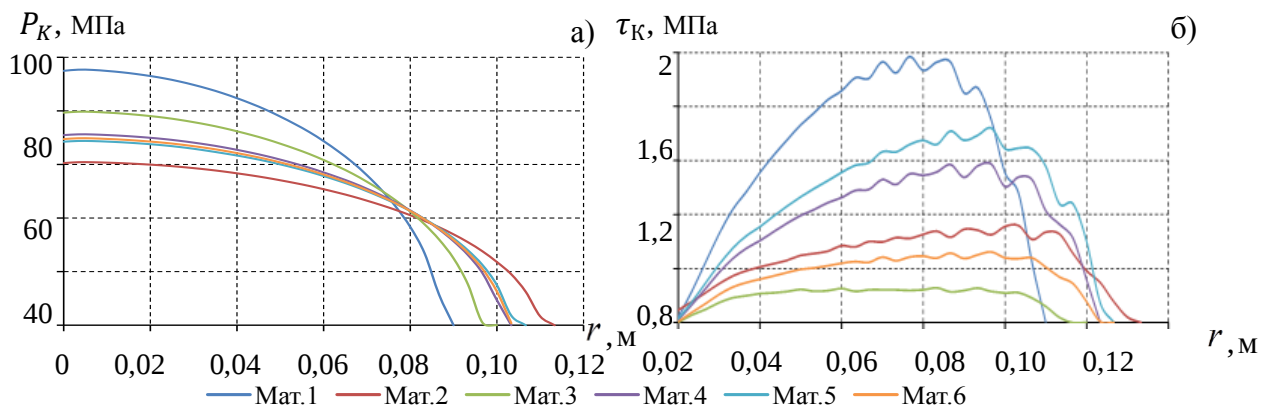


Рис. 3 Параметры зоны контакта при учете трения: а) P_K ; б) τ_K

Уровень контактного касательного напряжения в 50 раз ниже, чем уровень контактного давления. Учет трения в задаче оказывает незначительное влияние на уровень и характер распределения контактного давления (разница результатов решения в пределах 0,0001%).

Для описания моделей поведения полимерных материалов выбрана деформационная теория упругопластичности для случая активного нагружения. Следующим этапом исследования в задаче стал учет выбранных определяющих соотношений в модели задачи Герца (рис. 4).

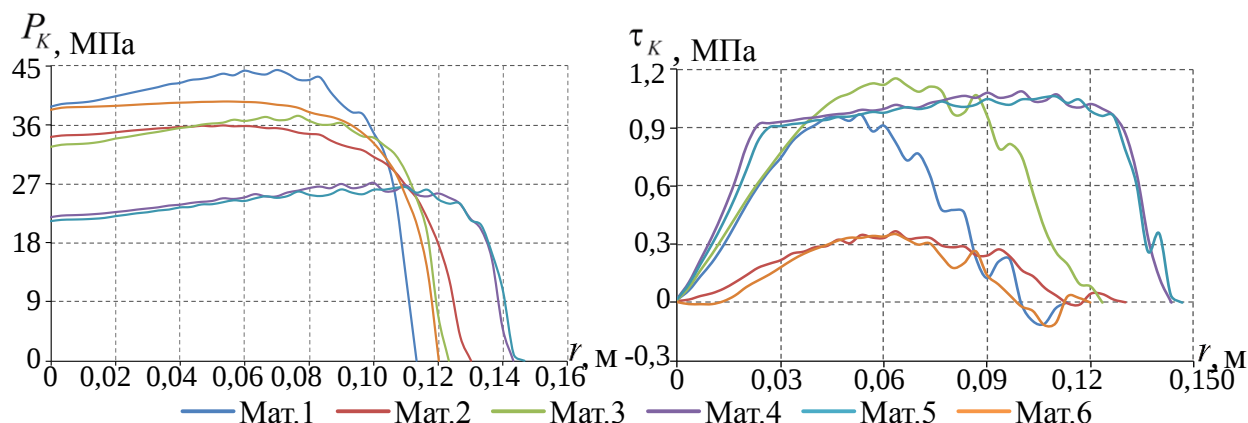


Рис. 4 Параметры зоны контакта (упругопластичность): а) P_k ; б) τ_k

Учет в задаче Герца упругопластического поведения материала полупространства оказывает значительное влияние на характер распределения параметров зоны контакта. С учетом упругопластического поведения материала полупространства $\max P_k$ ниже на ~50%, а средний уровень P_k меньше ~ на 45%. Данный эффект связан с увеличением радиуса площадки контакта из-за проявления упругопластических свойств материалов в среднем ~ на 25%. Максимальный уровень τ_k снизился практически в 2 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-08-00903).

Список литературы

1. Yi X.-S., Du S., Zhang L. Composite Materials Engineering, Volume 1: Fundamentals of Composite Materials. – Springer, 2018. – 765 p.
2. Адамов А.А. Экспериментальное обеспечение и идентификация модели изотропного тела с упругой объемной сжимаемостью дисперсно-наполненных композитов на основе фторопласта и сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Конструкции из композиционных материалов. – 2013. – № 2 (130). – С. 28-37.
3. Kamenskih A.A., Trufanov N.A. Regularities Interaction of Elements Contact Spherical Unit with the Antifrictional Polymeric Interlayer // Friction and Wear. – 2015. – Т. 36. – № 2. – Pp. 170-176.
4. Каменских А.А., Труфанов Н.А. Численный анализ напряженного состояния сферического контактного узла с прослойкой из антифрикционного материала // Вычислительная механика сплошных сред. – 2013. – Т. 6, № 1. – С 54 – 61.

05.13.18

В.В. Корепанов канд. физ.-мат. наукИнститут механики сплошных сред УрО РАН,
Пермь, kvv@icmm.ru**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СХЕМ,
НАПРАВЛЕННЫЙ НА ПОИСК МОМЕНТНЫХ ЭФФЕКТОВ**

На основе разработанного конечно-элементного алгоритма в рамках моментной теории упругости решены и проанализированы решения для двумерных и трехмерных краевых задач. Введен макропараметр, который может быть измерен в физическом эксперименте. Результаты сравнения решений в двумерной и трехмерной постановках позволяют определить границы применимости двумерных решений с позиций их приложений для соответствующих экспериментов по поиску моментных эффектов.

Ключевые слова: *моментная теория упругости, среда Коссера, моментные эффекты.*

Анализ работ по моментной теории упругости [1-2] выявляет, что результатов исследований экспериментально-теоретического плана, дающих надежный путь оценки физико-механических параметров материала, практически нет. Отсутствие таких работ, по-видимому, связано с тем, что эффект «отклика» моментных свойств материала на какой-либо экспериментально-измеряемый макропараметр может реализоваться при условиях пространственной неоднородности и высокой градиентности полей деформации, локализация которых характеризуется малым геометрическим масштабом. Необходимо отметить, что моментные эффекты следует ожидать в зонах концентрации напряжений, что означает дополнительные проблемы в постановке и реализации экспериментов. Поэтому необходимость решения новых задач моментной теории упругости связана как с расширением вычислительной базы для решения новых задач, так и с поиском новых схем экспериментов для установления фактов моментного поведения материалов при их упругом деформировании.

В ряде работ получены аналитические решения, дающие перспективы для постановки экспериментов, направленных на установление фактов моментного поведения материалов при их деформировании. Так, в работе [3] получено аналитическое решение для задачи о растяжении бесконечной пластины с круговым отверстием (задача Кирша). Из анализа решения данной задачи были установлены макропараметры [3], которые откликаются на моментные свойства материала и которые конструктивно экспериментально измеряемы. В задаче Кирша – это величина, характеризующая степень искажения контура кругового отверстия от действия одноосной нагрузки [3]. В работе [4] проведена оценка этого параметра для трехмерных задач в рамках моментной и симметричной теорий упругости.

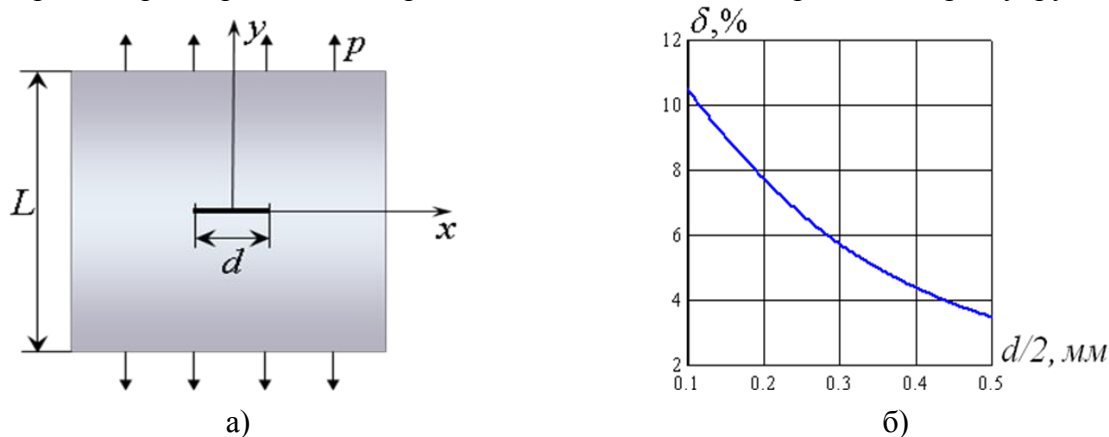


Рис. 1. – Задача о растяжении пластины с трещиной в двумерной постановке (а);
распределение меры отклика δ на моментные эффекты
в зависимости от размера трещины d (б).

В данной работе сначала рассмотрим двумерную задачу об одноосном растяжении пластины с центральной трещиной (рис. 1а). Здесь в качестве макропараметра D выбрано перемещение u_y в точке $x=0, y=0$, характеризующее раскрытие трещины.

В качестве меры отклика на моментные эффекты выбирается величина $\delta = (D - D^*)/D^* \cdot 100\%$, где D – решение в рамках моментной теории упругости, D^* – в рамках симметричной теории упругости. На рис. 1б [5] приведено распределение меры отклика δ в зависимости от линейного размера трещины. Эта мера возрастает при уменьшении длины трещины.

При использовании двумерных задач в качестве основы для моделей эксперимента возникают определенные вопросы.

Наиболее главный из них следующий – соответствие реального эксперимента гипотезам о плоско-деформированном или плоско-напряженном состояниях, на основе которых получены количественные оценки проявления моментных эффектов в двумерных задачах [3].

Поэтому возникла необходимость рассматривать трехмерную постановку задачи как в рамках симметричной, так и в рамках моментной теорий упругости, с тем, чтобы проанализировать влияние толщины пластины на решения, получаемые в зоне раскрытия трещины.

Продемонстрируем возможности численных экспериментов для моделирования и оценки этого фактора.

Для численной реализации задач моментной теории упругости используется вариационное уравнение для среды Коссера [6]:

$$\int_V (\tilde{\sigma} \cdot \delta \tilde{\gamma} + \tilde{\mu} \cdot \delta \tilde{\chi}) dV - \int_V (\bar{X} \cdot \delta \bar{u} + \bar{Y} \cdot \delta \bar{\omega}) dV = \int_S (\bar{p} \cdot \delta \bar{u} + \bar{m} \cdot \delta \bar{\omega}) dS \quad (1)$$

– геометрические соотношения:

$$\begin{aligned} \tilde{\gamma} &= \nabla \bar{u} - \tilde{E} \cdot \bar{\omega} \\ \tilde{\chi} &= \nabla \bar{\omega} \end{aligned} \quad (2)$$

– физические уравнения:

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma} &= (\mu + \alpha) \tilde{\gamma} + (\mu - \alpha) \tilde{\gamma}^T + \lambda I_1(\tilde{\gamma}) \tilde{g} \\ \tilde{\mu} &= (\gamma + \varepsilon) \tilde{\chi} + (\gamma - \varepsilon) \tilde{\chi}^T + \beta I_1(\tilde{\chi}) \tilde{g} \end{aligned} \quad (3)$$

где $\bar{X}$ – вектор объемных сил; $\bar{Y}$ – вектор объемных моментов; $\bar{u}$ – вектор перемещений; $\bar{\omega}$ – вектор поворота; $\tilde{\gamma}$ и $\tilde{\chi}$ – тензоры деформаций и изгиба-кручения; $\tilde{\sigma}$ и $\tilde{\mu}$ – тензоры напряжений и моментных напряжений; μ, λ – постоянные Ламе; $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ – физические постоянные материала в рамках упругой среды Коссера; $\tilde{E}$ – тензор Леви-Чивиты третьего ранга; $I_1(\cdot)$ – первый инвариант тензора; $\nabla(\cdot)$ – набла-оператор м2, $\alpha = 1.148 \cdot 10^8$ Н/м2, $\gamma = 4.1 \cdot 10^6$ Н, $\varepsilon = 1.312 \cdot 10^5$ Н; внешний размер пластины $L=W=20d$.

Рассмотрим теперь задачу о растяжении пластины с трещиной; $\tilde{g}$ – единичный тензор.

В расчетах значения материальных физических констант из соотношений (3) принимаются следующими [7]: $\lambda = 2.096 \cdot 10^9$ Н/м2, $\mu = 1.033 \cdot 10^9$ Н/ в трехмерной постановке (рис. 2).

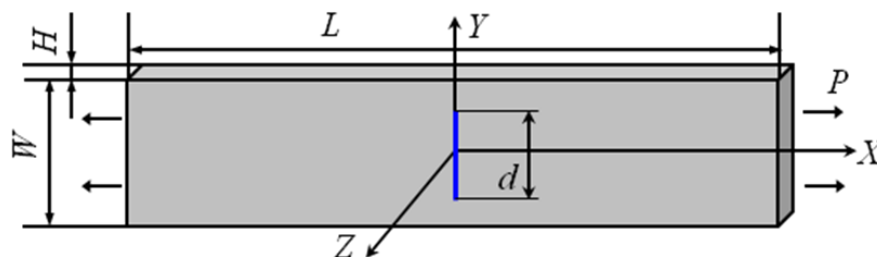


Рис. 2 – Задача о растяжении пластины с трещиной в трехмерной постановке

Результаты распределения макропараметра $D = ux(0;0;Z)$ по толщине пластины для $H=0.1$ мм приведены на рис. 3а для классической, а на рис. 3б для моментной теорий упругости, размер трещины $d=0.2$ мм. На рис. 3 пунктирная линия соответствует решению в двумерной постановке, а сплошная – в трехмерной.

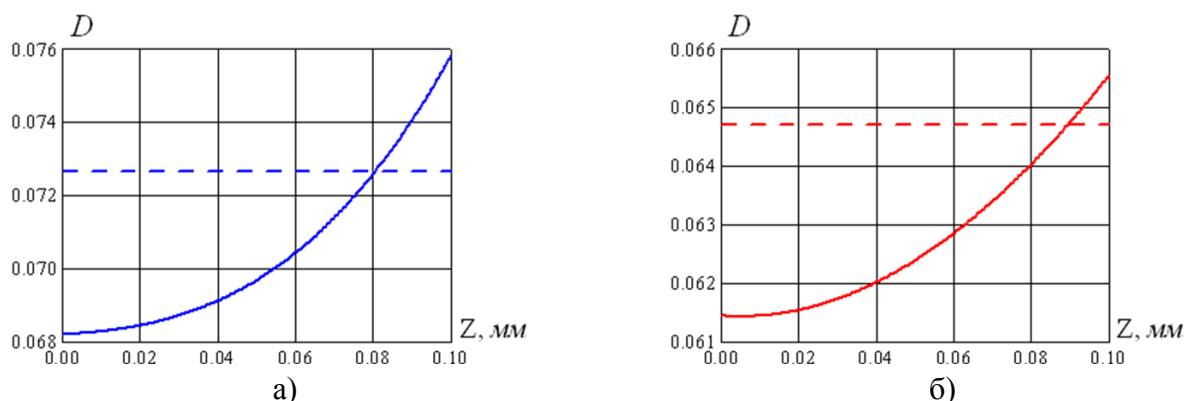


Рис. 3 – Решения в рамках симметричной (а) и моментной (б) теорий упругости

Все расчеты выполнены с помощью метода конечных элементов с использованием пакета программ ANSYS.

Результаты сравнения решений в двумерной и трехмерной постановках позволяют определить границы применимости двумерных решений с позиций их приложений для соответствующих экспериментов. Если расчеты, полученные в рамках трехмерной постановки, приводят к изменениям макропараметра D , которые находятся в пределах погрешности эксперимента, то двумерные решения приемлемы для интерпретации экспериментальных данных. Если данное условие не выполняется, то необходимо использовать результаты расчетов на основе трехмерных постановок задач и измерение макропараметра D необходимо приводить с учетом значений координаты Z .

Список литературы

1. Altenbach H., Maugin G.A., Erofeev V. Mechanics of Generalized Continua. - Springer, Berlin, Heidelberg. – 2011.
2. Онами М., Ивасимидзу С., Гэнга К. Сиодзава К., Танака К. Введение в микромеханику. – М.: Металлургия. - 1987.
3. Kulesh M.A, Matveenko V.P., Shardakov I.N. Construction and parametric analysis of analytical solutions to one and two-dimensional problems in couple-stress theory of elasticity // Z. Angew. Math. Mech. -2003. – Vol. 83, No 4. - P. 238-248.
4. Korepanov V.V., Matveenko V.P., Shardakov I.N. Finite element analysis of two- and three-dimensional static problems in the asymmetric theory of elasticity as a basis for the design of experiments // Acta Mechanica. - 2012.- V. 223, No. 8. - P. 1739–1750.
5. Корепанов В.В., Матвеев В.П., Шардаков И.Н. // Изв. РАН. МТТ. – 2008. – № 2. –С. 63-70.
6. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир. - 1975.
7. Lakes R.S. Experimental methods for study of Cosserat elastic solids and other generalized continua // Continuum models for materials with micro-structure / ed. H. Muhlhaus. - 1995. P. 1–22.

05.13.18

**Т.О. Корепанова канд. физ.-мат. наук, Е.А. Николаева канд. физ.-мат. наук,
И.А. Оборина канд. техн. наук**

Пермский военный институт войск национальной гвардии РФ,
кафедра общетехнических дисциплин,
Пермь, ton@icmm.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА–КОЛЬСКОГО

Рассмотрена термодинамика пластического деформирования в процессе высокоскоростного нагружения на разрезном стержне Гопкинсона–Кольского. Предложен экспериментальный подход к определению основных термодинамических характеристик.

Ключевые слова: разрезной стержень Гопкинсона–Кольского, термодинамика, микроструктура, высокоскоростное нагружение, баланс энергии.

Разрезной стержень Гопкинсона–Кольского [1] кроме своего основного применения для испытаний на сжатие или сдвиг является перспективной техникой для исследования термодинамических характеристик материалов при пластическом деформировании.

Предложенный в качестве экспериментальной техники в середине 20-го века, разрезной стержень до сих пор продолжает активно совершенствоваться. Разработанная техника однократного удара [2] позволяет изучать изменение микроструктуры материала в результате пластического деформирования. Определенный режим отжига медных образцов перед испытаниями обеспечивает повторяемость результатов испытаний всей серии образцов материала. Таким образом, в термодинамическое описание процесса, кроме классических деформационных характеристик, таких, как напряжение, деформация и выделившееся тепло, можно включить зависимость от некоторого параметра, характеризующего эволюцию структуры материала в процессе деформирования.

Эксперимент был спланирован авторским коллективом следующим образом. Серия цилиндрических образцов из чистой меди была отшлифована до чистоты Rz5 и отожжена в вакуумной печи при температуре 500°C. Все образцы подверглись высокоскоростному сжатию; по полученным диаграммам напряжение–деформация определялись работа A , выделенное тепло δQ , микроструктура, твердость и плотность. Затем эти же образцы подвергались повторному нагружению, и определялись все вышеперечисленные характеристики.

Длительность импульса нагружения на сжатие составляет около 80 мкс, образец не успевает обменяться теплом с окружающей средой, и тем самым обеспечиваются адиабатические условия эксперимента. В результате первого эксперимента на сжатие температура образцов меняется незначительно, в то время как заметное изменение температуры образцов происходит при последующих нагружениях. Этот факт находится в противоречии с общепринятым толкованием процесса пластического деформирования как диссипативного.

Измерения температуры образцов с помощью дифференциальных термопар показали, что термодинамические процессы в материале образца не заканчиваются сразу после его нагружения. В течение 6-10 секунд температура образца снижается приблизительно по линейному закону, затем начинается процесс остывания образца в атмосфере. Можно считать, что во все время деформирования распределение температуры по объему образца является однородным.

Длительность процесса деформирования на разрезном стержне Гопкинсона–Кольского (40-80 мкс) по порядку величины совпадает с тепловой постоянной времени поликристалла меди, в то время как следующий за ним процесс релаксации занимает гораздо больший промежуток времени. Это позволяет разделить процесс деформирования и последующую релаксацию образца по времени. Можно наблюдать изменение температуры образца до, во время и сразу после деформирования.

Во все время динамического сжатия в разрезном стержне Гопкинсона–Кольского образец подвергается однородному нагружению. Микроструктура поликристаллического образца меняется вследствие дробления и поворота зерен относительно друг друга. В момент снятия внешней нагрузки образец приходит в неравновесное состояние, и сразу в образце начинаются процессы релаксации, ведущие его к новому состоянию равновесия. Экспериментально было подтверждено, что в новом состоянии равновесия плотность материала та же, что и до деформирования. Напряжения в образце также релаксируют к прежнему состоянию, как показали измерения микротвердости. Макротвердость возрастает вследствие роста объема зернограницной фазы, поскольку индентор сминает все большее количество границ по мере измельчения зерен. По-видимому, появление свободных поверхностей зерен в результате их поворота и дробления приводит к ослаблению энергии связи поверхностных атомов, что является толчком к возникновению диффузионного массопереноса. Этот процесс, с одной стороны, блокирует обратное движение зерен, а с другой – увеличивает объем и поверхность зернограницной фазы. Соответственно, возрастает доля поверхностной энергии в общем энергетическом балансе. Это и есть запасание энергии в структуре материала.

Та часть скрытой энергии пластической деформации, которая расходуется на другие искажения, каковыми являются вакансии, межузельные атомы, дислокации, оцененная по результатам ряда работ, составляет не более 10%.

Авторами работы были выделены три этапа процесса деформирования образца. На рисунке представлена диаграмма баланса энергии образца как функция времени.

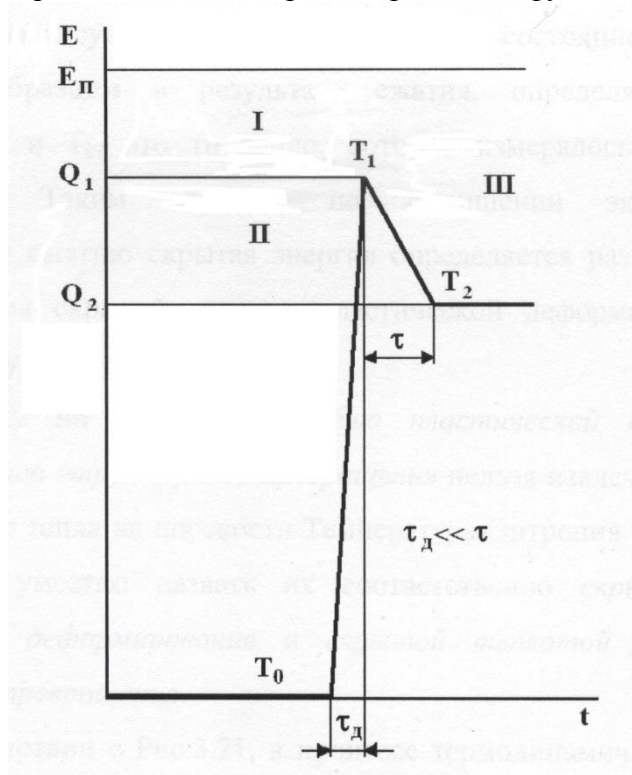


Рис. Энергетический баланс на этапах деформирования

В процессе релаксации происходит перераспределение внутренней энергии, которое неизбежно сопровождается изменением температуры. В начальном состоянии (до деформирования) температура образца T_0 равна температуре стержней. Деформирование образца продолжается в течение времени t_d , при этом температура образца меняется от T_0 до T_1 . Разность этих температур определяет Q_1 – нагрев образца во время сжатия. Соответственно, скрытая энергия пластической деформации определяется разностью работы ЕП, затраченной на пластическое деформирование, и выделенным теплом Q_1 (зона I на рисунке). Далее следует ниспадающий линейный участок T_1 – T_2 с характерным временем τ , и затем пологий участок, соответствующий процессу остывания образца в атмосфере. Продолжительность процесса деформирования намного меньше характерного времени: $t_d \ll \tau$.

Конечное состояние образца характеризуется выделенным теплом Q_2 . Непосредственно после завершения деформирования в течение примерно 10 с образец находится в неравновесном состоянии. По-видимому, в течение этого времени происходит диффузионный массоперенос, в результате которого заполняются пустоты, образовавшиеся в процессе деформирования. Линейность зависимости можно объяснить тем, что диффузионный процесс управляется абсолютной температурой образца, которая значительно превышает малые изменения температур, обусловленные деформационным процессом.

Таким образом, зона II на рисунке отражает скрытую энергию структурного превращения, которая, в свою очередь, определяется удельной плотностью поверхностной энергии γ и приростом площади свободной поверхности δP : $Q_1 - Q_2 = \gamma \delta P$.

Зона III на рисунке характеризует конечное состояние образца. Тепло, выделенное образцом в результате сжатия, определяется разностью температур T_2 и T_0 . Таким образом, по завершении эксперимента скрытая энергия определяется разностью ЕП и Q_2 . Это сумма скрытой энергии пластической деформации и скрытой энергии структурного превращения.

В результате измельчения зерен возрастает объем зернограницной фазы в поликристалле, и это имеет решающее значение для объяснения энергетического баланса пластически деформированного поликристаллического тела. Кажущееся уменьшение энтропии на самом деле должно быть компенсировано той ее частью, которая связана с ростом зернограницной фазы.

Масса диффундирующих атомов в виде линейной зависимости записывается в виде [3]: $m = K \exp(-\Delta G/RT)t$. Излом в точке $t = \tau$ означает окончание массопереноса. Соответствующую массу можно оценить по результатам измерений полной скрытой энергии, которая накапливается в зернограницной фазе. По справочному значению удельной плотности поверхностной энергии можно определить площадь свободной поверхности, а затем полный объем несплошностей. Соответственно, может быть найдена полная масса продиффундировавшего вещества, учитывая постоянство его плотности.

Таким образом, для определения свободной энергии Гиббса активации миграции границы достаточно провести измерения при нескольких существенно разных абсолютных температурах и непосредственно определить величину ΔG .

Список литературы

1. Kolsky H. Stress waves in solids. – Oxford: Oxford University Press, 1953.
2. Баранников В.А., Николаева Е.А. Роль зеренных границ в формировании энергетического баланса динамически нагруженной меди // Физ. мезомех. – 2008. – Т. 11, № 5. – С. 71-76.
3. Gleiter H. // Acta Met. – 1969. – Vol. 17. – P. 853.

05.13.18

В.Ю. Помелов, О.И. Поддаева канд. техн. наук, П.С. Чурин канд. техн. наук

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
кафедра физики и строительной аэродинамики,
Москва, PomelovVYU@mgsu.ru

ОЦЕНКА ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРУПНОГАБАРИТНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ СКЛАДСКИЕ ПОМЕЩЕНИЯ

В работе представлены результаты определения ветровой нагрузки на крупногабаритные промышленные складские помещения тремя различными способами – на основании справочных данных, по результатам математического и экспериментального моделирования, приведено сравнение результатов. Сделан вывод о необходимости проведения дополнительных исследований ветрового воздействия для зданий подобного типа.

Ключевые слова: ветровая нагрузка, математическое моделирование, экспериментальное моделирование, аэродинамический коэффициент

Требования к определению ветровых нагрузок на здания и сооружения повышенного уровня ответственности проектируемые на территории РФ меняются практически ежегодно [1]. Последнее актуальное Изменение №2 к СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» введено в действие 29.07.2019 г. Данное изменение внесло существенные поправки к разработке рекомендаций по назначению аэродинамических коэффициентов, необходимых для расчета ветровой нагрузки.

Более ранние редакции СП «Нагрузки и воздействия» (20.13330.2011 и 20.13330.2016 до введения [2]) предполагали возможность назначения аэродинамических коэффициентов с учетом данных имеющихся в научно-технической литературе, или же на основании рекомендаций специализированной организации. С введением [2] для всех зданий и сооружений повышенного уровня ответственности необходимо проведение физического (экспериментального) моделирования - испытаний в аэродинамических трубах или математического (численного) моделирования ветровой аэродинамики в современных верифицированных лицензионных программных комплексах вычислительной гидрогазодинамики.

При этом необходимо отметить, что большинство зданий и сооружений повышенного уровня ответственности по своей форме не отличаются или близки к примитивам, рассматриваемым в СП «Нагрузки и воздействия» и другой специализированной литературе, уровень ответственности таких объектов определяется принадлежностью к отдельным отраслям промышленности (атомная энергетика, гидротехнические сооружения, сооружения связи, объекты инфраструктуры воздушного и железнодорожного транспорта и др.) [1].

Таким образом возникает необходимость проведения дорогостоящих исследований даже для зданий, полностью соответствующих по форме, а соответственно и по характеру обтекания воздушным потоком, примитивам, существующим в нормативных документах с середины прошлого века.

Рассмотрим сравнение результатов определения аэродинамических коэффициентов на примере типовых крупногабаритных складов тремя актуальными на данный момент методами [3]:

- в соответствии с Приложением В СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»;
- на основании результатов экспериментального моделирования в аэродинамической трубе;
- на основании математического (численного моделирования) в программном комплексе вычислительной гидрогазодинамики.

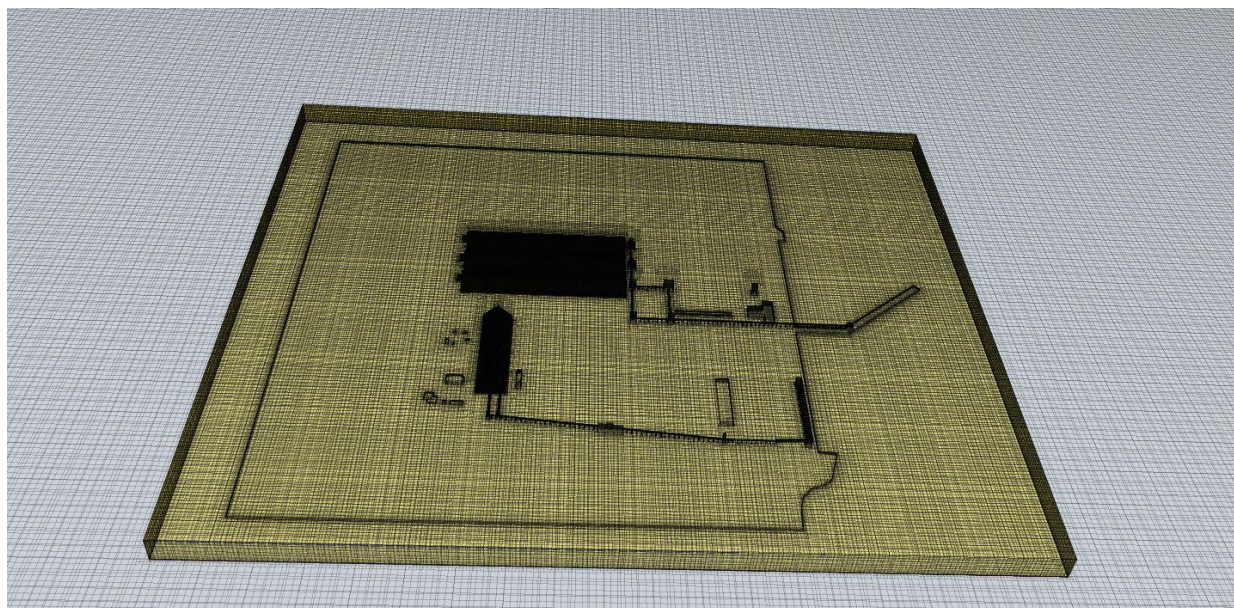


Рис. 3 – Общий вид расчетной сетки

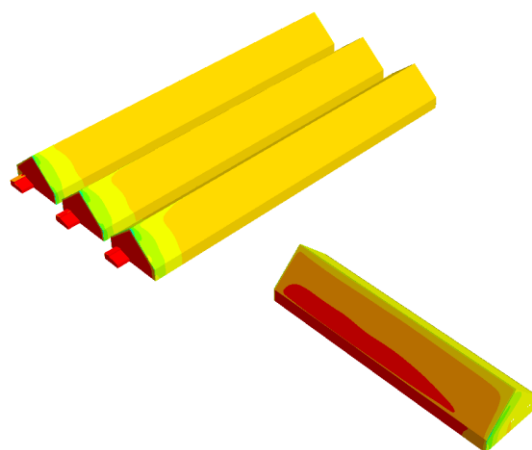
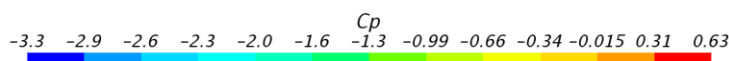


Рис. 4 – Распределение среднего аэродинамического коэффициента давления по фасадам исследуемого объекта

Сравнение выполнено на примере отдельностоящего здания склада, с целью минимизировать эффекты интерференции между объектами, не рассматривающиеся в нормативных документах. Результаты сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение результатов исследований

	Справочные данные из СП	Математическое моделирование	Экспериментальное моделирование
C_p max (стены)	0,8	0,78	0,68
C_p min (стены)	– 1,0	– 0,95	– 1,08
C_p max (кровля)	0,7	0,66	0,47
C_p min (кровля)	– 1,4	– 1,62	– 1,32

На основании сопоставления результатов исследований можно установить, что при оценке ветровой нагрузки на здания и сооружения повышенного уровня ответственности нецелесообразно проводить дорогостоящие дополнительные исследования. При этом использование справочных данных из нормативной и научно-технической литературы требует дополнительного обоснования (сопоставление формы исследуемого объекта с известными примитивами, отсутствие влияния орографии и окружающей застройки и т.д.).

Список литературы

1. *Pomelov V. et al.* Analysis of domestic and foreign regulatory and scientific and technical documents in the field of wind influence on buildings and structures that are part of hazardous production facilities //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018. – Т. 365. – №. 5. – С. 052025.
2. Изменение №2 к СП 20.13330.2016 «СНИП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия». Утверждено приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 28 января 2019 г. №49/пр. - М., 2019. - 21 с.
3. *Baker C.J.* Wind engineering—Past, present and future //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2007. – Т. 95. – №. 9-11. – С. 843-870.

05.13.18

А.А. Рачишкин канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,
факультет информационных технологий,
кафедра автоматизации технологических процессов,
Тверь, rachishkinandr@yandex.ru

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В работе описывается структура программного средства для компьютерного моделирования контактного взаимодействия микронеровностей технических поверхностей. Модель построена с использованием экспериментальных данных о морфологии взаимодействующих поверхностей, в том числе и имеющих функциональные покрытия. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании контактного взаимодействия шероховатых поверхностей, в том числе и в случае, когда одна из них имеет твёрдосмазочное или иное функциональное покрытие.

Ключевые слова: программное приложение, компьютерное моделирование, топография поверхности, контактное взаимодействие.

Моделирование микрогеометрии шероховатых поверхностей, получаемых в результате технологической обработки, и исследование контактного взаимодействия этих моделей является одним из эффективных подходов в трибологии [1,2,3]. Объединение теоретических методов, базирующихся на данном подходе, и их адаптация для взаимодействия друг с другом позволяет спроектировать систему дискретно-событийного компьютерного моделирования для виртуальных исследований и проектных расчётов трибосопряжений различного назначения.

Разработка модульной системы моделирования морфологии технических поверхностей, позволяет охватить широкий спектр задач инженерной практики. Возможность учёта наличия функциональных покрытий и анизотропной морфологии поверхностей позволяет существенно расширить количество анализируемых конструкционных материалов и технологий обработки поверхностей, а применение модели упругопластических деформаций микроконтактов реалистично описать эксплуатационные характеристики трибосопряжений.

Проектирование программного средства для компьютерного моделирования контактного взаимодействия технических поверхностей основывается на существующих подходах в механике сплошных сред и современных компьютерных технологиях [4]. Для его реализации в рассматриваемой системе следует выделить два фундаментальных уровня: моделирование морфологии технических поверхностей и моделирование физических процессов, происходящих на микроконтактах. Это даёт возможность моделировать различные физические процессы рядом автономных программных модулей. Это позволит добавлять, изменять и отлаживать их не нарушая общей архитектуры модели. Применение единой логики обеспечивает горизонтальное расширение программного средства и упрощает модернизацию имеющихся компонентов в зависимости от стоящих задач.

Микрогеометрические и физико-механические параметры, получаемые в результате экспериментальных исследований технических поверхностей, вводятся в составе исходных данных.

При моделировании контактного взаимодействия происходит циклическая проверка всех сгенерированных микронеровностей, локальных физико-механических свойств моделируемых поверхностей.

При контактном взаимодействии анализируется наличие и толщина функциональных покрытий и характер возникающих деформаций. Математическая модель строится с учётом каждой из возможных алгоритмических ситуаций. Когда обработаны все контактирующие микронеровности производится приведение к результирующему параметру по всей поверхности на данном шаге приращения внедрения. Затем система рассчитывает следующий шаг внедрения, доводя его до значения, соответствующего заданной нагрузке. При достижении конечного значения выводятся общие результаты процесса моделирования в заданном формате.

Модуль генерации морфологии технической поверхности. Морфология технических поверхностей определяется их топографией, физико-механическими свойствами, наличием плёнок и функциональных покрытий.

Создание модели трёхмерной шероховатой поверхности позволяет описать топографию технических поверхностей с высокой точностью. При создании модели следует учитывать, что для большинства задач контактного взаимодействия нужно рассматривать только часть слоя, состоящую из выступов шероховатой поверхности [2]. При создании математического аппарата принимается, что микронеровности шероховатой поверхности моделируются одинаково ориентированными сегментами эллипсоидов вращения. Для адекватного распределения их на номинальной плоскости разработан алгоритм, учитывающий экспериментально полученные стандартные параметры микрогеометрии. Высоты и радиусы микронеровностей изменяются по случайному закону распределения в задаваемом диапазоне. Модель микронеровности в виде сегмента эллипсоида вращения учитывает анизотропию контактирующих поверхностей [1,2,3].

Модуль контактного взаимодействия. Сгенерированная трёхмерная модель шероховатой поверхности является основой для моделирования контактного взаимодействия. При этом она имеет приведённые параметры шероховатости и соответствует случаю контакта двух шероховатых поверхностей [2]. В математической модели анализируются варианты контактного взаимодействия с упругим полупространством, имеющим упругопластическое покрытие, и с упругопластическим полупространством без покрытия. Возникающие деформации проходят проверку и рассчитываются либо как упругие, либо как упругопластические. Таким образом, расчёт нагрузки для всех неровностей, находящихся в контакте, можно записать в виде:

$$N = \sum_{i=1}^j N_{1ie} + \sum_{i=1}^k N_{1iep} + \sum_{i=1}^l N_{2ie} + \sum_{i=1}^q N_{2iep} \quad (1)$$

где: N - нормальная нагрузка, приложенная к шероховатой поверхности, N_{1ie} - нагрузки на сегменты, контактирующие с покрытием при его упругой деформации и упругой деформации основания, N_{1iep} - нагрузки на сегменты контактирующие с покрытием при его упругопластической деформации и упругой деформации основания, N_{2ie} - нагрузки на сегменты, контактирующие с основанием при его упругой деформации, N_{2iep} - нагрузки на сегменты контактирующие с основанием при его упругопластической деформации, j - количество сегментов, контактирующих с покрытием при его упругой деформации и упругой деформации основания, k - количество сегментов, контактирующих с покрытием при его упругопластической деформации и упругой деформации основания, l - количество сегментов, контактирующих с основанием при его упругой деформации, q - количество сегментов, контактирующих с основанием при его упругопластической деформации. Данную задачу можно решить численным методом [5] при пошаговом приращении внедрения.

Результаты тестирования модуля показали хорошую сходимость с экспериментами. На рис. 1 приведены результаты компьютерного моделирования контактного взаимодействия шероховатых поверхностей, имеющих функциональные покрытия и соответствующие им экспериментальные данные [6,7]. Точками обозначены экспериментальные данные, линии – моделируемые.

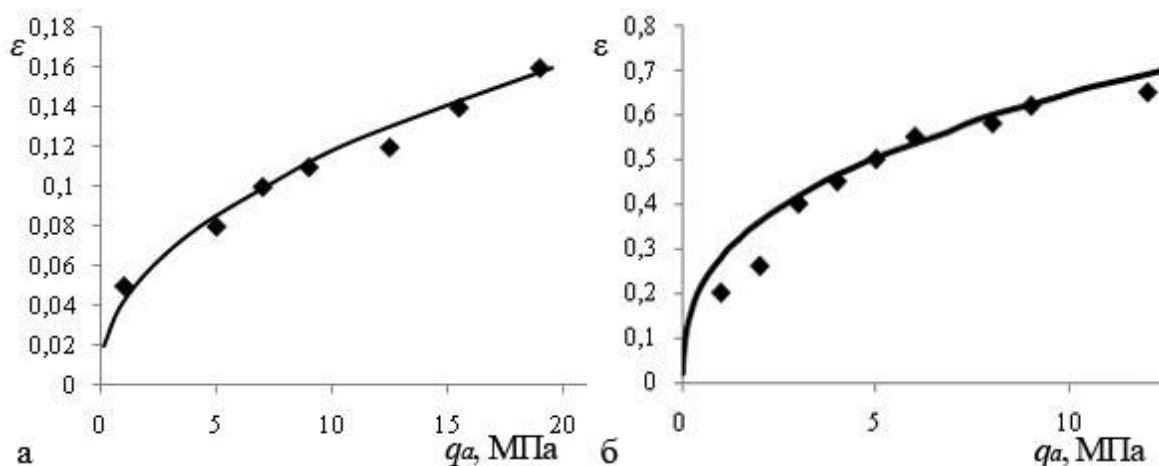


Рис. 1 - Относительное сближения стальных образцов, имеющих функциональные покрытия.

а) Золото $\delta = 16$ мкм; б) ФБФ74-Д $\delta = 20$ мкм

Заключение. Разработана и реализована компьютерная программа, имеющая модульную архитектуру, позволяющая на основе концепции дискретно-событийного моделирования проводить эксперименты для трибосопряжений различного назначения. Оптимизация обработки данных и ориентация на объектную структуру позволяют адекватно описывать морфологию технических поверхностей без потребления большого количества ресурсов ЭВМ и проводить моделирование различных физико-механических процессов быстро и без аппаратных сбоев. Наличие инструмента, влияющего на вариативность входных параметров, позволяет оптимизировать эксплуатационные характеристики трибосопряжений различного назначения.

Список литературы

1. Крагельский В.И., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977, - 526 с.
2. Дёмкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. - М. Машиностроение, 1981, - 224 с.
3. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. М. Наука, 2001, - 478 с.
4. Шилдт Г. Полное руководство С# 4.0. - М.: Изд-во «Вильямс», 2011, - 1056 с.
5. Сутягин О.В., Болотов А.Н., Рачишкин А.А. Компьютерное моделирование контактного взаимодействия шероховатых поверхностей. Трение и износ: Научно-теоретический журнал. Минск: «Наука и техника», 2015, том 36, №5. с. 536-545.
6. Алексеев Н.М. Металлические покрытия опор скольжения. М. Наука, 1973, - 75 с.
7. Сутягин О.В., Болотов А.Н., Васильев М.В. Контакт шероховатых тел с твёрдосмазочными покрытиями. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2014, - 124 с.

05.13.18

^{1,2}Л.С. Сабитов канд. техн. наук, ¹Ю.Г. Коноплев д-р физ.-мат. наук¹Казанский (Приволжский) федеральный университет,²Казанский государственный энергетический университет

К ВОПРОСУ О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМЫ «БАШНЯ – ФУНДАМЕНТ – ГРУНТ ОСНОВАНИЯ» ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Целью работы ставилось оценить эффективность работы системы «башня – фундамент – грунт основания» ветроэлектрической установки мощностью более 2 МВт с помощью компьютерного моделирования в ПК «Ansys». При моделировании учитывались пространственная работа элементов конструктивной системы и физическая нелинейность материалов, из которых они изготовлены. При этом для стали была использована теория прочности Мизеса, для бетона – Вильямса-Варнаке, для грунта основания – Друккера-Прагера.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, железобетонный фундамент, башня, компьютерное моделирование, теория прочности по Мизесу.

В данной статье рассматривается совместная статическая работа элементов строительной системы «башня – фундамент – грунт основания». Анализ литературы показал, что целостная методика расчёта такой системы на данный момент отсутствует.

В качестве примера рассмотрим ВЭУ на 2МВт из работы [6] – рис. 1.

Установка имеет следующие характеристики: радиус ротора $R=41$ м, общая высота $H=80$ м, высота до низа гондолы – 76,7 м, масса каждой лопасти – 5,78 т, масса ротора – 32,34 т, масса гондолы – 52,5 т. Нагрузки, действующие на конструкцию ВЭУ: собственный вес оголовка ($P_1=100$ т, прикладывается наверху); собственный вес ствола ($P_2=334$ т, равномерно распределяется по высоте), тяговая сила, вызванная ветровым потоком, набегающим на лопасти ($F_t=79$ т).

Трубчатая оболочка изготовлена из стали С355, имеет толщину стенки 50 мм, диаметр в основании 12 м, кверху сужается до 7 м. В отличие от аналога [6] в данной работе полость нижней части трубы на высоту 20 м заполнена бетоном класса В60.

Грунты основания в месте установки опор могут быть различными, примем наихудший вариант, который допускает СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений»: тип грунта – глинистый, непосадочный, не набухающий; коэффициент пористости 0,95; модуль деформаций $E=8$ МПа; показатель текучести $IL=0,5$; сцепление грунта $c=15$ кПа; угол внутреннего трения $\varphi=170$; расчётное сопротивление $R_0=150$ кПа; коэффициент жёсткости основания (коэффициент постели) $k=10$ МПа/м (Справочник проектировщика. Т.2, под ред. Уманского А.А., 1973. – С. 307).

Рассматриваемая система включает в себя элементы, образованные из материалов с качественно и количественно отличающимися физико-механическими свойствами. Для их моделирования в ПК «Ansys» были использованы соответствующие типы конечных элементов и законы деформирования [7].

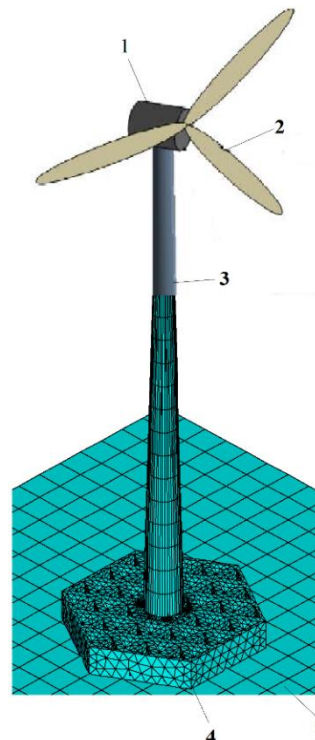


Рис. 1. Конструктивная схема (компьютерная модель в ПК «Ansys») ВЭУ на 2 МВт:
1 – гондола; 2 – лопасти ротора; 3 – башня; 4 – сборно-разборный фундамент;
5 – грунт основания

На рис. 2 представлены диаграммы деформирования материалов, используемые для создания модели.

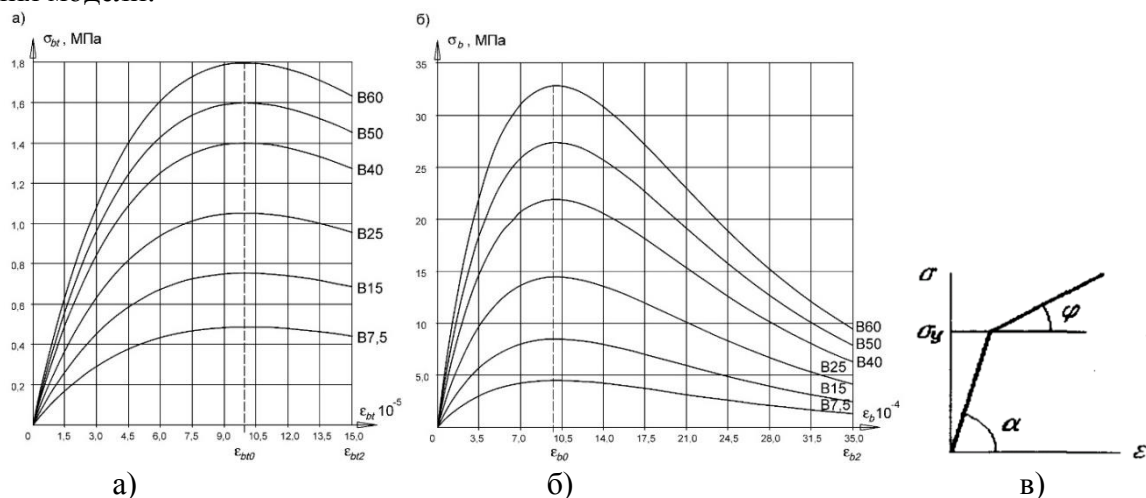


Рис. 2. Диаграммы деформирования материалов:
а) криволинейная диаграмма Радайкина О.В. при растяжении [6];
б) тоже – при сжатии; в) двухлинейная диаграмма, кинематическое упрочнение с
эффектом Баушенгера

Математические выражения, описывающие диаграммы рис. 2, а-б имеют вид:

$$\begin{aligned}\sigma_{bt} &= a_t (1 - b_t D_{bt})^{c_t} E_{bt} \varepsilon_{bt} \\ \sigma_b &= a_c (1 - b_c D_b)^{c_c} E_b \varepsilon_b,\end{aligned}\quad (1)$$

где $D_{bt} = \frac{\varepsilon_{bt}}{\varepsilon_{bt2}}$ – деформационный критерий повреждаемости растянутого бетона;
 ε_{bt} , ε_{bt2} – соответственно текущие и предельные относительные деформации для растянутого

бетона; $D_b = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b2}}$ – деформационный критерий повреждаемости сжатого бетона; $\varepsilon_b, \varepsilon_{b2}$ – соответственно текущие и предельные относительные деформации для сжатого бетона; $a_t = \frac{2,7R_{bt}}{E_{bt}\varepsilon_{bt0}}, b_t = \frac{1}{50R_{bt}}, c_t = 50R_{bt} \frac{\varepsilon_{bt2}}{\varepsilon_{bt0}} - 1, a_c = \frac{2,7R_b}{E_b\varepsilon_{b0}}, b_c = \frac{1}{50R_b}, c_c = 50R_b \frac{\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b0}} - 1$ – расчетные коэффициенты, имеющие, тем не менее, чёткий физический смысл; $\varepsilon_{bt0}, \varepsilon_{b0}$ – относительные деформации, соответствующие вершинным напряжениям при растяжении и сжатии.

В качестве закона деформирования для стали была принята билинейная диаграмма кинематического упрочнения (см. рис. 2, в). Закон предполагает, что на диаграмме « σ - ε » сумма напряжений разного знака в процессе нагрузки-разгрузки всегда равна удвоенной величине предела текучести σ_y , то есть учитывается эффект Баушингера. Модель рекомендуется для упругопластических задач с малыми деформациями материала, подчиняющегося условию текучести Мизеса:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq \bar{\sigma}_{yn} \quad (2)$$

где σ_{eq} – эквивалентные напряжения по Мизесу, $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ – главные напряжения, $\bar{\sigma}_{yn}$ – нормативный средний предел пластичности с учетом коэффициента вариации 5%.

Таким образом, физический закон деформирования тонкостенной оболочки описывался четырьмя параметрами: модулем упругости $E=206 \cdot 103$ МПа, касательным модулем $E'=75 \cdot 103$ МПа, пределом текучести $\bar{\sigma}_{yn} = 355 \text{ МПа}$ и коэффициентом Пуассона $\nu=0,3$.

Для определения габаритов фундамента предварительно был выполнен расчёт одиночной опоры, как жёстко заделанной консольной стойки, то есть без учёта фундамента и грунта основания. Этот расчёт произведён в ПК «Лира-САПР 2017» с учётом всех особенностей строительных Норм. В результате были получены нагрузки на обрез фундамента, по которым с использованием формул СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» вычислены требуемые габариты фундамента: 9х9 м, высота 1,8 м.

Результаты определения эквивалентных напряжений в башне показаны на рис. 3.

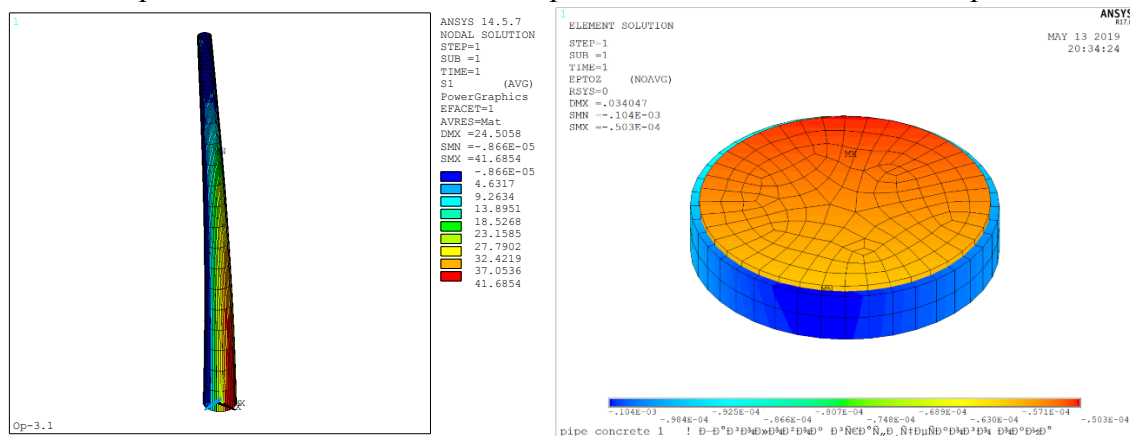


Рис. 3. Результаты численного моделирования башни

Сравнение результатов расчёта с данными работы [6] показало, что разрушающая нагрузка башни увеличилась на 47% за счёт заполнения нижней её части бетоном, что говорит об эффективности предлагаемого решения.

Список литературы

1. СТО 70238424.27Л00.059-2009 Ветроэлектростанции (ВЭС) Условия создания Нормы и требования. – М.: Некоммерческое Партнерство «Инновации в электроэнергетике», 2009. – 192 с.
2. Стрелков Ю.М., Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. Сравнительный анализ статической работы различных типов стальных опор линий электропередач на основе компьютерного моделирования системы «опора-фундамент-грунт основания» // Строительная механика и расчёт сооружений. – Москва: Научно-исследовательский центр «Строительство», №1, 2019. – С. 71-79.
3. Дуванова И.А., Сальманов И.Д. Трубобетонные колонны в строительстве высотных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого совместно с Производственным, научно-исследовательским и проектно-конструкторским учреждением «Венчур», №6 (21), 2014. – С. 89-103.
4. Кикин А.И., Санжаровский Р.С, Труль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. – М.: Стройиздат, 1974. – 144 с.
5. Umesh K N, Bharath P, Mohamed Farzath Iyaz Design and analysis of 2-MW wind turbine tower // International Journal of Mechanical and Production Engineering Volume- 4, Issue-10, 2016. – 13-17 p/
6. Радайкин О.В. К построению диаграмм деформирования бетона при одноосном кратковременном растяжении/сжатии с применением деформационного критерия повреждаемости // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, № 6, 2017. – С. 71-78.
7. Хамидуллин И.Н., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. Разработка и исследование опор для ветрогенераторных установок Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2015. № 2 (38). С. 34-40.
8. Khamidullin I.N., Sabitov L.S., Kuznetsov I.L. Development and research towers for wind turbines Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2015. № 4 (28). С. 25-32.

05.13.18

О.В. Соловьева канд. физ.-мат. наук, Р.Р. Хусайнов

Казанский государственный энергетический университет,
институт теплоэнергетики,
кафедра теоретические основы теплотехники,
Казань, solovyeva.ov@kgeu.ru

СРАВНЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ФИЛЬТРОВ С РАЗНЫМИ ПО ФОРМЕ ЧАСТИЦАМИ

Проведено сравнительное численное моделирование фильтров двух типов. В первом случае использовались твердотельные гранулы, во втором случае - пористые. Пористость гранул составляла $\varepsilon = 0,8$. Модели фильтров сравнивались по значению эффективности осаждения частиц, перепаду давления и коэффициенту качества фильтра. Исследования показали, что для повышения качества фильтра предпочтительнее использовать фильтр с пористыми гранулами.

Ключевые слова: эффективность осаждения, перепад давления, пористые гранулы, коэффициент качества.

Введение

Проблема фильтрации воздуха и отработанных жидкостей становится все более актуальной в связи с необходимостью уменьшения количества загрязняющих веществ, выбрасываемых в окружающую среду. Для того чтобы оптимизировать технологию фильтрации, важно рассчитывать производительность фильтра [1-3]. Численному моделированию гранулированных и высокопористых ячеистых фильтров посвящены работы [4, 5]. Несколько видов гранулированных фильтров были описаны в литературе [6, 7]. В работе [8] приводится описание гранулированного фильтра, в котором используются две отличительные зоны фильтрации: межфазная область, которая удаляла основную часть пыли из газового потока, и застойная зона, где противоток газа и гранулированный фильтрующий материал позволяет достичь высокой эффективности фильтрации. Исследованию движения газа в различных упаковках гранул посвящена работа [9].

Постановка проблемы

Уменьшение общего сопротивления и сохранение эффективности осаждения частиц является одной из основных задач исследований в области фильтрации. Известно, что чем больше значение пористости среды, тем меньше перепад давления. Пористость определяется как отношение объема пор к общему объему фильтрующей среды. Значительно изменить пористость, меняя только размер и форму гранул, очень сложно, поэтому были созданы пористые гранулы. Для моделирования механического поведения твердых частиц под воздействием силы тяжести использовался метод дискретных элементов. Для этого были созданы твердотельные и пористые гранулы диаметром 5 мм, из которых в дальнейшем формировалась область фильтрующей среды. Пористость фильтрующего слоя из цельных гранул $\varepsilon = 0,6$, общая пористость в модели фильтр, созданной набором пористых гранул составляет $\varepsilon = 0,92$. Высокое значение пористости обусловлено тем, что при моделировании фильтрующего слоя образуются пустые области из-за специфичной формы пористых гранул.

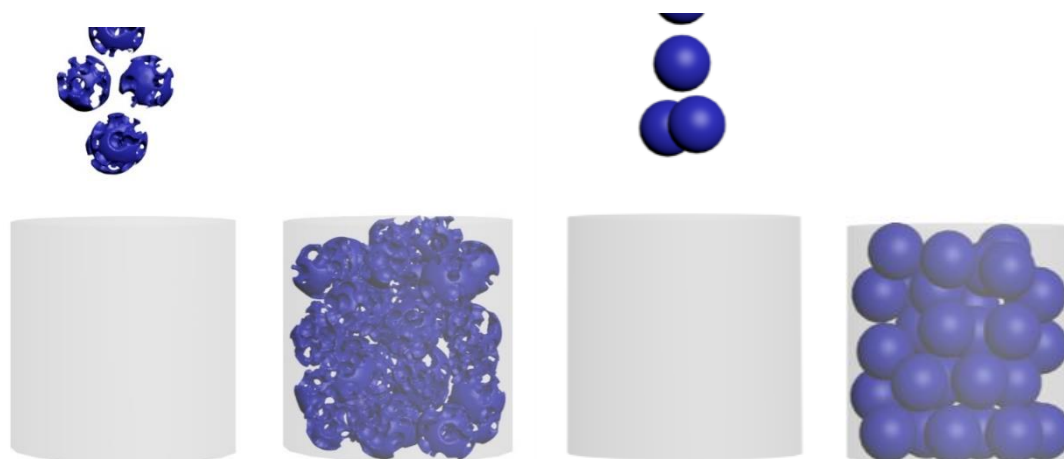


Рис. 1 Моделирование гранулированного фильтра.

Геометрии, используемые для проведения численных исследований, создаются путем получения обратной матрицы на основе геометрических моделей, так как течение происходит в межпоровом пространстве. Размер фильтрующей области равен 20 мм в диаметре и 20 мм в длину. Со стороны входа прикреплен патрубок длиной 10 мм, со стороны выхода патрубок длиной 30 мм. Общая длина модели составляет 60 мм. Расчеты были проведены в программном комплексе CFD ANSYS Fluent (v. 19.0).

Результаты исследований

Для проверки корректности результатов численного моделирования значения перепада давления сравнивались со значениями, полученными по экспериментальной формуле, предложенной в работе [10]

$$S_v = 6 \frac{(1 - \varepsilon)}{d_p}, \quad (1)$$

$$\frac{\Delta p}{L} = 4,17 \frac{(S_v)^2}{\varepsilon^3} \mu u + 0,292 \frac{(S_v)}{\varepsilon^3} \rho u^2, \quad (2)$$

где S_v – удельная поверхность, ε – пористость гранулированного слоя, d_p – диаметр гранулы, Δp – перепад давления, L – толщина фильтра, μ – динамический коэффициент вязкости жидкости или газа, который протекает через фильтр, u – скорость потока, ρ – плотность газа или жидкости.

Кривые изменения перепада давления в зависимости от среднерасходной скорости построены по экспериментальной формуле (2) построены для случая твердотельных гранул с общей пористостью упаковки $\varepsilon = 0.6$ и для случая пористых гранул с общей пористостью $\varepsilon = 0.92$. Приведенные кривые соответствуют толщине пористой вставки $L=2$ см.

Результаты, представленные на рисунке 2, хорошо коррелируют для случая твердотельных гранул, но разнятся для пористых гранул. Это связано с тем, что выражение (2) не является универсальным, а также с изменяемой геометрией в зависимости от расположения пористых гранул в пространстве.

Эффективность осаждения частиц и перепад давления являются двумя основными параметрами в формировании коэффициента качества фильтра. На рисунках 3 и 4 приведены кривые эффективности осаждения и коэффициента качества фильтра для гранулированного фильтра с твердотельными и пористыми гранулами.

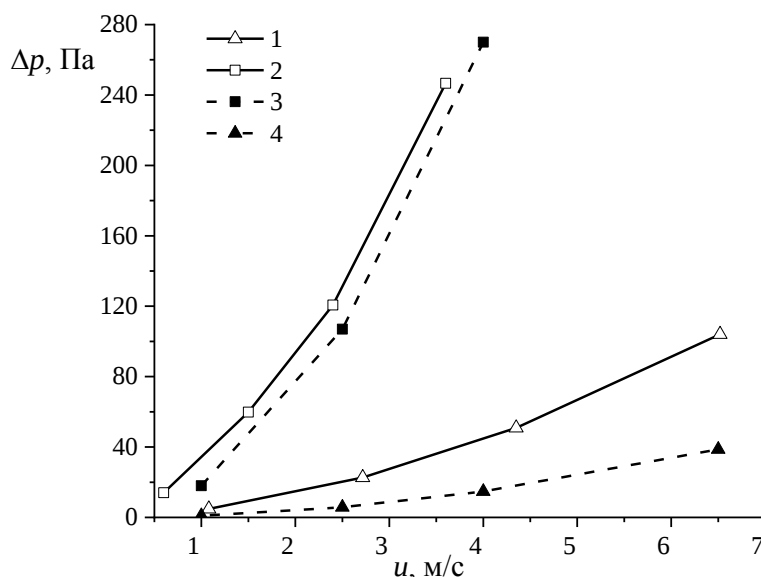


Рис. 2 Сравнение кривых изменения перепада давления для:
 1 – численный расчет для модели фильтра с пористыми гранулами,
 2 – численный расчет для модели фильтра с твердотельными гранулами,
 3 – результаты эмпирической зависимости (1) для случая твердотельных гранул,
 4 – результаты эмпирической зависимости (1) для случая пористых гранул

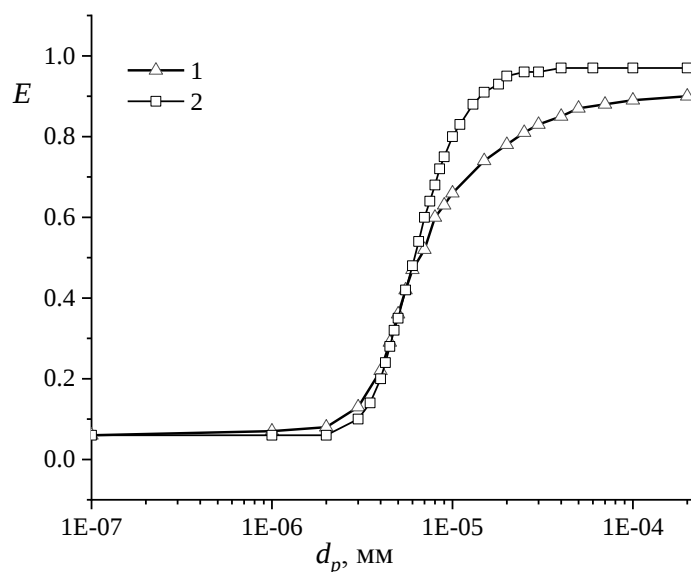


Рис.3 Кривые эффективности осаждения частиц для:
 1 – фильтр с пористыми гранулами, 2 – фильтр с цельными гранулами.

Из графиков видно, что кривая эффективности осаждения частиц для фильтра с твердотельными гранулами лежит выше чем в случае фильтра с пористыми гранулами. Кривые начинают различаться только при диаметре частиц равным $6 \cdot 10^{-5}$ м. Такое поведение можно объяснить тем, что более инерционные частицы уносятся потоком по каналам пористых гранул. Перепад давления ожидаемо выше у фильтра с цельными гранулами. Коэффициент качества фильтра Q_f определяется отношением эффективности осаждения к перепаду давления.

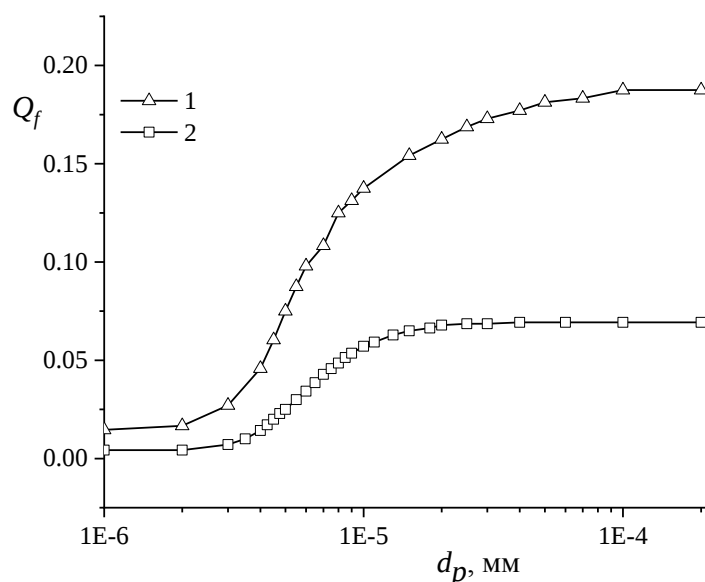


Рис. 4 Кривые качества фильтра для:
1 – фильтр с пористыми гранулами, 2 – фильтр с цельными гранулами.

Заключение

Проведено детальное численное моделирование течения газозвеси через пористую среду. Сравнивались модели фильтров с цельными и пористыми гранулами. Исходя из расчетов можно сказать, что предпочтительнее использовать фильтр с пористыми гранулами, так как коэффициент качества значительно выше у данного фильтра. При каждом новом построении фильтрующего слоя пористость области может несущественно меняться. Это происходит потому, что гранулы сталкиваются между собой, меняя траекторию движения и образуя новую геометрическую область.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту № 19-71-00100.

Список литературы

1. Tien C. Granular filtration of aerosols and hydrosols: Butterworths series in chemical engineering. – Butterworth-Heinemann, 2013.
2. Spurny K.R. Advances in aerosol gas filtration. – CRC Press, 1998.
3. Friedlander S.K. et al. Smoke, dust, and haze. – New York: Oxford university press, 2000. – Т. 198.
4. Soloveva O.V. et al. Numerical simulation of gas flow in porous structures of various geometries // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – Т. 1210. – №. 1. – С. 012134.
5. Soloveva O.V., Solovov S.A., Khusainov R.R., Popkova O.S., Panenko D.O. Investigation of the influence of the open cell foam models geometry on hydrodynamic calculation // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – Т. 944. – №. 1. – С. 012113.
6. Smid J., Hsiau S.S., Peng C.Y., Lee H.T. Granular moving bed filters and adsorbers (GM-BF/A) – patent review: 1970-2000 // Advanced Powder Technology. – 2005. – Т. 16. – №. 4. – С. 301-345.
7. Saxena S.C., Henry R.F., Podolski W.F. Particulate removal from high-temperature, high-pressure combustion gases // Progress in Energy and Combustion Science. – 1985. – Т. 11. – №. 3. – С. 193-251.
8. Brown R.C., Smeenk J., Wistrom C. Design of a moving bed granular filter for biomass gasification // Progress in Thermochemical Biomass Conversion. – 2001. – С. 379-387.
9. Ambrosetti M., Bracconi M., Maestri M., Groppi G., Tronconi E. Packed foams for the intensification of catalytic processes: assessment of packing efficiency and pressure drop using a combined experimental and numerical approach // Chemical Engineering Journal. – 2020. – Т. 382. – С. 122801.

05.13.18

Т.А. Чуваткина, А.В. Агапов, Н.А. Балашов, Д.А. Агапов

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»,
институт электроники и светотехники,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
Саранск, tanya.alex.ch@gmail.com, vkagapov@yandex.ru,
balashov_1999@inbox.ru, felzricdima@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП

В данной работе представлены результаты математического моделирования процесса измерения потока излучения ртутных бактерицидных ламп низкого давления. Представленная модель позволяет учитывать пространственное распределение потока излучения ламп. Приводятся данные по экспериментальному подтверждению, предложенной математической модели.

Ключевые слова: бактерицидная лампа, поток излучения, ультрафиолетовое излучение, математическая модель, метод измерения.

Бактерицидные лампы с максимальным излучением в длине волны 253.7 нм широко используются для уничтожения бактерий, вирусов и других опасных простейших организмов. Свое применение они находят в пищевой промышленности, медицине, водоснабжении и других сферах деятельности. От эксплуатационных характеристик ультрафиолетовых разрядных ламп низкого давления зависит их способность к уничтожению болезнетворных микроорганизмов. В связи с чем, возникает необходимость в достоверной и качественной оценке их параметров и в частности одной из основных характеристик – потока излучения.

Существует несколько математических моделей процесса измерения потока излучения бактерицидных ламп. Каждая из них не в полной мере отражает процесс измерения, так как не учитывает ряд факторов влияющих на точность измерения.

Одна из математических моделей процесса измерения потока излучения (далее модель № 1) предложена в [1]. Согласно модели № 1 поток излучения функционально связан с энергетической освещенностью, расстоянием от источника излучения до приемника излучения и геометрическим фактором [1]:

$$P = \gamma \cdot E_c \cdot R^2, \quad (1)$$

где γ – геометрический фактор, определяемый для бактерицидных облучателей при измерении углового распределения потока излучения с помощью гониометра;

E_c – измеренное значение энергетической освещенности;

R – расстояние от бактерицидного облучателя до приемника излучения.

Выражение геометрического фактора для его определения не регламентировано и не раскрывается в [1]. Исходя из данного обстоятельства, применение модели № 1 представляется невозможным на практике [2].

В настоящее время в мировой практике применяется математическая модель процесса измерения потока излучения (далее модель № 2), описанная в [3]. Модель № 2 имеет вид:

$$P = \frac{E \cdot 2\pi^2 \cdot D \cdot L}{2\alpha + \sin 2\alpha}, \quad (2)$$

где E – энергетическая освещенность;

D – расстояние от приемника излучения до центра лампы;

L – длина светящейся части лампы;

α – половинный угловой размер светящейся части лампы относительно середины входного окна приемника излучения.

Модель № 2 не учитывает ряд влияющих факторов таких как:

- отклонение косинусной зависимости реакции приемного устройства;

- отражение потока излучения от поверхностей;

- пространственное распределение потока излучения конкретных ламп, что экспериментально было доказано в [4].

Кроме выше описанных моделей существует еще одна математическая модель (далее модель № 3) имеющая вид [5]:

$$\Phi_e = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi E_{ei} \cdot l^2 \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma \cdot dC, \quad (3)$$

где E_{ei} – средняя энергетическая освещенность пояса;

l – расстояние от источника излучения до приемника излучения;

γ, C – углы в системе фотометрирования C, γ .

Модель № 3 модель также не учитывает ряд влияющих факторов:

- отклонение косинусной зависимости реакции приемного устройства;

- отражение потока излучения от поверхностей.

Из приведенных математических моделей видно, что для них характерны как общие влияющие факторы, так и характерные только для конкретной модели.

Модель № 3 является более совершенной, но имеет ряд недостатков связанных с применением ее на практике. В частности, требует использование дорогостоящего оборудования (гониометра) и обладает большей трудоемкостью, связанной со сложностью юстировки источника излучения и длительностью самих измерений. В связи с чем, на практике преимущественно используется модель № 2. Она не требует дорогостоящего оборудования, обладает меньшей трудоемкостью, но имеет меньшую точность.

Исходя из всех существующих математических моделей процесса измерения потока излучения бактерицидных ламп и анализа их недостатков, была разработана следующая математическая модель (далее модель № 4), на основе корректировки модели № 2:

$$P = \frac{E \cdot 2\pi^2 \cdot D \cdot L}{2\alpha + \sin 2\alpha} \cdot K, \quad (4)$$

где K – коэффициент влияния пространственного распределения потока излучения.

Для компактных бактерицидных ламп значение K принимается равным – 0,81; для линейных – 0,90.

Для подтверждения корректности введенного коэффициента было проведена экспериментальная оценка потока излучения линейных и компактных бактерицидных ламп по модели № 4 и модели № 3, исключаяющей влияние пространственного распределение потока излучения.

В качестве объектов измерений были взяты следующие типы ламп: ДКБУ 95 (аналог LUVQ95W/2G11), ДБ 75-2, ДБ 30, ДБ 15, ДКБУ 11, ДКБУ 9, ДКБУ 7. Измерения проводились на фотометрической скамье ФС-М с установленным на ней поворотным устройством, в качестве приемника излучения был использован УФ-радиометр «ТКА-ПКМ (13)». Перед измерением лампы горели ~20 минут для выхода параметров на стабилизированный режим. Расчет потока излучения по двум математическим моделям проводился по одним и тем же результатам измерений энергетической освещенности как среднее арифметическое из десяти измерений. Результаты измерений представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты измерений потока излучения линейных бактерицидных ламп

Тип ламп	№ лампы	Поток излучения, Вт		Отклонение потока излучения модели № 4 от модели № 3, %
		Модель № 4	Модель № 3	
ДБ 75-2	1	26,50	26,61	0,4
	2	21,57	21,59	0,1
	3	28,01	28,37	1,3
ДБ 30	1	7,55	7,36	-2,6
	2	7,93	7,82	-1,4
	3	9,44	9,31	-1,4
ДБ 15	1	3,68	3,60	-2,2
	2	3,68	3,67	-0,3
	3	3,83	3,79	-1,1

Таблица 2 – Результаты измерений потока излучения компактных бактерицидных ламп

Тип ламп	№ лампы	Поток излучения, Вт		Отклонение потока излучения модели № 4 от модели № 3, %
		Модель № 4	Модель № 3	
ДКБУ 95	1	18,82	18,29	-2,9
	2	17,82	18,25	2,4
	3	22,22	22,33	0,5
ДКБУ 11	1	3,29	3,30	0,3
	2	3,29	3,19	-3,1
	3	3,32	3,24	-2,5
ДКБУ 9	1	1,77	1,76	-0,6
	2	2,13	2,05	-3,9
	3	2,05	2,01	-2,0
ДКБУ 7	1	1,56	1,50	-4,0
	2	1,52	1,49	-2,0
	3	1,52	1,57	3,2

Из таблиц 1 и 2 видно, что результаты измерения потока излучения линейных бактерицидных ламп, полученные при использовании модели № 4 в среднем на 0,8 % больше, чем полученные при использовании модели № 3, компактных ламп – на 1,2 %. Полученные отклонения не являются критичными, так как по стандартизированной методике измерения потока излучения допустимое значение основной погрешности измерения - 10%. Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод о том, что предложенная модель № 4 позволяет учесть пространственное распределение потока излучения и увеличить точность измерения. Кроме того, данная модель позволяет не использовать дорогостоящее оборудование и проводить измерения с меньшей трудоемкостью.

Список литературы

- 1 ГОСТ 8.760-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение энергетических и эффективных характеристик ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей. Методика измерений. – М. : Стандартинформ. - 2014. – 11 с.
- 2 Чуваткина Т.А. Метрологическое обеспечение измерений параметров бактерицидных ламп / Т. А. Чуваткина, А. А. Ашрятов // В сборнике: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. - Саранск. - 2015. - С. 402-404.
- 3 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.
4. 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.
- 5 Тиходеев П.М. Световые измерения в светотехнике (фотометрия) / П. М. Тиходеев. – 2-е изд., перераб. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1962. – 464 с.

05.13.18

Р.Р. Яфизов, С.А. Соловьев, А.В. Антипин

Казанский государственный энергетический университет,
институт цифровых технологий и экономики,
Казань, ruzilyafizov@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНА ФИЛЬТРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ

В данной работе проведено численное моделирование процесса фильтрации волокном. Исследованы параметры, влияющие на эффективность осаждения частиц, также исследован механизм инерционного осаждения частиц. Численный расчет производился в программном комплексе ANSYS Fluent (v. 19.0). Представлены результаты расчетов для твердотельного волокна, с одним и пятью выступами. Представлен новый способ повышения эффективности осаждения частиц, при помощи создания модифицированных волокон.

Ключевые слова: волокнистый фильтр, численное моделирование, выступ, инерционное осаждение.

Основным направлением исследований в области фильтрации газовзвесей является изучение эффективности механизмов улавливания взвешенных частиц. Существование нескольких механизмов осаждения частиц при фильтрации – это диффузия, зацепление, инерционное и гравитационное осаждение и электростатическое притяжение, а само осаждение частиц определяется размерами частиц и скоростью несущей среды. Одним из наиболее исследуемых направлений является инерционное осаждение частиц в пористых средах [1-3]. Основным параметром, влияющим на инерционное осаждение, является число Стокса, поэтому во многих работах исследуется зависимость эффективности инерционного осаждения взвешенных частиц от числа Стокса [4-5]. Для грубодисперсных аэрозолей, содержащих частицы с диаметрами более нескольких микрон, инерционное соударение и гравитационное осаждение являются основными причинами оседания частиц. Для наночастиц основным механизмом осаждения является диффузия. Частицы средних размеров могут удерживаться волокнистыми фильтрами за счет эффекта зацепления. Частицы с диаметрами в микронном диапазоне характеризуются слабым проявлением инерционности и диффузионного осаждения. Для улавливания таких частиц обычно применяется метод электростатического осаждения. Помимо инерционного осаждения большую роль играет эффект зацепления частиц, при котором соприкосновение с препятствием определяется геометрическим размером частицы. При этом не требуется, чтобы траектория движения центра частицы пересекала поверхность препятствия [6-7]. Для малых и нано-частиц растет вклад диффузионного осаждения, интенсивность которого определяется коэффициентом броуновской диффузии. В работе [8] показано, что броуновская диффузия играет определяющую роль для частиц диаметром $d_p < 0.2$ мкм. В случае субмикронных размеров частиц, применяется электрическая зарядка улавливаемых частиц или волокон фильтра, на движение которых начинают влиять электростатические силы взаимодействия между частицей и волокном, а также в зависимости от силы заряда, скорости течения и глубины пористой упаковки обеспечивается высокая эффективность улавливания частиц в соответствующих фильтрах.

Постановка проблемы

В данной работе было проведено численное моделирование осаждения частиц на твердотельных единичных волокнах фильтра. Диаметр волокна составляет $d = 500$ мкм,

скорость потока составляла $u = 10^{-6}$ м/с, что соответствует ламинарному режиму течения. С целью увеличения эффективности осаждения частиц волокном фильтра, были добавлены выступы на волокнах и сравнены результаты численного моделирования для волокон с выступами различной длины. Волокно с одним выступом, обозначалось как h . Величина h принимала значения: 0 мм; 0.05 мм; 0.1 мм; 0.15 мм; 0.2 мм; 0.25 мм. Волокно с пятью выступами, обозначалось как S . Для S были взяты такие же размеры выступов, как и для h : 0 мм; 0.05 мм; 0.1 мм; 0.15 мм; 0.2 мм; 0.25 мм. Для исключения влияния границ на поле течения расстояние от волокна до границ было в 30 раз больше диаметра волокна. Расположение выступов показано на Рисунке 1.

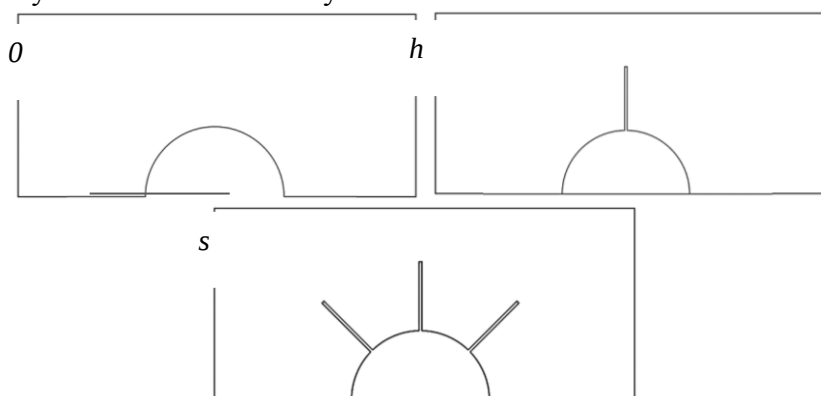


Рис. 1 - Схема расположения выступов на волокне фильтра:

0 – волокно без выступа, h – волокно с одним выступом, S – волокно с пятью выступами

Результаты

В общей сложности было проведено 10 вычислительных эксперимента. Количество стартовавших частиц $n=1000$. Все частицы стартовали с начальной точки $x=0$, а по оси $0y$ от $y=0$ до $y=0,00025$ (м). Результаты расчетов эффективности осаждения частиц на волокне представлены в виде графиков (Рисунки 2-3). Диаметр волокна составляет $d=0,5$ мм.

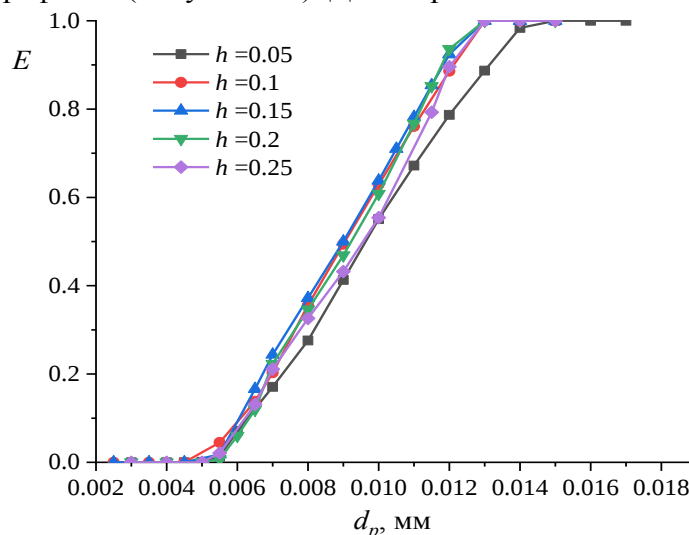


Рис. 2 - Эффективность осаждения частиц на единичном твердом волокне для различных h

На рисунке 2 видно, что эффективность осаждения увеличивается до значения выступа $h=0,15$ мм, после данного значения эффективность начинает снижаться. Снижение эффективности осаждения для выступа более 0,15 мм объясняется гидродинамикой потока: частицы малого диаметра следуют по линиям тока, огибая выступ.

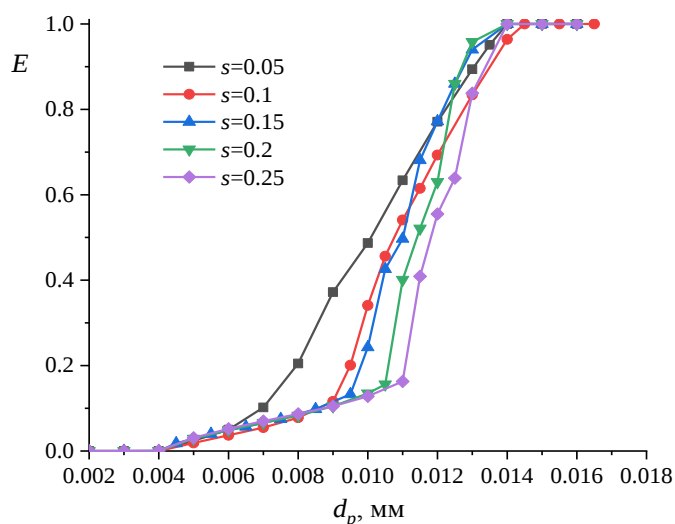


Рис. 3 - Эффективность осаждения частиц на единичном твердотельном волокне для различных s

Рисунок 3 демонстрирует зависимость эффективности осаждения частиц для твердотельного волокна S с пятью выступами. На графике мы видим, что с ростом выступа S снижается эффективность осаждения частиц. Таким образом, наибольшая эффективность осаждения наблюдается для $s=0,05$ мм, а наименьшая при $s=0,25$ мм. Такая закономерность объясняется тем, что у основания выступов создаются зоны пониженного давления и частицы следуют по линиям тока.

Заключение

Проведено численное моделирование течения газа для волокна различных геометрий (с одним и пятью выступами). На основе полученных данных были построены графики эффективности осаждения частиц для волокна с одним и пятью выступами. Выявлено, что самая высокая эффективность осаждения частиц у волокна s , которое имеет пять выступов длиной 0,05 мм. Результаты численного расчета согласуются с законами гидрогазодинамики. Данные исследования вносят вклад в развитие знаний о механике жидкости и газа в волокнистых фильтрах и могут лечь в основу создания волокнистых фильтров с улучшенными свойствами.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-01188.

Список литературы

1. Davies C.N. Aerosol Science. – N-Y: Academic Press, 1966.
2. Friedlander S.K. Smoke Dust and Haze: Fundamentals of Aerosol Behavior. – N-Y: Wiley, 1977.
3. Israel R. Use of a generalized Stokes number to determine the aerodynamic capture efficiency of non-stokesian particles from a compressible gas flow // Aerosol Sci. Technol. – 1983. – Vol. 9. – P. 29-60.
4. May K. The impaction of aerosol particles on cylinders, spheres, ribbons and disks // Ann. Occup. Hyg. – 1967. – Vol. 10. – P. 83-95.
5. Wang H.C. Theoretical adhesion efficiency for particles impacting a cylinder at high Reynolds number // J. Aerosol Sci. – 1986. – Vol. 17. – P. 827-837.
6. Nguyen X. Single fibre capture efficiency of aerosol particles in real and model filters in the inertial interception domain // J. Aerosol. Sci. – 1975. – Vol. 6. – P. 205.
7. Wang J. Filtration of aerosol particles by elliptical fibers: a numerical study // Journal of Nanoparticle Research. – 2009. – Vol. – P. 185-196.
8. Qian F. Effects of the operating conditions and geometry parameter on the filtration performance of a fibrous filter // Chemical Engineering and Technology. – 2009. – Vol. 32 (5). – P. 789-797.

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

05.13.19

А.А. Шашков, Ф.Г. Хисамов д-р техн. наук

АО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» -
«НИИ – космического приборостроения»,
Москва, smich-kr@mail.ru,
НЧОУ ВО «КИИЗ»,
Краснодар, kiiz@rambler.ru

СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В работе приведены основные свойства выходных псевдослучайных последовательностей (ПСП) линейных рекуррентных регистров сдвига (ЛРРС). Разработан тест, на проверку выходной двоичной последовательности на случайность. Дано представление ЛРРС через корни порождающего многочлена, что позволяет непереворными методами вычислять элементы выходной последовательности с произвольными номерами. Определены эксплуатационно-технические нарушения, приводящие к снижению стойкости ПСП.

Ключевые слова: линейный рекуррентный регистр сдвига, псевдослучайная последовательность, стойкость ПСП.

Линейным рекуррентным регистром сдвига называется устройство [1,2,4,5], изображенное на рис 1. Первоначально в ячейки памяти заносятся двоичные величины. При каждом такте происходит сдвиг величин в соседние справа ячейки. Элементы h_i осуществляют перемножение величин поступающих с выходов ячеек на коэффициенты h_i , а элементы S_i осуществляют сложение. На выходе генерируется бесконечная последовательность из 0 и 1. Ограничимся рассмотрением двоичных ЛРРС, тогда коэффициенты h_i принимают значения только 0 и 1, а перемножение выражается в сквозном соединении, если $h_i=1$, и отсутствии если $h_i=0$. Сумматоры S_i - становятся сумматорами по mod2.

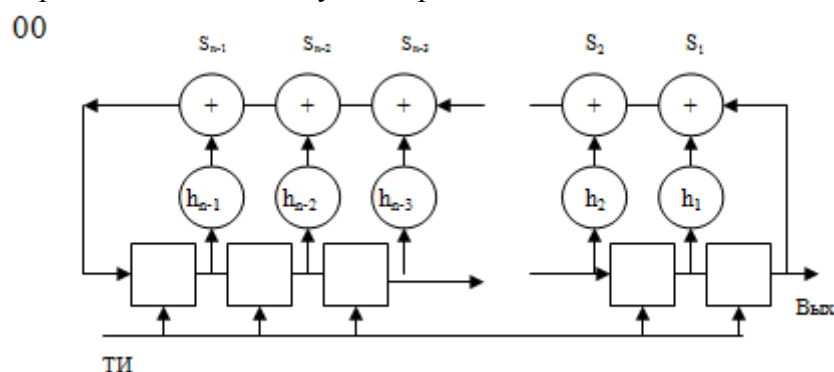


Рис.1 Линейный рекуррентный регистр сдвига

В ячейках памяти хранится информация, в виде 0 и 1 и на выходе генерируется последовательность из 0 и 1. Таким образом, регистр принимает вид, показанный на рис 2.

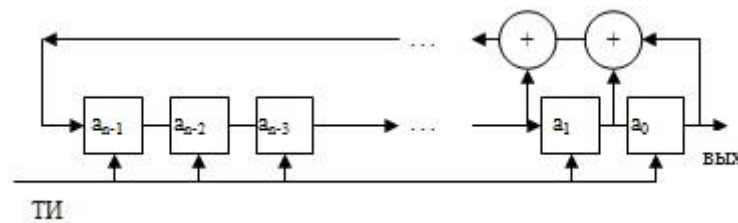


Рис.2 Двоичный ЛРПС

Введем некоторые понятия из линейной алгебры [1,3] для определения свойств выходной последовательности и параметров ЛРПС.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ №1: Если любой многочлен $f(x)$ с коэффициентами 0 и 1 нельзя представить, как произведение двух или более других многочленов, кроме тривиальных $1 \cdot f(x)$, то этот многочлен $f(x)$ называется неприводимым многочленом.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ №2: Если неприводимый многочлен делит без остатка многочлен $x^{2^n} - 1$ и не делит никакой многочлен $x^{n'} - 1$, $n' < 2^n - 1$, то он называется примитивным.

Рассмотрим конечное поле Галуа [1,3]. Поле F , это множество элементов, в котором определены операции сложения, вычитания, умножения и деления для любых α, β, γ , принадлежащих полю F . Тогда должны выполняться следующие условия: $\alpha + \beta = \beta + \alpha$; $\alpha\beta = \beta\alpha$; $\alpha + (\beta + \gamma) = (\beta + \alpha) + \gamma$; $\alpha(\beta\gamma) = (\alpha\beta)\gamma$. Кроме того, в поле существуют такие элементы как: 0; 1; $-\alpha$; α^{-1} (для $\alpha \neq 0$) и выполняются следующие соотношения: $0 + \alpha = \alpha$; $(-\alpha) + \alpha = 0$; $0 \cdot \alpha = 0$; $1 \cdot \alpha = \alpha$; $(\alpha^{-1}) \cdot \alpha = 1$.

Исходя из этого рассмотрим некоторые свойства выходной последовательности ЛРПС [2,4,5].

1. Период выходной последовательности ЛРПС. Так как число состояний регистра равно $2n$, из них одно нулевое, то период не может быть больше $2n-1$. Для примитивного порождающего полинома он в точности будет равен $2n-1$.

2. Свойство “окна”. Если “окно” шириной “ n ” перемещать вдоль выходной последовательности ЛРПС на примитивном многочлене, то каждый из $2n-1$ ненулевых наборов будет виден точно один раз.

3. Свойство сложения (групповое). Если фиксирован примитивный многочлен, то число возможных числовых последовательностей равно числу $2n-1$. Сумма 2-х выходных последовательностей по mod2 также дает выходную последовательность ЛРПС.

4. Свойство сдвига. Любой сдвиг выходной последовательности ЛРПС есть выходная последовательность ЛРПС.

5. Свойство баланса. Любая выходная последовательность ЛРПС содержит $2m$ единиц и $2m-1$ нулей. Это объясняется тем, что между 1 и $2n-1$ имеем $2m-1$ нечетных чисел, двоичное представление которых оканчивается на 1, и $2m-1$ четных чисел, которые оканчиваются на 0.

6. Свойство серий из нескольких идентичных элементов. Любая выходная последовательность ЛРПС имеет половину серии длины 1, четверть серии длины 2, 1/8 серии длины 3 и т.д. В каждом случае число серии из 0 равно числу серий из 1.

Указанные свойства дают основания называть выходные последовательности ЛРП, псевдослучайными, так как они выполняются и для чисто случайной последовательности [1,2,4]. В действительности даже при случайных отводах и начальном заполнении последовательность не является “чисто” случайной. Для проверки этих двух крайних случаев разработан следующий тест, описание которого приведено ниже.

Пусть анализу подвергается отрезок двоичной последовательности $C_0 \dots C_{N-1}$, где $N < 2^n - 1$, n -предполагаемая длина регистра. Тогда можно составить следующую матрицу состояний [3]:

$$C = \begin{pmatrix} c_0 & c_1 & \dots & c_{N-b} \\ c_1 & c_2 & \dots & c_{N-b+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{b-1} & c_b & \dots & c_{N-1} \end{pmatrix}, \quad \text{где } n < b < \frac{1}{2}N$$

Тест проверки данной последовательности будет состоять в следующем:

1. Записать $N > 2n$ элементов последовательности.

2. Выбрать параметр “ b ”

3. Составить матрицу C

4. Рассчитать ранг C

5. Если ранг $C < b$, то принимаем гипотезу, что последовательность генерируется ЛРПС, а если ранг $C \geq b$, то считаем, что это чистый шум.

Если длина регистра велика, то число операций, необходимых для нахождения ранга будет очень велико. Однако, появлению хотя бы одного непростого минора, может указать случайный этот сигнал или нет.

Для задания ЛРПС корнями конечных полей рассмотрим связь конечного поля и ЛРПС. Выходные последовательности ЛРПС при различном начальном заполнении образуют поле, где сложение по модулю два (mod 2), а умножение как обычное умножение многочленов, при этом x^{n+1} заменяется на 1, x^{n+2} на x и т.д. В результате умножения получается другой элемент поля, то есть выходная последовательность ЛРПС записывается как многочлен. Рассмотрим задание выходной последовательности примитивным элементом поля [3]. Пусть $h(x)$ - многочлен степени “ n ”, определяющий отводы ЛРПС. Составим характеристическое уравнение вида: $h(x)=0$. Если α какой-нибудь корень уравнения из поля Галуа, то легко можно найти все остальные корни. Они имеют следующий вид: α^{2^k} , $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$. В каждом конечном поле есть так называемый примитивный элемент, степенью которого являются все элементы поля. Если многочлен $h(x)$ примитивен, то все его корни являются примитивными элементами поля и выходную последовательность ЛРПС можно представить через корни как [3]:

$$b_i = \sum_{k=0}^{n-1} A_k (\alpha^{2^k})^i, \quad i = 0, 1, \dots, \quad \text{где } A_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

Корень A_k , определяют по начальному заполнению регистра. Для этого составим систему уравнений:

$$a_i = \sum_{k=0}^{n-1} A_k (\alpha^{2^k})^i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad \text{где } a_0, \dots, a_{n-1} - \text{известное начальное заполнение}$$

регистра. Тогда из линейной системы уравнений находим:

$$A_k, \quad k=0, 1, \dots, n-1; A_k \in GF(2), \text{ то есть } A_k=0 \text{ или } 1.$$

Представление ЛРПС через корни (b_i) важно хотя бы для того, что оно позволяет вычислить элементы выходной последовательности с произвольным номером без последовательного перебора всех состояний [1,2,4,5]. Для этого заметим, что любой элемент α^i при $i \geq n$, можно представить как сумму элементов поля более низкой степени.

Найдем параметры ЛРПС по выходной последовательности. Пусть неизвестно начальное заполнение и отводы ЛРПС (т.е. многочлен $h(x)$). Требуется по выходной последовательности определить эти отводы. Для этого достаточно принять $2n$ следующих друг за другом символов $a_{k-n}, a_{k-n+1}, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots, a_{k+n-1}$ и тогда можно составить “ n ” неоднородных линейных уравнений с “ n ” неизвестными $h_1, \dots, h_n$ [3].

05.13.19

А.А. Шашков, Ф.Г. Хисамов д-р техн. наук

АО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» -
«НИИ – космического приборостроения»,
Москва, smich-kr@mail.ru,
НЧОУ ВО «КИИЗ»,
Краснодар, kiiz@rambler.ru

МЕТОД ИМИТОЗАЩИТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ОТ РЕТРАНСЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ С МАЛЫМ ВРЕМЕНЕМ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

В работе рассматривается имитозащита специальных систем связи с шумоподобными сигналами, от ретранслированных помех с малым временем запаздывания, когда наряду с защитой от помех используется одновременное засекречивание информации на уровне непрерывных сигналов.

Ключевые слова: шумоподобные сигналы, модемное засекречивание информации, имитозащита, ретранслированные помехи.

При оценке помехозащищенности специальных систем связи с шумоподобными сигналами рассматриваются помехи, в том числе и ретранслированные, где время запаздывания не менее длительности субэлемента сигнала [1]. Если отказаться от этого условия и полагать, что по части принимаемого субэлемента сигнала формируется помеха имитирующая (повторяющая) псевдослучайную гамму (ПСГ) с дополнительной случайной манипуляцией, то при условии, когда соотношение сигнал помеха будет меньше единицы $\frac{P_c}{P_i} < 1$ можно эффективно подавить полезный сигнал, см.рис.1. Для практической осуществимости такого способа необходимо, обеспечить малое время запаздывания сигнала в канале связи.

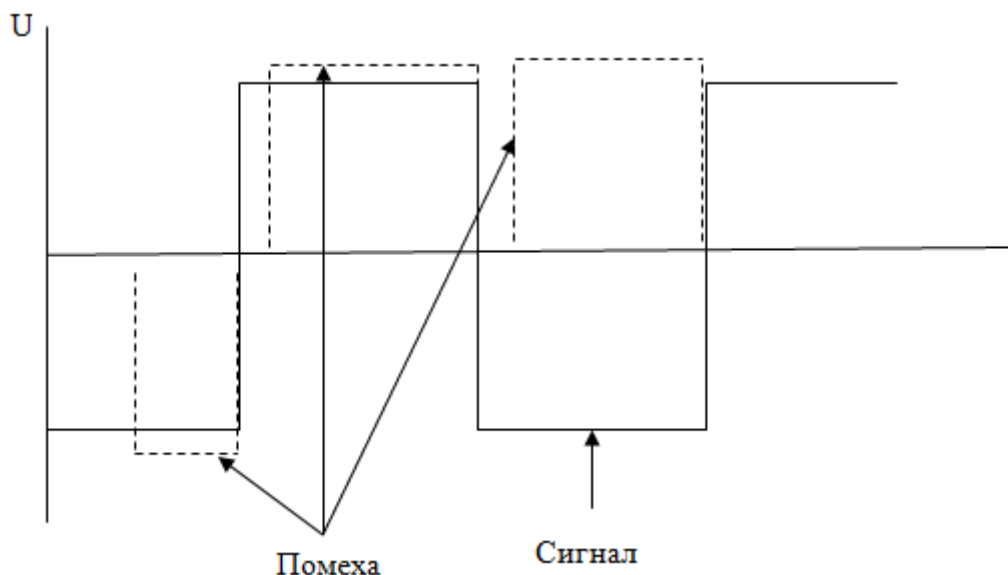


Рис.1 Помеха имитирующая псевдослучайную гамму

Это не всегда выполняется, но при низких скоростях манипуляции в канале ($VK = 100-200$ бод) относительно коротких трассах, а также значительном уровне сигнала, когда уже по незначительной части субэлемента можно определить его знак, могут создаваться условия для формирования такого вида помехи [1].

Известны [2] методы защиты от помех с произвольно малым временем запаздывания, когда псевдослучайная манипуляция (ПС-манипуляция) одновременно осуществляется по фазе и по частоте от различных гамм. Тогда, даже если известна частота текущего субэлемента, измеренная по его части, то генерирование противоположной частоты не достигает цели, поскольку несущая ПС-фаза, передается на другой частоте, а на приеме осуществляется когерентное сложение субэлементов. Изложенное выше относительно возможности "предсказания" гамм относится и к этому случаю и для предсказания, например, трех неизвестных гамм.

Интересно, то обстоятельство, что если в такой системе псевдослучайные сигналы (ПС-сигналы) будут использоваться и для засекречивания информации [3,4], то одновременно с этим будет обеспечена и защита от имитоввода [5].

Действительно в обычных системах засекречивания, если передается состояние покоя, то достаточно вычесть эту известную комбинацию и затем сложить полученную чистую гамму с навязываемой информацией, чтобы после расшифровки выделилась именно эта информация [4]. Здесь же если мы попытаемся "накладывать" новую информацию, то это приведет к изменению частоты и тогда к появлению на этих частотах случайных комбинаций фаз, которые не будут свернуты на приеме, а тогда такая навязываемая помеха не будет действовать на сигнал.

Рассмотренная выше непрерывная система имитозащиты может быть преобразована почти в эквивалентный дискретный вариант (см.рис.2).

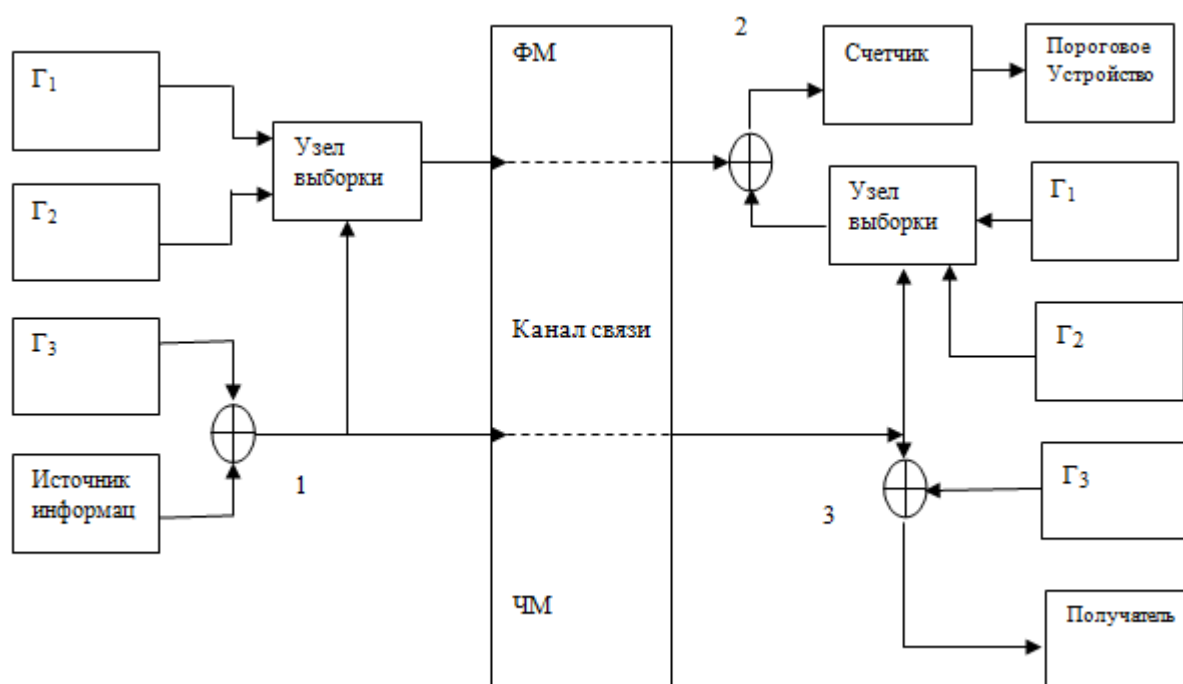


Рис.2 Способ имитозащиты

Из рис.2 видно, что если противник пытается навязать ложную информацию, то даже при передаче информационных нулей, добавление к ним навязываемой информации приведет к изменению управления узлом выборки на приеме и, следовательно, появлению единиц на выходе сумматора 2, которые будут подсчитываться счетчиком и при превышении порога появится сигнал об имитовоздействии. Если же попытаться изменить и контрольную последовательность, то это невозможно в точности выполнить, так как неизвестно, какие бы элементы этой последовательности передавались при других информационных символах. Ясно, что при таком способе необходима двойная избыточность, то есть скорость передачи в канале должна быть в два раза больше, чем от источника.

Такой способ технически можно реализовать при помощи одновременно двух видов манипуляций ЧМ и ОФМ [2]. Можно также сократить избыточность, если управляющую последовательность передавать с меньшей скоростью. Ясно, что как криптограмму, так и управляемую последовательность можно передавать по "одному каналу" путем "временного уплотнения". В принципе, данный способ имитозащиты не отличается от известных методов [5]. Его основное отличие проявляется именно в непрерывном варианте, когда наличие "управляющей" последовательности позволяет осуществлять когерентное сложение и тем самым не только обнаруживать имитовоздействие, но и исключать воздействие помех.

Отмеченные отличия специальных систем связи с ПС-ФМ сигналами от систем канального засекречивания [4] приводят к некоторым особенностям анализа разведзащищенности ПС-сигналов, которые формулируются ниже:

1. Для создания оптимизированной помехи выявление ПСГ необходимо осуществить в реальном времени. Если ее структура может быть выявлена позже, то передача может уже закончиться, и создание помехи не будет иметь смысла.

2. Если информация уже подверглась засекречиванию, то она не будет иметь избыточности и злоумышленник не сможет провести анализ по статистическим свойствам перехваченного сообщения.

3. Анализ разведзащищенности необходимо вести на непрерывном уровне, так как в противном случае ПСГ будет потеряна в шумах.

4. Эффективность анализа разведзащищенности злоумышленник не сможет проверить непосредственно, так как он не в состоянии определить подавляется передача или нет, то есть в отличие от систем засекречивания здесь невозможно будет подобрать приемлемый вариант вскрытия структуры ПСГ.

Список литературы

1. Информационные технологии в радиотехнических системах : учеб. пособие / под ред. И.Б. Федорова. — Изд. 3-е перераб. и доп. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 846 с. : ил
2. Шорин О.А., Каспари Р.Ю., Осин В.В. Рынок корпоративных пользователей и технология широкополосного мобильного доступа McWILL // Широкополосный беспроводной доступ. - Электросвязь. - 2017. - №1. - С. 16-21
3. Шеннон К. Теория связи в секретных системах \ В кн.: Работы по теории информации и кибернетике. - М.: ИЛ, 1963. С 333 -369.
4. Хоффман Л.Дж. Современные методы защиты информации \ Пер с англ. М.: - Сов. Радио 1980. 264с
5. Диффи У. Защищенность и имитостойкость: введение в криптографию \ У.Диффи, М. Хеллман \ ТИИЭР. — 1979. — Т.67. - №3. — С. 71-109.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, Р.Х. Шагимуллин, В.С. Минкин
АЛГОРИТМ РАЦИОНАЛЬНОГО ВНУТРИПЛАСТОВОГО
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ И
БИТУМИНОЗНЫХ НЕФТЕЙ. СООБЩЕНИЕ 2. ОСНОВНЫЕ
ПРИЕМЫ И ОПЕРАЦИИ. ЧАСТЬ 1. СОПРЯЖЕННОЕ
КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
Сама идея внутрипластового преобразования углеводородного сырья, по сути, принадлежит великому химику, технологу и предпринимателю Д.И. Менделееву, который еще во второй половине 19-го века предложил осуществлять подземную газификацию угля. Причем образовавшиеся в результате замедленного горения пустоты в угольном пласте рекомендовал использовать в качестве хранилища газа. Ранее [1], мы достаточно подробно охарактеризовали состояние искомой проблемы, обосновали постановку задач исследований, предложили авторские отправные посылки. В Сообщении 2 дается характеристика основных операций и приемов предлагаемого алгоритма внутрипластового преобразования нефтей. При этом в первой части Сообщения 2 авторы сосредоточились на таком целесообразном, с нашей точки зрения, приеме, как сопряженное качественно-количественное моделирование.

В.С. Минкин, Р.Х. Зиятдинов, А.В. Репина, Р.Х. Шагимуллин
ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МАГНИТНОГО ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА
Ключевые слова: магнитное поле, передаточный механизм, цевки.

Рассмотрены возможности применения механизмов с магнитными связями передаточных звеньев. Показано, что подобные механизмы могут быть эффективными в различных технологических процессах благодаря особенностям конструкции цевочного механизма, обеспечивающего кольцевое магнитное поле.

В.С. Минкин, Ю.Н. Хахимуллин, Т.Ю. Миракова,
Т.Ю. Старостина, Р.Х. Шагимуллин
ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ
БИТУМСОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОМЕРОВ

Ключевые слова: герметизирующая композиция, полисульфидный олигомер, битум, битуминозный песчаник.
Исследованы кинетика отверждения и свойства защитных покрытий на основе полисульфидных олигомеров в зависимости от дозировки битумсодержащей добавки (битума или битуминозного песчаника). Обсуждаются механизмы влияния битумсодержащих компонентов на процессы отверждения полисульфидных герметизирующих композиций различными вулканизующими агентами.

Аббаси Мохсин Маншад
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОТРИЦАНИЙ НА ТЕКСТ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И КОЛЕСА
ЭМОЦИЙ ПЛУТЧИКА

Ключевые слова - эмоции, текст, отрицания, общество, мнения, анализ.

Системы, разработанные для анализа текста и эмоций из Интернета, имеют различные приложения, такие как прогнозирование будущего события, выявление групп ненависти через Интернет, приложение для онлайн-покупок и т.д. Для анализа и наблюдения реальных эмоций из текста, необходимо уделить особое внимание некоторым факторам, которые могут изменить семантику текста и его полярность, такие как отрицания в тексте. Мы используем кластеризацию, чтобы идентифицировать группу отрицаний в тексте, а затем предоставляем механизм для работы с ними, чтобы сохранить реальную полярность текста.

B.N. Ivanov, R.N. Kostromin, R.Kh. Shagimullin, V.S. Minkin
ALGORITHM FOR RATIONAL INLAST PLASTIC
TRANSFORMATION OF HIGH-VISCOUS AND
BITUMINOUS OILS. MESSAGE 2. BASIC RECEPTIONS
AND OPERATIONS. PART 1. CONNECTED QUALITATIVE
QUANTITATIVE MODELING

The very idea of in-situ conversion of carbon and hydrocarbon feedstocks, in fact, belongs to the great chemist, technologist and entrepreneur D.I. Mendeleev, who in the second half of the 19th century proposed underground coal gasification. Moreover, the voids formed as a result of delayed burning in a coal seam were recommended to be used as a gas storage. Earlier [1], we described in sufficient detail the state of the problem we were looking for, substantiated the formulation of research problems, and proposed authorial premises. Message 2 describes the main operations and techniques of the proposed in-situ oil conversion algorithm. At the same time, in the first part of Message 2, the authors focused on such an expedient, from our point of view, technique as coupled qualitative and quantitative modeling.

V.S. Minkin, R.H. Ziyatdinov, A.V. Repina, R.Kh. Shagimullin
POSSIBLE FIELDS OF USE THE MAGNETIC
PLANETARY GEAR

Keywords: magnetic field, transfer mechanism, bobbin.
Possibilities of application of mechanisms with magnetic connections of transfer links are considered. It is shown that such mechanisms can be effective in various technological processes due to the design features of the tsevochny mechanism providing an annular magnetic field.

V.S. Minkin, Yu.N. Khakimullin, T.Yu. Mirakova,
T.Yu. Starostina, R.Kh. Shagimullin
PROTECTIVE COATINGS BASED ON BITUMEN-
CONTAINING OLIGOMERS

Keywords: sealant compositions, polysulfide oligomers, bitumen, bituminous sandstone.

Kinetics of hardening and properties of defensive coatings on the base of polysulfide oligomers are investigated in respect to bitumen containing addition (bitumen or bituminous sandstone) concentration. Mechanisms of bitumen containing components impact on the process of polysulfide sealant compositions hardening by the different vulcanization agents have been discussing.

Abbasi Mohsin Manshad
ANALYZING THE AFFECT OF NEGATION ON TEXT
USING CLUSTERING AND PLUTCHIK WHEEL OF
EMOTION

Keywords - emotions, text, negations, society, opinions, analysis.
Systems designed to analyze text and emotions from the Internet have various applications, such as forecasting future events, identifying hatred groups via the Internet, an online shopping application, etc. To analyze and observe real emotions from the text, it is necessary to pay special attention to some factors that can change the semantics of the text and its polarity, such as negations in the text. We use clustering to identify a group of negatives in the text, and then provide a mechanism for working with them to preserve the real polarity of the text.

В.И. Ампилов

**СИСТЕМА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПОВ
СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ И ЧЕРТЕЖЕЙ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Ключевые слова: информационная среда, методические компоненты, электронные модели деталей, электронная документация.

Статья посвящена вопросам разработки дидактических компонент системы управления данными об изделии. Предлагаемая информационная среда может рассматриваться как средство методической поддержки этапов конструирования и изготовления машиностроительных деталей сложной структуры и формы. Представлен алгоритм применения методических материалов в обучающей системе.

В.В. Андреев, Н.Г. Андреев, Ж.В. Гладкова, Е.В. Панина,
В.В. Слюсарь

**РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ НЕЙТРОННОГО
КОНВЕРТЕРА**

Ключевые слова: нейтронный конвертер, замедлитель, биологическая защита, нейтроны, нейтронный поток.

В статье представлены результаты оптимизации конструкции нейтронного конвертера. Рассмотрены 25 вариантов конструкции, отличающихся друг от друга материалами биологической защиты и замедлителя. Выполненный анализ позволил оценить качество реализованного практически варианта конструкции.

О.В. Андреева, Я.С. Антонова, В.В. Андреев
**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ОБ УСЛОВИЯХ
ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ
МЕТОДИКИ ОБОБЩЕННОГО АНАЛИЗА И
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Ключевые слова: усталость металлов, прогнозирование, расчетные программы.

В статье рассмотрена проблема восстановления информации об условиях испытаний на усталость металлических материалов, испытывающих циклические нагрузки в условиях различных комбинаций действующих факторов, и представлены пути ее решения с помощью методов обобщенного анализа и нейросетевого моделирования. Описано программное обеспечение, разработанное для решения поставленной задачи.

О.В. Андреева, Ю.С. Тарасова, Д.В. Тоскин
**КЛАССИФИКАЦИЯ СКОПЛЕНИЙ ОБЛАКОВ
ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ СО СПУТНИКА**

Ключевые слова: классификация, облака, скопления маленьких облаков, нейронные сети, изображения со спутника.

В рамках данной работы была написана модель нейронной сети для классификации 4 типов скоплений мелких облаков (сахар, цветок, рыба, гравий). В качестве метрики для оценки точности классификации обученной сети был выбран коэффициент Дайса. Точность распознавания и классификации скоплений составила 58% (0.58377), которая оказалась достаточно высока в сравнении с лучшими результатами других исследователей.

О.В. Артюшкин
**КОМПОНЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРУКТУРНО-
ИДЕНТИФИКАЦИОННОМ СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ
ЭРГАТИЧЕСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ**

Ключевые слова: идентификация, системный анализ, кортеж, компонента, модель, эргатическая автоматизированная обучающая система.

В работе представлены результаты системного анализа

V.I. Ampilov

**AUTOMATED SYSTEM FOR METHODOLOGICAL
SUPPORT OF CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL
STAGES FOR MODELLING AND DESIGN ON MACHINE
ENGINEERING COMPONENTS**

Keywords: Web-based application, methodological components, software models of engineering components, electronic manual. The article examines guidelines for implementation of didactic components for the system of engineering components information management. Examined software application may be considered as a tool for methodological support at stages of design and production of machine engineering components having complex structure and form. The article suggests the algorithm for the use of methodological materials in the training system.

V.V. Andreev, N.G. Andreev, Z.V. Gladkova, E.V. Panina,
V.V. Slyusar

**CALCULATION AND THEORETICAL JUSTIFICATION OF
THE NEUTRON CONVERTER DESIGN**

Keywords: neutron converter, moderator, biological protection, neutrons, neutron flux.

The article presents the results of optimizing the design of a neutron converter. 25 design options are considered that differ from each other in biological protection and moderator materials. The performed analysis made it possible to evaluate the quality of the practically implemented design variant.

O.V. Andreeva, Ya.S. Antonova, V.V. Andreev
**THE INFORMATION RESTORATION ABOUT THE
CONDITIONS OF TESTS ON FATIGUE OF METALLS
BASED ON THE GENERALIZED ANALYSIS
METHODOLOGY AND INTELLECTUAL INFORMATION
SYSTEMS**

Keywords: metal fatigue, forecasting, calculation programs.

The article discusses the problem of recovering information about the conditions of fatigue tests of metallic materials undergoing cyclic loading under various combinations of acting factors, and presents ways to solve it using generalized analysis methods and neural network modeling. The software developed to solve the problem is described.

O.V. Andreeva, I.S. Tarasova, D.V. Toskin
**CLASSIFICATION OF CLOUD CLUSTERS BY SATELLITE
IMAGES**

Keywords: classification, clouds, clusters of small clouds, neural networks, satellite images.

In this paper, a neural network model was written to classify 4 types of small clouds clusters (sugar, flower, fish, gravel). The Dice coefficient was chosen as a metric for assessing the accuracy of the trained network for classification. Accuracy of recognition and classification of clusters that has been reached was 58% (0.58377), which turned out to be quite high in comparison with the best results of other researchers.

O.V. Artyushkin
**COMPONENT MODELING IN STRUCTURAL
IDENTIFICATION SYSTEM ANALYSIS OF ERGATIC
AUTOMATED TRAINING SYSTEMS**

Keywords: identification, system analysis, tuple, component, model, ergatic automated training system.

The paper presents the results of the system analysis of structural-component models of ergatic automated training systems (EAOS) using the structural-identification approach. The

структурно-компонентных моделей эргатических автоматизированных обучающих систем (ЭАОС) с использованием структурно-идентификационного подхода. Обосновано применение принципа структурно-идентификационного управления в системном анализе ЭАОС. Рассмотрены базовые понятия структурной идентификации: компонента системы, текущее и эталонное состояние системы, короткая запись. Представлены в коротком виде компонентные модели предметной области, модель обучающегося и модель автоматизированного обучения.

А.П. Буйносов, А.С. Баитов
**ВЫЯВЛЕНИЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ
И РЕЛЬСОВЫХ АВТОБУСОВ НАИБОЛЕЕ
ПОДВЕРЖЕННЫХ ОТКАЗАМ**

Ключевые слова: электропоезд, рельсовый автобус, узел, деталь, износ, отказ, выявление.

В статье приводится анализ причин отказов узлов, деталей электропоездов и рельсовых автобусов, допущенных на инфраструктуре ОАО «РЖД». Определены основные узлы, и элементы механической части электропоездов и рельсовых автобусов, подверженные отказам и причины их возникновения. Определены основные направления по повышению надежности.

Л.А. Влацкая, Н.Г. Семенова, Э.Л. Греков
**СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Ключевые слова: несинусоидальный электрический сигнал, эмпирическая модовая декомпозиция, В-сплайн разложение. Предложен новый алгоритм эмпирической модовой декомпозиции несинусоидальных сигналов, регистрируемых в электроэнергетических системах, посредством В-сплайн разложения. Приведены результаты сравнительного анализа программной реализации разработанного алгоритма и классического алгоритма эмпирической модовой декомпозиции.

И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев
**СОЗДАНИЕ ОБЛАЧНОЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЙ**

Ключевые слова: управление жизненным циклом изделия, облачная система управления жизненным циклом изделия, виртуальное предприятие, автономные веб-приложения.

В статье представлен подход к созданию облачной информационной системы управления жизненным циклом изделия, применимой на всех этапах жизненного цикла. Новизна предлагаемого подхода заключается в использовании автономных отказоустойчивых веб-приложений в качестве клиентской части и облачной инфраструктуры в качестве серверной части информационной системы. Предлагаемая система может стать основой для интеграции систем управления жизненным циклом предприятий-смежников и базовой платформой для создания виртуального предприятия.

Д.С. Горбатенко
**АВАРИЙНОСТЬ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ,
ИСПОЛЬЗУЕМОМ В РЕЖИМЕ КАРШЕРИНГА**

Ключевые слова: каршеринг, дорожно-транспортное происшествие, профилактика аварийности, нарушения правил дорожного движения, регрессионные модели аварийности. В статье рассматривается проблема возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием автомобилей, используемых в режиме каршеринга. Проведен анализ основных причин аварийности как с участием, так и по вине водителей автомобилей каршеринга. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике аварийности.

application of the principle of structural identification management in the system analysis of EAOS is substantiated. The basic concepts of structural identification are considered: system component, current and reference state of the system, tuple record. The component models of the subject area, the model of the student and the model of automated learning are presented in tuple form.

A.P. Buinosov, A.S. Baitov
**IDENTIFICATION OF ASSEMBLIES AND DETAILS OF
ELECTRIC TRAINS AND RAIL BUSES THE MOST FAILED**

Keywords: electric train, rail bus, unit, part, wear, failure, identification.

The article provides an analysis of the causes of failure of nodes, parts of electric trains and rail buses allowed on the infrastructure of JSC Russian Railways. The main components and elements of the mechanical part of electric trains and rail buses that are subject to failures and the causes of their occurrence are identified. The main directions for improving reliability are identified.

L.A. Vetskaya, N.G. Semenov, E.L. Grekov
**COMPARISON OF FASHION ALGORITHMS
DECOMPOSITIONS IN RESEARCH NONSINUSOIDAL
ELECTRICAL SIGNALS**

Keywords: non-sinusoidal electrical signal, empirical mode decomposition, B-spline decomposition.

A new algorithm of empirical mode decomposition of non-sinusoidal signals recorded in electric power systems by means of B-spline decomposition is proposed. The results of a comparative analysis of the software implementation of the developed algorithm and the classical empirical mode decomposition algorithm are presented.

I.B. Ginzburg, S.N. Padalko, M.N. Terentiev
**CREATING A CLOUD FAULT-TOLERANT PRODUCT LIFE
CYCLE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM**

Keywords: product lifecycle management, cloud product lifecycle management system, virtual enterprise, offline web applications. The article presents an approach to creating a cloud-based product lifecycle information management system applicable at all stages of the life cycle. The proposed approach novelty is offline fault-tolerant web applications use on client side and the cloud infrastructure on the information system server side. The proposed system can become the allied enterprises life cycle management systems integration basis and the basic platform for a virtual enterprise.

D.S. Gorbatenko
**ACCIDENT IN MOTOR VEHICLES USED
IN CARSHING MODE**

Keywords: car-sharing, traffic accident, accident prevention, violation of traffic rules, regression accident models.

The article discusses the problem of traffic accidents involving cars used in car sharing mode. The analysis of the main causes of accidents is carried out both with the participation and through the fault of drivers of car sharing cars. Accident prevention measures are proposed and theoretically justified.

Л.С. Григорьева, В.А. Григорьев, М.Г. Бруяко
СИСТЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ
Ключевые слова: SCADA-система, база данных, сервис,
реальное время, контроллер.

В статье представлены структурные схемы программно-аппаратного комплекса, предназначенного для оперативного контроля и регистрации быстроменяющихся нейтронно-физических и технологических параметров энергоблока атомной электростанции на этапах ввода энергоблока в эксплуатацию.

П.А. Давыденко, Самба Диарра, Этиенн Хаба
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ПОЛИКАНАЛЬНОЙ
ПОДАЧЕЙ СОЖ НА ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ

Ключевые слова: СОЖ, режущий инструмент, поликанальная подача, расход СОЖ, подвод СОЖ.

В данной статье рассмотрены вопросы системного анализа разработки конструкций режущего инструмента со сменными многогранными пластинами с поликанальной подачей СОЖ на оборудовании с ЧПУ. Дана характеристика влияния обрабатываемого материала на способ подачи СОЖ и конструкцию режущего инструмента.

Н.И. Корякина, К.Р. Медведева, В.А. Чирков,
В.М. Штейн, А.А. Яковлев
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И
ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГОРИЗОНТЕ
К 2050 ГОДУ

Ключевые слова: ядерно-энергетический комплекс, электрогенерация, обобщенная зависимость, экономические факторы, прогнозирование, валовой внутренний продукт. В статье производится моделирование ядерной энергетики Российской Федерации на горизонте к 2050 году. В предлагаемой модели используется прогнозирование социальных, демографических и экономических факторов. Исходные данные для построения модели получены из открытых источников. Разработанная модель позволяет спрогнозировать необходимую суммарную мощность электрогенерации атомных станций Российской Федерации для достижения доли выработки электроэнергии ядерно-энергетическим комплексом России на уровне 30% от общей генерации электроэнергии.

В.В. Ломакин, Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева,
О.П. Пусная, А.В. Жуков
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
РОССИЙСКИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: платформа, корпоративные информационные системы, многокритериальный анализ, приоритетные критерии отбора.

В настоящее время на российском рынке программного обеспечения представлен широкий спектр платформ, которые позволяют разрабатывать корпоративные информационные системы, как для российского бизнеса, так и для совместных предприятий.

В данной работе приведен краткий многокритериальный анализ популярных российских платформ и разрабатываемой Платформы по наиболее актуальным требованиям к разработке и функционированию КИС. В качестве характеристик для сравнения платформ были выбраны: компонентный состав Платформы, поддерживаемое программное окружение, возможности масштабирования и отказоустойчивости, характеристики среды и технологии быстрой разработки приложений, характеристики администрирования и безопасности, характеристики систем управления базами данных, характеристики прикладных и

L.S. Grigoryeva, V.A. Grigoryev, M.G. Bruyako
EXPERIMENTAL CONTROL SYSTEM
Keywords: SCADA-system, database, service, real time,
controller.

This paper presents the structural diagrams of a hardware-software complex designed for operational monitoring and registration of rapidly changing neutron-physical and technological parameters of a nuclear power unit at the stages of commissioning a power unit.

P.A. Davydenko, Samba Diarra, Etienne Haba
SYSTEM ANALYSIS DESIGN OF CUTTING TOOL
DEVELOPMENT WITH POLYGONAL COOLANT SUPPLY
ON CNC EQUIPMENT

Keywords: coolant, cutting tool, polygonal supply, coolant flow, coolant supply.

In this article the questions of system analysis development of designs of the cutting tool with replaceable polyhedral plates with multichannel coolant supply on the equipment with CNC are considered. The influence of the processed material on the coolant supply method and the design of the cutting tool is analyzed.

N.I. Koryakina, K.R. Medvedeva, V.A. Chirkov,
V.M. Shteyn, A.A. Yakovlev
MODELING OF THE NUCLEAR ENERGY COMPLEX OF
THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON SOCIO-
ECONOMIC AND DEMOGRAPHIC FACTORS ON THE
HORIZON BY 2050

Keywords: nuclear power complex, power generation, generalized dependence, economic factors, forecasting, gross domestic product.

The article simulates the nuclear power industry of the Russian Federation on the horizon by 2050. The proposed model uses forecasting of social, demographic and economic factors. The initial data for building the model was obtained from open sources. The developed model allows us to predict the required total power generation capacity of nuclear plants of the Russian Federation to achieve a share of electricity generation by the Russian nuclear power complex at the level of 30% of total electricity generation.

V.V. Lomakin, N.P. Putivzeva, T.V. Zaitseva,
O.P. Pusnaya, A.V. Zhukov
COMPARATIVE MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF
RUSSIAN PLATFORMS FOR THE DEVELOPMENT OF
CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

Keywords: platform, corporate information systems, multi-criteria analysis, priority selection criteria.

Nowadays, the Russian software market has a wide range of platforms that allow the development of corporate information systems for both Russian business and joint ventures.

This paper provides a brief multi-criteria analysis of popular Russian platforms and the Platform under development according to the most relevant requirements for the development and functioning of CIS. The component composition of the Platform, the supported software environment, the ability to scale and fault tolerance, the characteristics of the environment and technologies for rapid application development, the characteristics of administration and security, the characteristics of database management systems, the characteristics of application and interface mechanisms, the characteristics of analytical and reporting mechanisms, characteristics for managing reference information and information on regulations and characteristics of integration mechanisms were selected as characteristics for comparison of platforms.

интерфейсных механизмов, характеристики аналитических и отчетных механизмов, характеристики управления нормативно-справочной информацией и характеристики интеграционных механизмов.

А.О. Махорин

ЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЪЕКТИВНЫХ И БИЕКТИВНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

Ключевые слова: комбинаторная оптимизация, инъекция, биекция, целочисленное линейное программирование, алгоритм неявного перебора.

В данной статье рассмотрены практические способы целочисленного моделирования инъективных и биективных отображений, возникающих во многих задачах комбинаторной оптимизации. Показано, каким образом можно получить более сильные описания таких отображений, что позволяет существенно повысить эффективность решения соответствующих задач алгоритмами неявного перебора.

М.А. Надежкин

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ТАБЛИЦ РЕКОНФИГУРАЦИИ СТРУКТУРЫ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: автоморфизм, теория групп, группы симметрии, отказоустойчивость.

Рассматривается проблема отказоустойчивости многопроцессорных вычислительных систем. Алгебраические структуры, в частности группы симметрии, предложены как основа модели обеспечивающей свойство отказоустойчивости вычислительной системе. Приведено описание разработанного алгоритма формирования таблиц реконфигурации.

А.Д. Плужников, Е.Н. Приблудова, А.Г. Рындык,
Д.М. Балашова, Л.В. Когтева, Е.Г. Чужайкин

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ СКОРОСТИ ОБЗОРА

Ключевые слова: извлечение информации, обработка радиолокационной информации, повышение скорости обзора, диаграмма направленности.

Повышение скорости обзора по угловой координате с целью пространственного подавления мешающих отражений от близко расположенных объектов при малой скважности зондирования является нетрадиционным для радиолокационного извлечения информации об окружающей среде. В работе проведен анализ обработки информации при обнаружении воздушных объектов в указанных условиях. Рассмотрены возможные модификации обработки информации при повышенной скорости обзора.

И.С. Полевщиков, К.Н. Баяндин

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НАВЫКАМ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МЕТОДОВ «ЧЕРНОГО ЯЩИКА»)

Ключевые слова: тестирование программного обеспечения, методы черного ящика, граф причин-следствий, автоматизация образовательного процесса.

Представлены результаты исследований в области автоматизации обучения методом тестирования программного обеспечения (на примере одного из методов «черного ящика»). Разработан прототип программного продукта, применение которого способствует ускорению процесса обучения и повышению понимания предметной области за счет высокого уровня интерактивности и визуализации. Данная программа может быть усовершенствована с целью использования в реальных проектах для упрощения работы специалистов по тестированию.

A.O. Makhorin

INTEGER FORMULATIONS OF INJECTIONS AND BIJECTIONS

Keywords: combinatorial optimization, injection, bijection, integer linear programming, implicit enumeration algorithm.

This article considers practical techniques of integer formulations of injection and bijection mappings that naturally appear in many combinatorial optimization applications. It is shown how to obtain stronger valid formulations of such mappings that allows essentially increasing efficiency of the problem solution by the implicit enumerations algorithms.

M.A. Nadezhkin

THE ALGORITHM OF RECONFIGURATION TABLES FORMING OF A FAULT TOLERANT SYSTEM STRUCTURE

Keywords: automorphism, symmetry groups, group theory, fault tolerance.

The problem of fault tolerance of multiprocessor computing systems is considered. Algebraic structures, in particular symmetry groups, are proposed as the basis of a model providing the fault tolerance property of a computing system. The description of the developed algorithm for generating system reconfiguration tables is given.

A.D. Pluzhnikov, E.N. Pribludova, A.G. Ryndyk,
D.M. Balashova, L.V. Kogteva, E.G. Chuzhaykin

FEATURES OF RADAR INFORMATION PROCESSING AT SCANNING RATE INCREASE

Keywords: extraction of information, radar information processing, scanning rate increase, antenna pattern

The scanning rate increase of the angular coordinate in order to spatial interfering reflectors suppression from the close reflectors with quasi-continuous radiation is unconventional for radar extraction of environmental information. The analysis of information processing at detection of aerial objects under the specified conditions is made in the work. Possible modifications of information processing at scanning rate increase are considered.

I.S. Polevshchikov, K.N. Bayandin

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AUTOMATION TOOLS FOR TEACHING SOFTWARE TESTING SKILLS (ON THE EXAMPLE OF "BLACK BOX" METHODS)

Keywords: software testing, "black box" methods, cause-effect graph, educational process automation.

The results of research in the field of automation of training in software testing methods are presented (on the example of one of the "black box" methods). A prototype of the corresponding software product has been developed. The use of this program helps to accelerate the learning process and increase understanding of the subject area due to the high level of interactivity and visualization. This software product can be improved for use in real projects to simplify the work of testing specialists. The research is supported by a stipend of the

Д.Г. Алленов, Р.А. Пинаев, В.И. Кравченко, Г. Сиамак
АНАЛИЗ ИЗНОСА ПОДШИПНИКОВ МЕТОДОМ
ПРЯМОГО СПЕКТРА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ КРУТЯЩЕГО
ДВИЖЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОМОТОРА

Ключевые слова: подшипники качения, виброакустическая диагностика, амплитудно-частотная характеристика.

В статье проводится исследование подшипников разной степени износа с помощью метода прямого спектра. Для исследования используется узкополосный спектральный анализатор. Опыт проводится с целью определения влияния вида износа подшипников на частотные характеристики виброакустического сигнала, с помощью чего предположительно возможно прогнозирование выхода из строя подшипника.

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, Е.И. Клечкин, М.В. Сескин
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЯ
МАЛОМОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В
УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ключевые слова: элемент Пельтье, аппаратная платформа Arduino, источник тока, температура.

В работе предложена система автоматизации процесса испытания мало мощных полупроводниковых приборов на основе элементов Пельтье в условиях действия пониженной температуры. Проведены испытания элементов Пельтье с различными вариантами расположения элементов друг относительно друга, в результате которых была достигнута минимальная температура -20°C .

О.А. Билоус, А.В. Кухарчук, Г.А. Тимофеева
ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НА
УЧАСТКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕХА

Ключевые слова: коэффициент мощности, $\cos \varphi$, компенсация реактивной мощности.

Рассмотрены мероприятия по улучшению коэффициента мощности на участке производственного цеха, позволяющие повысить качество электроэнергии у потребителей, снизить потери электроэнергии, снизить затраты на эксплуатацию. Проведен расчет и выбор электродвигателей, силового трансформатора и осветительных приборов, при замене которых достигается требуемое значение коэффициента мощности.

Н.А. Бухтоярова, В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
АДАПТАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ
СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ
ДИАГНОСТИКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, обучение, параметрическая адаптация, диагностика, технологическое оборудование.

В статье представлены результаты исследования методов параметрической адаптации нейросетевых моделей, планируемых для использования в составе аналитического обеспечения киберфизической системы как элемента системы поддержки принятия решений при диагностике оборудования. Рассмотрены алгоритмы обучения нейронных сетей, обеспечивающие возможность адаптации моделей применительно к задаче диагностики состояния технологического оборудования.

Н.А. Бухтоярова, В.В. Бухтояров, В.С. Тынченко
СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ИСКУССТВЕННЫХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, синтез структуры, классификация, диагностирование, техническое состояние.

В статье представлены результаты исследования методов

D.G. Allenov, R.A. Pinaev, V.I. Kravchenya, G. Siamak
WEAR ANALYSIS OF BEARINGS BY DIRECT SPECTRUM
METHOD WHEN TRANSMITTING TORQUE MOTION
FROM ELECTRIC MOTOR

Keywords: rolling element bearings, vibroacoustic diagnostics, amplitude frequency response.

The article studies bearings of different wear degree using the direct spectrum method. A narrow spectrum signal analyzer is used for the study. The experiment is carried out in order to determine the effect of the type of bearing wear on the frequency characteristics of the vibration acoustic signal, with the assumption that it can be used for the prediction of bearing failure.

N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, E.I. Klechkin, M.V. Seskin
AUTOMATION OF THE TEST PROCESS OF LOW POWER
SEMICONDUCTOR DEVICES UNDER THE REDUCED
TEMPERATURE ACTION

Keywords: Peltier element, hardware platform Arduino, current source, temperature.

The work proposes a system for automating the testing process of low-power semiconductor devices based on Peltier elements under conditions of low temperature. Peltier elements were tested with various options for the arrangement of elements relative to each other, as a result of which a minimum temperature of -20°C was achieved.

O.A. Bilous, A.V. Kuharchuk, G.A. Timofeeva
INCREASING POWER FACTOR AT THE PRODUCTION
SECTION

Keywords: power factor, $\cos \varphi$, reactive power compensation. Measures to improve the power factor in the paint and impregnation section of the production workshop are considered, which allows to increase the quality of electricity among consumers, to reduce of electricity losses and operating costs. A recalculation of the power electric load by the demand coefficient method was made in connection with a change in the number of power receivers and their capacities. The calculation and selection of electric motors, power transformer and lighting devices has been done. After the implemented replacement of equipment the required value of the power factor is achieved.

N.A. Bukhtoyarova, V.V. Bukhtoyarov, V.S. Tynchenko
RESEARCH OF METHODS OF NEURAL NETWORKS
TRAINING ALGORITHMS FOR DECISION SUPPORT
SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF TECHNOLOGICAL
EQUIPMENT

Keywords: artificial neural networks, training, parametric adaptation, diagnostics, technological equipment.

The article presents the results of a study of the methods of parametric adaptation of neural network models planned for use as part of the analytical support of the cyberphysical production system as an element of the decision support system for equipment diagnostics. Algorithms for training neural networks are considered that provide the ability to adapt models in an automated mode as applied to the problem of diagnosing the state of various types of technological equipment.

N.A. Bukhtoyarova, V.V. Bukhtoyarov, V.S. Tynchenko
STRUCTURAL SYNTHESIS OF ARTIFICIAL NEURAL
NETWORKS FOR PROBLEMS OF TECHNICAL
CONDITION RECOGNITION

Keywords: artificial neural networks, structure synthesis, classification, diagnosis, technical condition.

The article presents the results of a study of methods for the formation of structures of artificial neural networks to solve

формирования структур искусственных нейронных сетей для решения задач распознавания технического состояния. Приведены результаты, полученные для наборов данных, описывающих задачи диагностирования технологического оборудования: насосных и компрессорных агрегатов и измерительных устройств – ультразвуковых расходомеров. Показано преимущество эволюционных методов, обеспечивающих возможность автоматизации решения задачи в условиях создания киберфизической производственной системы.

А.В. Жданов, И.В. Шинаков, Д.А. Родионов, Д.О. Кочетов,
А.В. Черкасова

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОДОВЫХ ВИНТОВ РВМ

Ключевые слова: роликвинтовые механизмы (РВМ), изготовление, резьбошлифование, дефекты поверхностного слоя.

Целью данной работы была конструкторско-технологическая подготовка изготовления ходовых винтов роликвинтового механизма с использованием специальной корректировки наладки резьбошлифовального станка и мероприятий по устранению дефектов поверхностного слоя.

Б.Р. Исакулов, М.В. Акулова, М.Д. Джумабаев,
Х.Т. Абдуллаев, Ж.О. Конысбаева, С.И. Шалабаева
ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ
ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ СЛАБЫХ
И СИЛЬНЫХ КИСЛОТ

Ключевые слова: Шлакощелочные вяжущие, добавки, жидкое стекло, прочность при сжатии, активность вяжущих, зола-унос.

В работе приведены результаты исследования шлакощелочных вяжущих композиции в составе бетона и изучения их свойств при различных условиях твердения. Исследования проводились на образцах шлакощелочных вяжущих композиции в 7-ми, 14-ми и 28 суточном возрасте.

Е.Н. Канинина, В.В. Родин
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ
ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ

Ключевые слова: светораспределение, фотометр, фотоприемник, сила света, кинематическая схема.

В работе рассматриваются вопросы, решаемые в ходе разработки средств измерений светораспределения источников света. А также возможности автоматизации измерений характеристик светодиодов.

А.Н. Кузенков
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ПОМОЛА ЦЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ
РЕГРЕССИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Ключевые слова: регрессионная идентификация, помол цемента, стационарность, критерий Стьюдента, рекуррентный алгоритм метода наименьших квадратов.

В статье обоснована целесообразность применения процедуры регрессионной идентификации для моделирования функционирования системы помола цемента. Для осуществления проверки системы на стационарность обосновано использование критерия Стьюдента.

Л.И. Медведева, П.М. Факанов, М.С. Долматова
АНАЛИЗ ЭТАПОВ РАЗРАБОТКИ АСУТП НА ПРИМЕРЕ
МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: автоматизированная система, массообменные процессы, объект управления, имитационное моделирование.

В статье рассмотрены основные этапы проектирования автоматизированных систем управления процессами очистки отходящих газов методом химической абсорбции и

problems of recognizing the technical condition. The results obtained for data sets describing the tasks of diagnosing technological equipment: pump and compressor units and measuring devices - ultrasonic flow meters are presented. The advantage of evolutionary methods that provide the ability to automate the solution of the problem in the creation of a cyberphysical production system is shown.

A.V. Zhdanov, I.V. Shinakov, D.A. Rodionov, D.O. Kochetov,
A.V. Cherkasova

DESIGN AND TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MANUFACTURE OF RSM RUNNING SCREWS

Keywords: roller screw mechanisms (RSM), manufacturing, thread grinding, surface layer defects.

The aim of this work was the design and technological preparation of the manufacture of lead screws for the roller screw mechanism using special adjustments to the adjustment of the thread grinding machine and measures to eliminate defects in the surface layer.

B.R. Isakulov, M.V. Akulova, M.D. Dzhumabaev,
H.T. Abdullaev, Zh.O. Konysbaeva, S.I. Shalabayeva
STUDY OF THE ACTIVITY OF SLAG-ALKALINE BINDING
COMPOSITIONS BASED ON SALTS OF WEAK AND
STRONG ACIDS

Keywords: Slag binding agents, additives, liquid glass, compression strength, activity of binding agents, fly ash.

The paper presents the results of a study of shak-alkali binders in concrete and a study of their properties under various hardening conditions. The studies were conducted on samples of shako-alkaline astrigent composition at 7, 14 and 28 days old.

Е.Н. Канинина, В.В. Родин
A STUDY OF THE FEASIBILITY OF AUTOMATION OF
MEASUREMENTS OF LEDS

Keywords: light scattering, photometer, the photodetector, luminous intensity, kinematic scheme.

The paper deals with the issues solved during the development of measuring instruments of light distribution of light sources. As well as the possibility of automation of measurement characteristics of LEDs.

А.Н. Кузенков
MODELING THE FUNCTIONING OF A CEMENT
GRINDING SYSTEM USING THE PROGRESS OF
REGRESSIONAL IDENTIFICATION

Keywords: regression identification, cement grinding, stationarity, Student criterion, recursive least squares algorithm. The article substantiates the feasibility of applying the regression identification procedure for modeling the functioning of the system grinding system. To test the system for stationarity, it is justified to use the Student criterion.

Л.И. Медведева, П.М. Факанов, М.С. Долматова
ANALYSIS OF DEVELOPMENT STAGES OF APCs BY THE
EXAMPLE OF MASS-EXCHANGE PROCESSES

Keywords: automated system, mass transfer processes, control object, simulation modeling.

The article discusses the main stages of designing automated control systems for waste gas purification by chemical absorption and rectification of butyl alcohol, which include analysis of the parameters of the control object, justification for

ректификации бутилового спирта, включающие в себя анализ параметров объекта управления, обоснование выбора регулятора, анализ контуров регулирования и технико-экономическое обоснование.

Ж.В. Овадыкова, П.С. Шичёв, Э.Х. Овадыков
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ
ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ДИАГНОСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСНЫХ
АГРЕГАТОВ

Ключевые слова: агрегаты, программный продукт, база данных, программное обеспечение, диагностика, информационно-измерительная система.

Проанализирован уровень разработки программного обеспечения для электропараметрического метода диагностики центробежных насосных агрегатов (ЦНА.) На основании требований современных средств разработки программного обеспечения, разработана база данных, упрощающая, систематизирующая работу с данными о результатах диагностики ЦНА. При этом на выходе получен программный продукт, который легко расширяем и масштабируем.

А.В. Савчиц, В.В. Корзин, Е.Я. Пономарев, М.В. Трухина,
А.В. Поклонская, Н.В. Карнавская
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫМИ АППАРАТАМИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIMINTECH

Ключевые слова: Визуальное моделирование, SimInTech, регулятор, теплообменный аппарат.

В статье рассматривается применение математического моделирования систем автоматического регулирования тепловыми объектами для применения в инженерной практике при проектировании и модернизации систем управления. Приведена реализация математической модели теплообменного аппарата и контура регулирования температуры в программе SimInTech.

А.Р. Фардеев
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: гидравлическая система, технологический процесс, энергия ветра, пневмогидравлический аккумулятор. В работе проведен анализ гидравлических систем, применяемых в технологических процессах машиностроительных предприятий. Исследована возможность использования энергии ветра для обеспечения движения жидкости в трубопроводе. Выведены зависимости между моментом приложенным к ротору насоса и моментом развиваемым гидромотором. Рассматривается возможность накопления энергии ветра в пневмогидравлических аккумуляторах.

А.Р. Фардеев
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОНАСОСНЫХ
УСТАНОВОК К СИСТЕМЕ ЦИРКУЛЯЦИИ СМАЗОЧНО-
ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Ключевые слова: ветронасосная установка, система циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости, машиностроительное предприятие, автоматизация, гидроаккумулятор.

В данной статье предлагается ввести ветронасосные установки в существующую систему циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия. Работа системы от ветронасосной установки возможна лишь при скорости ветра, превышающей определённый уровень. В оставшееся время система работает от источника электроэнергии или от энергии, накопленной в гидроаккумуляторах. Автоматика, предложенная к использованию в системе, позволит

the choice of regulator, analysis of control loops and a feasibility study.

Zh.V. Ovadykova, P.S. Shichev, E.Kh. Ovadykov
SOFTWARE PRODUCT DEVELOPMENT FOR ELECTRIC
PARAMETRIC TECHNICAL DIAGNOSTICS OF
CENTRIFUGAL PUMP UNITS

Keywords: aggregates, software product, database, software, diagnostics, information-measuring system.

The level of software development for the electroparametric method for the diagnosis of centrifugal pumping units (TsNA) is analyzed. Based on the requirements of modern software development tools, a database has been developed that simplifies, systematizes the work with data on the results of diagnostics of the central nervous system. At the same time, a software product was obtained that is easily expandable and scalable.

A.V. Savchits, V.V. Korzin, E.Y. Ponomarev, M.V. Trukhina,
A.V. Poklonskaya
SIMULATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS BY
HEAT EXCHANGERS USING SIMINTech

Keywords: Visual Modeling, SimInTech, Regulator, Heat Exchanger.

The article discusses the use of mathematical modeling of automatic control systems for thermal objects for use in engineering practice in the design and modernization of control systems. The implementation of the mathematical model of the heat exchanger and the temperature control loop in the SimInTech program is presented.

A.R. Fardeev
THE USE OF WIND ENERGY IN HYDRAULIC SYSTEMS
Keywords: hydraulic system, technological process, wind energy, pneumohydraulic accumulator.

The paper analyzes the hydraulic systems used in the technological processes of engineering enterprises. The possibility of using wind energy for providing fluid movement in the pipeline is investigated. Dependencies between the moment applied to the pump rotor and the moment developed by the hydraulic motor are derived. The possibility of accumulating wind energy in pneumohydraulic accumulators is being considered.

A.R. Fardeev
THE AUTOMATION OF THE CONNECTION OF WIND
PUMP UNITS TO THE CUTTING FLUID CIRCULATION
SYSTEM

Keywords: wind pump installation, cutting fluid circulation system, machine-building enterprise, automation, hydraulic accumulator.

The paper proposes to introduce wind pump installations into the existing system of the cutting fluid circulation of a machine-building enterprise. The operation of the system from a wind pump installation is possible only at a wind speed exceeding a certain level. In the remaining time, the system operates from a source of electricity or from the energy stored in the accumulators. Automation, proposed for use in the system, will automate the process of connecting and disconnecting wind turbines, accumulators and the source of electricity.

автоматизировать процесс подключения и отключения ветродвигателей, гидроаккумуляторов и источника электроэнергии.

Т.Н. Титова
НЕКОТОРЫЕ СЛУЧАИ РЕШЕНИЯ МАТРИЧНОГО
УРАВНЕНИЯ РИККАТИ

Ключевые слова: гамильтонова матрица, оптимальное управление, собственное значение, квадратичный критерий качества.

Предложен удобный метод решения алгебраического матричного уравнения Риккати при некоторых ограничениях на соответствующую этому уравнению гамильтонову матрицу. Полученный метод применен к нахождению функции управления в задаче о баллистическом входе спутника в атмосферу.

М.А. Черноскутов
МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ СИСТЕМ
ОБРАБОТКИ ГРАФОВ

Ключевые слова: обработка графов, алгоритмы на графах, высокопроизводительные вычисления.

В статье представлена многоуровневая архитектура для систем обработки графов, позволяющая разрабатывать и настраивать производительность алгоритмов на графах путём выбора необходимого формата хранения графа.

А.В. Бродский
КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗАДАЧ, ПОЛУЧЕННЫХ В
РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ,
В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова: САПР, вычислительная модель, задача оптимизации, декомпозиция задачи, агрегированная модель, вычислительная схема.

Статья посвящена вопросам обоснования технологии функционирования программных компонент САПР аэрокосмической техники. Рассматривается подход, который на основе анализа структурных свойств математической модели проектируемого изделия позволяет выполнить переход от вербального описания исходной задачи оптимизации к ее формальной постановке и провести ее разбиение на подзадачи меньшей размерности. Сформулированы формальные условия классификации полученных подзадач, что позволяет оценить трудоемкость и построить вычислительную схему их решения.

С.А. Даденков, А.П. Даденкова
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
ПРОТОКОЛА ДОСТУПА P-PERSISTENT-CSMA

Ключевые слова: имитационное моделирование, AnyLogic, CSMA, predictive p-persistent CSMA.

В работе предложена модель сети с протоколом случайного множественного доступа p-Persistent CSMA, позволяющая выполнять корректную оценку вероятностных и временных характеристик передачи данных в сети.

С.А. Даденков, А.П. Даденкова
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕНСОРНОЙ СЕТИ
LONWORKS

Ключевые слова: LonWorks, AnyLogic, имитационное моделирование, сенсорные сети.

В работе предложена модель сети LonWorks, разработанная в системе имитационного моделирования AnyLogic. Представлено описание основного активного элемента модели – узла сети. Рассмотрены его диаграммы состояний и переходов, определяющие работу коммуникационного стека протоколов LonTalk.

T.N. Titova
SOME CASES OF SOLVING THE RICCATI MATRIX
EQUATION

Keywords: Hamiltonian matrix, optimal control, eigenvalue, quadratic quality criterion.

In this paper we propose a convenient method for solving the algebraic matrix Riccati equation under certain restrictions on the Hamiltonian matrix corresponding to this equation. We apply the obtained method to find the control function in the problem of the ballistic entry of a satellite into the atmosphere.

M.A. Chernoskutov
MULTILEVEL ARCHITECTURE FOR GRAPH
PROCESSING SYSTEMS

Keywords: graph processing, graph algorithms, high-performance computing.

The paper presents a multi-level architecture for graph processing systems that allows to develop graph processing applications and tune its performance by choosing appropriate graph data structure.

A.V. Brodskii
CATEGORIZATION OF SUBTASKS RESULTING FROM
DECOMPOSITION OF OPTIMIZATION PROBLEM IN CAD
SYSTEM FOR AEROSPACE ENGINEERING

Keywords: CAD system, computer model, optimization problem, task partition, aggregated model, computation scheme.

This article presents the issues in the technology justification of CAD system program components. The paper considers an approach assuring the transfer from the verbal description of source optimization problem towards its formal definition and its partition to subtasks with less dimensionality. The approach is based on structural properties' analysis of designed items' mathematical and computer model. The formal conditions of categorization are formulated for subtasks resulting from decomposition. It permits to evaluate the subtask computational efforts and to form the computation scheme for the solving.

S.A. Dadenkov, A.P. Dadenkova
DESIGN OF THE P-PERSISTENT-CSMA ACCESS
PROTOCOL SIMULATION MODEL

Keywords: simulation, AnyLogic, CSMA, predictive p-persistent CSMA.

A network model with the p-Persistent CSMA random multiple access protocol is proposed in the paper, which makes it possible to correctly evaluate the probabilistic and temporal characteristics of data transmission in a network.

S.A. Dadenkov, A.P. Dadenkova
LONWORKS SENSOR NETWORK SIMULATION MODEL

Keywords: LonWorks, AnyLogic, simulation, sensor networks.

The paper proposes a model of the LonWorks network, developed in the AnyLogic simulation system. The description of the main active element of the model, the network node, is presented. Its state and transition diagrams determining the operation of the LonTalk communication protocol stack are considered.

Ю.А. Ушаков, А.Л. Коннов, Н.Ю. Ушакова
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОСПРИЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
МНОГОТОЧЕЧНЫХ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИИ WEBRTC

Ключевые слова: видеоконференция, аудио поток, видео поток.

Работа посвящена возможности автоматического объективного контроля качества восприятия на клиентской стороне как для аудио, так и для видео потока для оперативного решения проблем передачи WebRTC.

М.М. Балачков, В.В. Верхотурова, О.Ю. Долматов,
В.В. Закусиллов, М.С. Кузнецов, А.А. Пермикин
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ
СИНТЕЗЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова: СВ-синтез, волна горения, ядерная техника, функциональные материалы.

В рамках данной работы представлены результаты математического моделирования распространения волны горения в процессе СВ-синтеза функциональных материалов ядерной техники. По полученным данным предлагается проведение оценки влияния факторов подготовки и проведения синтеза на фазовый состав конечного продукта, а так же температурные режимы протекания синтеза.

А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, В.М. Нигметзянова,
Ш.С. Хуснетдинов
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ
МУФТЫ СЦЕПЛЕНИЯ

Ключевые слова: муфта сцепления, эксплуатационная нагрузка, нажимной диск, эмпирический коэффициент, тепловой режим.

В статье изучены факторы, определяющие нагруженность сухого фрикционного сцепления при эксплуатации. Проведен анализ существующей методики расчета рабочего процесса муфты. На основании опытных данных предложена уточнённая методика оценки нагруженности сцепления.

А.П. Буйносов, К.В. Панов
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛУЖИВАНИЙ И ТЕКУЩИХ
РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ В СЕРВИСНОМ
ЛОКОМОТИВНОМ ДЕПО

Ключевые слова: электровоз, сервис, депо, обслуживание, ремонт, процесс, имитационное моделирование.

В статье приводится разработанная авторами имитационная модель процесса обслуживания и ремонтов электровозов в сервисном локомотивном депо, результаты моделирования технологических процессов в сервисном локомотивном депо Московка Западно-Сибирского управления ООО «СТМ-Сервис».

А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева
ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ
МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ

Ключевые слова: математическая модель, натриевая лампа, метод, сигнал.

В данной статье рассматривается возможность построения математической модели натриевой лампы высокого давления с использованием метода матричных операторов. Также проводится сравнение экспериментальных данных и полученных результатов математической модели.

А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В ПРОСТРАНСТВЕ
СОСТОЯНИЙ ПЕРЕМЕННЫХ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ
ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: математическая модель, натриевая лампа, система, давление.

U.A. Ushakov, A.L. Konnov, N.U. Ushakova
WEBRTC QUALITY IMPROVEMENT IN THE LEARNING
MULTIPOINT VIDEO CONFERENCE

Keywords: videoconferencing, audio flow, video flow.

The work is devoted to the possibility of automatic objective quality control of perception on the client side for both audio and video streams for the operational solution of WebRTC transmission problems.

M.M. Balachkov, V.V. Verkhoturova, O.Yu. Dolmatov,
V.V. Zakusilov, M.S. Kuznetsov, A.A. Permikin
MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMICS OF
TEMPERATURE FIELDS IN DIRECTED SYNTHESIS OF
MATERIALS FOR NUCLEAR TECHNOLOGY

Keywords: HS synthesis, combustion wave, nuclear technology, functional materials.

In the framework of this work, the results of mathematical modeling of the propagation of a combustion wave in the process of CB synthesis of functional materials of nuclear technology are presented. According to the data obtained, it is proposed to assess the influence of preparation and synthesis factors on the phase composition of the final product, as well as the temperature conditions of the synthesis.

A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, V.M. Nigmatzyanova,
Sh.S. Husnetdinov
MATHEMATICAL LOAD MODEL CLUTCH COUPLINGS

Keywords: clutch, operating load, pressure plate, empirical coefficient, thermal mode.

The article studies the factors that determine the load of a dry friction clutch during operation. The analysis of the existing methodology for calculating the working process of the coupling. Based on the experimental data, an improved methodology for assessing the clutch loading is proposed.

A.P. Buinosov, K.V. Panov
IMITATION MODELING OF THE PROCESS OF
MAINTENANCE AND CURRENT REPAIRS OF ELECTRIC
CARS IN THE SERVICE LOCOMOTIVE DEPOT

Keywords: electric locomotive, service, depot, service, repair, process, simulation.

The article presents a simulation model developed by the authors for the process of servicing and repairing electric locomotives in a service locomotive depot, the results of modeling of technological processes in a service locomotive depot in Moscow, West Siberian department of STM-Service LLC.

A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva
CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF A
SODIUM LAMP OF HIGH PRESSURE BY THE METHOD OF
MATRIX OPERATORS

Keywords: mathematical model, sodium lamp, method, signal.

This article discusses the possibility of constructing a mathematical model of a high-pressure sodium lamp using the matrix operator method. A comparison is also made of experimental data and the results of a mathematical model.

A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva
MATHEMATICAL MODEL OF HIGH-PRESSURE SODIUM
LAMP IN THE STATE VARIABLES

Keywords: mathematical model, sodium lamp, system, pressure. This article discusses the possibility of constructing a mathematical model of a high-pressure sodium lamp in the state

В данной статье рассматривается возможность построения математической модели натриевой лампы высокого давления в пространстве состояний, модель включает в себя набор переменных входа, выхода и состояния, связанных между собой дифференциальными уравнениями первого порядка. Применение такого способа описания исследуемого объекта позволяет расширить сферу применения и уточнить начальные представления о процессах, которые в нем происходят.

Г.Н. Гусев, В.В. Епин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ НА ЖИЛОЕ ЗДАНИЕ. ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ, НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ.

Ключевые слова: вибрационный мониторинг, оценка напряженно-деформированного состояния сооружения, математическая модель, прогноз.

В статье описан натурный эксперимент по анализу вибрационного отклика пятиэтажного жилого здания на заданную транспортную нагрузку. Создана численная математическая модель системы «здание – грунтовое основание – источник вибрационного воздействия». На основе данных эксперимента и модели проведена оценка технического состояния строительного объекта. Представленный алгоритм оценки может являться инструментом прогнозирования изменения напряженно-деформированного состояния системы и выявления дефектов в несущих конструкциях.

Г.Н. Гусев, В.В. Епин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕРГИВАНИЯ АРМАТУРНОГО СТЕРЖНЯ ИЗ БЕТОННОГО ОБРАЗЦА

Ключевые слова: математическая модель, железобетонная конструкция, армирование, несущая способность, ANSYS.

Работа посвящена описанию проведенного численного эксперимента по оценке сил предельного сцепления арматурного стержня, погруженного в бетонный образец. Представлена численная математическая модель бетонного цилиндра заданных размеров с погруженным в него арматурным стержнем. Проведена серия вычислительных экспериментов по моделированию выдергивания арматурного стержня из бетонного образца с учетом механизмов разрушения тела бетона и реализации в арматурном стержне пластических деформаций.

**А.А. Каменских, А.П. Панькова
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТАКТНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ ГЕРЦА**

Ключевые слова: антифрикционный материал, задача Герца, полимер, композиционный материал, эксперимент, контакт, трение.

В работе представлено численное моделирование деформационного поведения ряда современных антифрикционных полимерных материалов и композитов на их основе на примере задачи Герца. Установлено хорошее количественное и качественное соответствие численного и аналитического решения задачи. Установлено, что учет фрикционных свойств полимерных материалов оказывает незначительное влияние на контактное давление (приблизительно 0,0001 %). Учет упругопластической модели поведения антифрикционных материалов оказывает существенное влияние на радиус площадки контакта (в среднем больше на 25 %). В связи с этим уровень контактного давления снизился в среднем на 45%, а уровень контактного касательного напряжения снизился приблизительно в 2 раза.

space; the model includes a set of input, output, and state variables connected by first-order differential equations. The use of describing the studied object allows you to expand the scope and clarify the initial ideas about the processes that occur in it.

G.N. Gusev, V.V. Epin

MODELLING OF THE TRANSPORT LOAD VIBRATION IMPACT ON RESIDENTIAL BUILDING. NUMERICAL MODEL, FULL-SCALE EXPERIMENT.

Keywords: Vibration monitoring, evaluation of stress-strain state of the structure, mathematical model, prediction.

The paper describes a full-scale experiment to analyze the vibration response of a five-storey residential building from a given transport load. A numerical mathematical model of the system "building - soil base - source of vibration impact" has been created. Based on the data of the experiment and the model, the technical condition of the construction object was evaluated. The presented estimation algorithm can be a tool for predicting the change of stress-strain state of the system and detecting defects in bearing structures.

G.N. Gusev, V.V. Epin

MODELLING OF REINFORCEMENT EXTRACTION PROCESS FROM CONCRETE SAMPLE

Keywords: Mathematical model, reinforced concrete structure, reinforcement, bearing capacity, ANSYS.

Results of numerical experiment on evaluation of ultimate adhesion forces of reinforcement and concrete sample are given. Numerical mathematical model of concrete cylinder with reinforcement bar is presented. A series of computational experiments was conducted to simulate the pulling of the reinforcement bar from the concrete sample.

**A.A. Kamenskikh, A.P. Pankova
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONTACT
INTERACTION OF MODERN POLYMERIC MATERIALS
ON THE EXAMPLE OF THE HERZZ PROBLEM**

Keywords: antifriction material, Hertz problem, polymer, composite material, experiment, contact, friction.

Numerical modeling of the deformation behavior of a number of modern antifriction polymer materials and composites based on them using the Hertz problem as an example is presented in the paper. A good quantitative and qualitative conformity between the numerical and analytical solutions of the problem is established. It was found that taking into account the polymeric materials frictional properties does not significantly affect the contact pressure (approximately 0.0001%). Taking into account the elastic-plastic model of the behavior of antifriction materials has a significant effect on the radius of the contact area (an average of 25% more). The level of contact pressure decreased by an average of 45% in connection with this, and the level of contact tangential stress decreased by about 2 times.

В.В. Корепанов

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СХЕМ,
НАПРАВЛЕННЫЙ НА ПОИСК МОМЕНТНЫХ ЭФФЕКТОВ

Ключевые слова: моментная теория упругости, среда
Коссера, моментные эффекты.

На основе разработанного конечно-элементного алгоритма в рамках моментной теории упругости решены и проанализированы решения для двумерных и трехмерных краевых задач. Введен макропараметр, который может быть измерен в физическом эксперименте. Результаты сравнения решений в двумерной и трехмерной постановках позволяют определить границы применимости двумерных решений с позиций их приложений для соответствующих экспериментов по поиску моментных эффектов.

Т.О. Корепанова, Е.А. Николаева, И.А. Оборина
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ
ИСПЫТАНИЯХ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ
ГОПКИНСОНА–КОЛЬСКОГО

Ключевые слова: разрезной стержень Гопкинсона–Кольского, термодинамика, микроструктура, высокоскоростное нагружение, баланс энергии.

Рассмотрена термодинамика пластического деформирования в процессе высокоскоростного нагружения на разрезном стержне Гопкинсона–Кольского. Предложен экспериментальный подход к определению основных термодинамических характеристик.

В.Ю. Помелов, О.И. Поддаева, П.С. Чурин
ОЦЕНКА ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
КРУПНОГАБАРИТНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ СКЛАДСКИЕ
ПОМЕЩЕНИЯ

Ключевые слова: ветровая нагрузка, математическое моделирование, экспериментальное моделирование, аэродинамический коэффициент.

В работе представлены результаты определения ветровой нагрузки на крупногабаритные промышленные складские помещения тремя различными способами – на основании справочных данных, по результатам математического и экспериментального моделирования, приведено сравнение результатов. Сделан вывод о необходимости проведения дополнительных исследований ветрового воздействия для зданий подобного типа.

А.А. Рачишкин

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.

Ключевые слова: программное приложение, компьютерное моделирование, топография поверхности, контактное взаимодействие.

В работе описывается структура программного средства для компьютерного моделирования контактного взаимодействия микронеровностей технических поверхностей. Модель построена с использованием экспериментальных данных о морфологии взаимодействующих поверхностей, в том числе и имеющих функциональные покрытия. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании контактного взаимодействия шероховатых поверхностей, в том числе и в случае, когда одна из них имеет твёрдосмазочное или иное функциональное покрытие.

Л.С. Сабитов, Ю.Г. Коноплев
К ВОПРОСУ О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
СИСТЕМЫ «БАШНЯ – ФУНДАМЕНТ – ГРУНТ
ОСНОВАНИЯ» ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка,

V.V. Korepanov

NUMERICAL ANALYSIS OF EXPERIMENTAL SCHEMES
AIMED AT SEARCH FOR COUPLE-STRESS EFFECTS

Keywords: couple-stress elasticity theory, Cosserat medium, couple-stress effects.

Based on the developed finite element algorithm, within the framework of the couple-stress theory of elasticity, solutions to two-dimensional and three-dimensional boundary value problems are solved and analyzed. A macroparameter has been introduced, which can be measured in a physical experiment. The results of the comparison of solutions in two-dimensional and three-dimensional statements allow us to determine the applicability limits of two-dimensional solutions from the standpoint of their applications for the corresponding experiments on the search for couple-stress effects.

Т.О. Корепанова, Е.А. Николаева, И.А. Оборина
DETERMINATION OF THERMODYNAMIC
CHARACTERISTICS DURING HIGH-SPEED TESTS
ON A SPLIT HOPKINSON–KOLSKY PRESSURE BAR

Keywords: split Hopkinson–Kolsky pressure bar; thermodynamics; microstructure; high speed loading; energy balance.

The thermodynamics of plastic deformation during high-speed loading on a split Hopkinson–Kolsky pressure bar is considered. An experimental approach to the determination of thermodynamic characteristics is proposed.

V.Yu. Pomelov, O.I. Poddaeva, P.S. Churin
ASSESSMENT OF WIND IMPACT ON LARGE
INDUSTRIAL STORAGE FACILITIES

Keywords: wind load, mathematical modeling, experimental modeling, aerodynamic coefficient.

The paper presents the results of determining the wind load on large industrial warehouses in three different ways - on the basis of reference data, according to the results of mathematical and experimental modeling, a comparison of the results. The conclusion is drawn about the need for additional studies of wind exposure for buildings of this type.

A.A. Rachishkin

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR CONDUCTING
RESEARCH OF TECHNICAL SURFACES CONTACT
INTERACTION ON THE BASIS OF COMPUTING
EXPERIMENTS

Keywords: software, computer modeling, surface topography, contact.

The article describes the software design for computer simulation of contact interactions of surface patterns with roughnesses. The model was built on experimental data of interacting surfaces' morphology, including those with functional coatings. The received results can be used for study of contact interaction of rough surfaces and solid lubricating coatings or other functional coatings.

L.S. Sabitov Yu.G. Konoplev
ON THE ISSUE OF NUMERICAL MODELING OF THE
SYSTEM "TOWER-FOUNDATION - GROUND BASE" OF
WIND POWER PLANTS

Keywords: wind power plant, reinforced concrete Foundation,

железобетонный фундамент, баинья, компьютерное моделирование, теория прочности по Мизесу.

Целью работы ставилось оценить эффективность работы системы «баинья – фундамент – грунт основания» ветроэлектрической установки мощностью более 2 МВт с помощью компьютерного моделирования в ПК «Ansys». При моделировании учитывались пространственная работа элементов конструктивной системы и физическая нелинейность материалов, из которых они изготовлены. При этом для стали была использована теория прочности Мизеса, для бетона – Вильямса-Варнаке, для грунта основания – Друккера-Прагера.

О.В. Соловьева, Р.Р. Хусайнов
СРАВНЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ФИЛЬТРОВ С
РАЗНЫМИ ПО ФОРМЕ ЧАСТИЦАМИ

Ключевые слова: эффективность осаждения, перепад давления, пористые гранулы, коэффициент качества.

Проведено сравнительное численное моделирование фильтров двух типов. В первом случае использовались твердотельные гранулы, во втором случае – пористые. Пористость гранул составляла $\varepsilon=0,8$. Модели фильтров сравнивались по значению эффективности осаждения частиц, перепаду давления и коэффициенту качества фильтра. Исследования показали, что для повышения качества фильтра предпочтительнее использовать фильтр с пористыми гранулами.

Т.А. Чуваткина, А.В. Агапов, Н.А. Балашов, Д.А. Агапов
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ
ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП

Ключевые слова: бактерицидная лампа, поток излучения, ультрафиолетовое излучение, математическая модель, метод измерения.

В данной работе представлены результаты математического моделирования процесса измерения потока излучения ртутных бактерицидных ламп низкого давления. Представленная модель позволяет учитывать пространственное распределение потока излучения ламп. Приводятся данные по экспериментальному подтверждению, предложенной математической модели.

Р.Р. Яфизов, С.А. Соловьев, А.В. Антипин
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНА
ФИЛЬТРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ

Ключевые слова: волокнистый фильтр, численное моделирование, выступ, инерционное осаждение.

В данной работе проведено численное моделирование процесса фильтрации волокном. Исследованы параметры, влияющие на эффективность осаждения частиц, также исследован механизм инерционного осаждения частиц. Численный расчет производился в программном комплексе ANSYS Fluent (v. 19.0). Представлены результаты расчетов для твердотельного волокна, с одним и пятью выступами. Представлен новый способ повышения эффективности осаждения частиц, при помощи создания модифицированных волокон.

А.А. Шашков, Ф.Г. Хисамов
СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: линейный рекуррентный регистр сдвига, псевдослучайная последовательность, стойкость ПСП.

В работе приведены основные свойства выходных псевдослучайных последовательностей (ПСП) линейных рекуррентных регистров сдвига (ЛРПС). Разработан тест, на проверку выходной двоичной последовательности на случайность. Дано представление ЛРПС через корни порождающего многочлена, что позволяет непереборными

tower, computer modeling, Mises strength theory.

The aim of the work was to evaluate the efficiency of the “tower - foundation - foundation soil” system of a wind power installation with a capacity of more than 2 MW using computer simulation in Ansys PC. When modeling, the spatial work of the elements of the structural system and the physical nonlinearity of the materials from which they are made were taken into account. At the same time, the Mises strength theory was used for steel, Williams-Warnake for concrete, and Drucker-Prager for base soil.

O.V. Soloveva, R.R. Khusainov
COMPARISON OF GRANULAR FILTERS WITH VARIOUS
FORMS OF PARTICLES

Keywords: deposition efficiency, pressure drop, porous granules, quality factor.

We made a comparative numerical simulation of two types of filters. In the first case, solid granules were used, in the second case, porous. The porosity of the granules was $\varepsilon=0,8$. We compared filter models in terms of particle deposition efficiency, pressure drop and filter quality factor. Studies have shown that to improve the quality of the filter, it is preferable to use a filter with porous granules.

T.A. Chuvatkina, A.V. Agapov, N.A. Balashov, D.A. Agapov
MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF
MEASURING THE FLOW OF RADIATION OF
BACTERICIDAL LAMPS

Keywords: bactericidal lamp, radiation flux, ultraviolet radiation, mathematical model, measurement method.

This paper presents the results of mathematical modeling of the process of measuring the radiation flux of low pressure mercury germicidal lamps. The presented model allows one to take into account the spatial distribution of the radiation flux of the lamps. The data on experimental confirmation of the proposed mathematical model are presented.

R.R. Yafizov, S.A. Solovlev, A.V. Antipin
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FILTER FIBER
MODIFICATIONS ON PARTICLE DEPOSITION
EFFICIENCY

Keywords: fiber filter, numerical simulation, protrusion, inertial deposition.

In this paper, we performed a numerical simulation of the process of fiber filtration. The parameters affecting the efficiency of particle deposition are investigated, and the mechanism of inertial particle deposition is also studied. Numerical calculation was performed in the ANSYS Fluent software package. The calculation results for solid and porous fibers without a protrusion, with one protrusion and five protrusions are presented. A new method for increasing the efficiency of particle deposition by creating modified fibers is presented.

A.A. Shashkov, F.G. Khisamov
SPECIFICITY OF APPLICATION OF PSEUDORANDOM
SEQUENCES IN INFORMATION PROTECTION SYSTEMS
Keywords: linear recurrence shift register, pseudo-random sequence, SRP stability.

The basic properties of the output pseudo-random sequences (PSP) of linear recurrent shift registers (LRS) are given. A test was developed to check the output binary sequence for randomness. A representation of LRS through the roots of the generating polynomial is given, which allows non-search methods to calculate elements of the output sequence with arbitrary numbers. Operational and technical violations that

методами вычислять элементы выходной последовательности с произвольными номерами. Определены эксплуатационно-технические нарушения, приводящие к снижению стойкости ПСП.

А.А. Шашков, Ф.Г. Хисамов

МЕТОД ИМИТОЗАЩИТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ОТ РЕТРАНСЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ С МАЛЫМ ВРЕМЕНЕМ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

Ключевые слова: шумоподобные сигналы, модемное засекречивание информации, имитозащита, ретранслированные помехи.

В работе рассматривается имитозащита специальных систем связи с шумоподобными сигналами, от ретранслированных помех с малым временем запаздывания, когда наряду с защитой от помех используется одновременное засекречивание информации на уровне непрерывных сигналов.

lead to a decrease in the stability of the CAP are determined.

A.A. Shashkov, F.G. Khisamov

IMIT PROTECTION METHOD OF SPECIAL COMMUNICATION SYSTEMS FROM RELAYED INTERFERENCE WITH A LOW TIME OF DELAY

Keywords: noise-like signals, modem classification of information, imitation protection, relayed interference.

In this paper, we consider the imitation protection of special communication systems with noise-like signals from relayed interference with a small delay time when, along with protection from interference, simultaneous classification of information at the level of continuous signals is used.

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 2019

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 23.12.2019 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 23.12.2019

13,6 усл.печ.л. 15,7 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2410.

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»