

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ**

**№1 2020**

**Направления:**

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

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

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

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

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

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

**Казань  
2020**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №1 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 164 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.ntvr.ru](http://www.ntvr.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. Харламиди – д.х.н., проф.*

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

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

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920**

© Рашин Сайнс, 2020 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>С.Г. Абанин, В.А. Карпычев, М.В. Кузнецов</i> ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ	9
<i>А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, Д.И. Нуретдинов, А.М. Фролов</i> СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ	15
<i>А.Н. Субботин</i> АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ПОТОКОВ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ	18
<i>Г.А. Тимофеева, О.А. Билоус, А.В. Кухарчук</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	21
<i>В.А. Трипош, С.С. Акимов</i> ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА РЕШЕНИИ СОСТАВНОЙ БАЙЕСОВСКОЙ ЗАДАЧИ	24
<i>С.А. Ямашкин, А.А. Ямашкин</i> КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ХРАНЕНИЯ, АНАЛИЗА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	29

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

<i>Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПЕРЕХОДНЫХ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	32
<i>Н.В. Андриевская, М.А. Базаров</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА НА ПРИМЕРЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА LEGO MINDSTORMS EV3	36
<i>В.А. Егоров, Каунг Хтет Сан</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА	40
<i>Л.И. Медведева, Н.В. Иевлева, Е.Ю. Орешкина</i> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРОУГЛЕРОДА	45
<i>А.В. Могильников, О.А. Билоус</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПАКЕТЕ МАТЛАВ/SIMULINK	49
<i>К.И. Новгородов, А.В. Савчиц, В.Е. Костин</i> АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГЕЛИОКАТАМАРАН	53
<i>С.С. Павлов, М.А. Иванова, Ю.Г. Федотова, А.В. Спиридонова, Дь.А. Соколов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРИКЕТОВ ДЛЯ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ КОТЛОВ	56
<i>Д.П. Салова, Е.П. Шалунов, С.С. Сайкин, С.В. Солин, С.С. Сорокин, П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, А.Ф. Денисенко, И.А. Фомичев</i> РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЬБОРОВЫХ КРУГОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ	59
<i>Л.А. Симонова, К.Н. Гавариева</i> РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ШТАМПОВКИ	62

<i>А.Р. Фардеев</i> ВЫБОР НАСОСА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ	65
<i>А.Р. Фардеев, Р.Г. Марданишин</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ	68
<i>А.Е. Шорников, С.Л. Сьянов</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК GSM МОДУЛЯ	71
<i>А.А. Южаков, О.А. Андриевский</i> РАЗРАБОТКА ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ	75

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

<i>А.М. Дергачев, Д.С. Садырин, А.Г. Ильина, И.П. Логинов, Ю.Д. Кореньков</i> МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ АЛЛОКАТОРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ БИБЛИОТЕКИ GLIBC	79
<i>М.С. Еремкина, Г.Д. Кожевников, И.А. Николаев, А.А. Пожидаев</i> СИСТЕМА ТРИБОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕТТИНГ-ИЗНАШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ	84
<i>А.О. Ступин, Ю.В. Фомина, Е.Л. Вайтекунене, С.Н. Ежеманская</i> ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛА БОЛЕЗНИ ЛЕСОВ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТА ANYLOGIC	88
<i>Ю.А. Ушаков, М.В. Ушакова, А.Л. Коннов</i> МАРШРУТИЗАЦИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА	91
<i>Е.О. Ямашкина, С.А. Ямашкин, С.М. Коваленко</i> ТЕСТИРОВАНИЕ И ВЫБОР ГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	97

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

<i>В.В. Андреев, М.М. Африн</i> ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ РАСЧЕТНЫХ КОДОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙ С ОТКАЗОМ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БЫСТРЫМ РЕАКТОРАМ С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ	100
<i>В.Ю. Артамонов, Н.В. Дубов, П.С. Зубков, Н.А. Кулаев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП	103
<i>А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темева</i> СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	107
<i>Д.С. Грибач</i> К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ КОРРЕКТИРОВОК В АРХИТЕКТУРНУЮ КОНЦЕПЦИЮ	110
<i>Е.Н. Журавлева</i> РЕШЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ БАЛОК МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛИЗИРУЮЩИХ ЯДЕР	114
<i>В.А. Карнычев, Д.В. Ковин</i> К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА РЫЧАЖНЫХ ПЕРЕДАЧ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ	117

<i>В.Ю. Колесников, И.Н. Сидоров</i> РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОАКСИАЛЬНОГО СО <sub>2</sub> - ЛАЗЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ	121
<i>А.В. Ромодин, А.С. Семенов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ	129
<i>О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.Р. Яфизов, Р.Р. Хусаинов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ	132
<i>С.В. Фоминых, А.В. Ромодин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	135
<i>А.Н. Хворова, С.В. Ерохин</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСАЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРЕЩИНОВАТОМ СЛОЕ	138
<i>А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, А.В. Корнева</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА С УЧЕТОМ РАССЛОЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ПОРОД КРОВЛИ	142
<i>П.С. Чурин, А.Н. Федосова, А.А. Брыков</i> ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКИ ПАРКОВОЙ ТЕРРИТОРИИ НА КОМФОРТНОСТЬ ПЕШЕХОДНЫХ ЗОН	146

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

<i>Ю.Ж. Дондоков, Н.И. Кондакова, С.В. Степанова</i> БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	150
<b>АННОТАЦИИ</b>	153

**THE RELEASE MAINTENANCE****05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING**

<i>S.G. Abanin, V.A. Karpychev, M.V. Kuznetsov</i> PROBLEMS OF INFORMATION SUPPORT OF THE PUBLIC ADMINISTRATION SYSTEM	9
<i>A.Yu. Barykin, R.M. Galiev, D.I. Nuretdinov, A.M. Frolov</i> SYSTEM ANALYSIS OF RESOURCE ASSESSMENT INDICATORS VEHICLE ENGINE	15
<i>A.N. Subbotin</i> NATURAL LANGUAGE TEXT STREAM CLASSIFICATION ALGORITHM	18
<i>G.A. Timofeeva, O.A. Bilous, A.V. Kuharchuk</i> MANAGEMENT SYSTEM'S IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY FOR INDUSTRIAL PRODUCTION	21
<i>V.A. Tripkosh, S.S. Akimov</i> ESTIMATION OF THE TIME COMPLEXITY OF RECOGNITION ALGORITHMS BASED ON THE SOLUTION OF A COMPOSITE BAYESIAN PROBLEM	24
<i>S.A. Yamashkin, A.A. Yamashkin</i> PERFORMANCE CRITERIA FOR SOLVING DATA STORAGE, ANALYSIS AND DISTRIBUTION TASKS IN PROJECT-ORIENTED SPATIAL DATA INFRASTRUCTURES	29

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

<i>N.V. Andrievskaya, O.A. Andrievskiy</i> RESEARCH OF TRANSITION STATES METHOD FOR SYNTHESIS OF DIGITAL SYSTEMS AUTOMATIC CONTROL	32
<i>N.V. Andrievskaya, M.A. Bazarov</i> SOLVING THE PROBLEM OF STABILIZATION OF THE REVERSE PENDULUM ON THE EXAMPLE OF THE LEGO MINDSTORMS EV3 ROBOTIC COMPLEX	36
<i>V.A. Egorov, Kaung Htet San</i> DEVELOPMENT OF TRANSPORT ROBOT MOTION CONTROL SYSTEM	40
<i>L.I. Medvedeva, N.V. Ievleva, E.Yu. Oreschkina</i> FEASIBILITY STUDY ON THE AUTOMATION OF THE PROCESS OF REMOVING HARMFUL IMPURITIES IN THE PRODUCTION OF CARBON DISULFIDE	45
<i>A.V. Mogilnikov, O.A. Bilous</i> MODELING OF POWER SEMICONDUCTOR CONVERTERS IN RESEARCH AND INSTRUCTION TASKS USING THE MATLAB/SIMULINK GRAPHIC PROGRAMMING METHODS	49
<i>K.I. Novgorodov, A.V. Savchits, V.E. Kostin</i> AUTOMATIC HELIOCATAMARAN	53
<i>S.S. Pavlov, M.A. Ivanova, Y.G. Fedotova, A.V. Spiridonova, D.A. Sokolov</i> RESEARCH OF MATHEMATICAL MODEL OF BRIQUETTES PRODUCTION TECHNOLOGY FOR SOLID FUEL BOILERS	56
<i>D.P. Salova, E.P. Shalunov, S.S. Saykin, S.V. Solin, S.S. Sorokin, P.M. Salov, T.G. Vinogradova, A.F. Denisenko, I.A. Fomichev</i> RATIONAL USE OF CNB WHEELS CIRCLES IN GRINDING DEEP HOLES	59
<i>L.A. Simonova, K.N. Gavariyeva</i> DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE BASE FOR FUZZY INFERENCE SYSTEM OF PRECISION STAMPING PROCESS	62
<i>A.R. Fardeev</i> A PUMP SELECTION OF A WIND PUMP INSTALLATION USED IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF LIQUID CIRCULATION	65
<i>A.R. Fardeev, R.G. Mardanshin</i> WIND MOTOR CONTROL AUTOMATION IN A LIQUID CIRCULATION SYSTEM	68
<i>A.E. Shornikov, S.L. Syanov</i> AUTOMATION OF DETERMINING THE CONFIGURATION CHARACTERISTICS OF THE GSM MODULE	71

<i>A.A. Yuzhakov, O.A. Andrievskiy</i> DEVELOPMENT OF AN IDENTIFICATION MODEL OF A LINEAR MOTOR	75
<b>05.13.11 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS</b>	
<i>A.M. Dergachev, D.S. Sadyrin, A.G. Ilina, I.P. Loginov, Iu.D. Korenkov</i> MEANS OF FINDING ERRORS IN DYNAMIC MEMORY ALLOCATION	79
<i>M.S. Eremkina, G.D. Kozhevnikov, I.A. Nikolaev, A.A. Pozhidaev</i> TRIBOMONITORING SYSTEM FOR STUDYING THE PROCESS OF FRETTING WEAR IN CONDITIONS OF RECIPROCATING SLIDING	84
<i>A.O. Stupin, Yu.V. Fomina, E.L. Vaitekunene, S.N. Ezhemanskaia</i> FOREST DISEASE CYCLE SIMULATION OF THE USING ANYLOGIC TOOL	88
<i>U.A. Ushakov, M.U. Ushakova, A.L. Konnov</i> ROUTING IN A DISTRIBUTED SOFTWARE-CONFIGURABLE NETWORK BASED ON A SERVICE-ORIENTED APPROACH	91
<i>E.O. Yamashkina, S.A. Yamashkin, S.M. Kovalenko</i> TESTING AND SELECTING A GRAPHIC PROCESSOR FOR TRAINING NEURAL NETWORKS USING NVIDIA CUDA FOR THE ANALYSIS OF SPATIAL DATA	97
<b>05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES</b>	
<i>V.V. Andreev, M.M. Afrin</i> OVERVIEW OF FOREIGN ANALYTICAL CODES FOR MODELING EMERGENCY SHUTDOWN DENIAL ACCIDENTS ON SODIUM-COOLED FAST REACTORS	100
<i>V.Y. Artamonov, N.V. Dubov, P.S. Zubkov, N.A. Kulaev</i> SIMULATION THE WORK OF THE INTEGRATED FILTRATION SYSTEM FOR LED LAMPS	103
<i>A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva</i> STATISTICAL METHODS ANALYSIS OF DATA CONTROL SYSTEM TO HIGH-PRESSURE SODIUM LAMPS	107
<i>D.S. Gribach</i> TO THE QUESTION OF THE NEED FOR ADDITIONAL EXPERIMENTAL STUDIES OF WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES WHEN MAKING ADJUSTMENTS TO THE ARCHITECTURAL CONCEPT	110
<i>E.N. Zhuravleva</i> SOLUTION OF CONTACT PROBLEMS FOR BEAMS BY ORTHOGONALIZING NUCLEI METHOD	114
<i>V.A. Karpychev, D.V. Kovin</i> TO THE QUESTION ABOUT METHODS OF FREIGHT CAR BRAKE RIGGING STRUCTURAL ANALYSIS	117
<i>V.Yu. Kolesnikov, I.N. Sidorov</i> CALCULATION PARAMETERS OF COAXIAL CO <sub>2</sub> - LASER CONTINUOUS ACTION	121
<i>A.V. Romodin A.S. Semenov</i> MATHEMATICAL MODELING AS A METHOD OF INTRODUCING TECHNICAL ACCOUNTING OF ELECTRIC POWER IN OIL DEPOSITS	129
<i>O.V. Soloveva, S.A. Solovev, R.R. Yafizov, R.R. Khusainov</i> INVESTIGATION OF FLUID FLOW IN POROUS MEDIA OF VARIOS GEOMETRY	132
<i>S.V. Fominykh, A.V. Romodin</i> MAINTENANCE SYSTEM OPTIMIZATION	135
<i>A.N. Khvorova, S.V. Erokhin</i> MATHEMATICAL MODEL OF SEEPAGE OF A LIQUID IN THE FRACTURED LAYER	138
<i>A.B. Tsvetkov, L.D. Pavlova, A.V. Korneva</i> NUMERICAL SIMULATION OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF A GEOMASSIV, ACCORDING TO THE STRATIFICATION OF WORKED-OUT ROOF ROCKS	142

*P.S. Churin, A.N. Fedosova, A.A. Brykov* INFLUENCE OF POINT DEVELOPMENT OF THE PARK TERRITORY ON THE COMFORT OF PEDESTRIAN ZONES 146

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

*Yu.Zh. Dondokov, N.I. Kondakova, S.V. Stepanova* SECURITY OF INFORMATION SYSTEMS FUNCTIONING 150

**ABSTRACTS** 153

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

05.13.01

**<sup>1</sup>С.Г. Абанин, <sup>2</sup>В.А. Карпычев д-р техн. наук, <sup>2</sup>М.В. Кузнецов**<sup>1</sup>Федеральная служба по надзору в сфере транспорта,<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»,  
Институт транспортной техники и систем управления, ИТТСУ,  
кафедра «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация»,  
Москва, Abanin\_SG@rostransnadzor.ru, kv119@yandex.ru, m.v.kouzn@yandex.ru**ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Авторы рассматривают и оценивают проблемы, связанные с внедрением информационных технологий в систему государственного управления. На примере анализа проекта федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» показано его влияние на необходимость разработки соответствующих программных продуктов обеспечивающих реализацию исполнения его требований. При таком подходе выявляется необходимость корректной оценки затрат на изменение действующего законодательства и жесткой увязки вступления в силу нормативных правовых актов Российской Федерации с готовностью информационных систем федеральных органов исполнительной власти обеспечить их реализацию.*

Ключевые слова: государственное управление, реформа контрольно-надзорной деятельности, информационные технологии, личный кабинет контролируемого лица.

В современном мире информационные технологии стали неотъемлемой частью системы государственного управления. Подразумевается, что их использование должно серьезно улучшить эффективность системы государственного управления, снизить её издержки и улучшить качество жизни граждан. Затраты на создание и эксплуатацию информационных систем стали значительной статьёй расходов государственного бюджета. Между тем, система государственного управления продолжает работать без учёта реалий современного мира.

Механизмы, созданные государством для полномасштабного анализа регулирующего воздействия, в части оценки возможных последствий нового регулирования, дачи полной объективной оценки применения той или иной нормы, не работают в полной мере, однобоко и узко оценивая возможные изменения, не в полной мере проводя анализ возможных альтернатив регулирующего воздействия, в том числе с помощью анализа издержек и выгод.

В настоящее время в Российской Федерации проводится масштабная реформа государственного управления, в том числе реформируется контрольно-надзорная деятельность.

В этой связи Министерством экономического развития Российской Федерации подготовлен проект федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации», по новому регулирующий данную сферу государственного управления, на основе новых форм контроля, профилактики и учёта.

Необходимо отметить, что законопроект «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» прошёл обязательную процедуру оценки регулирующего воздействия и согласно Формы сводного отчета о проведении оценки регулирующего воздействия проекта акта с высокой степенью регулирующего воздействия, данный документ не приведёт к соответствующим расходам бюджетов бюджетной системы Российской Федерации.

Вместе с тем, анализ положений законопроекта на предмет необходимости разработки и сопровождения программных продуктов, обеспечивающих достижение поставленных целей и решении соответствующих задач, говорит об обратном.

Перечислим статьи проекта, которые влекут необходимость разработки и корректировки программных продуктов в сфере государственного контроля (надзора):

1. Статья 20. Объекты государственного контроля (надзора), муниципального контроля.

Вводится понятие «Объект государственного контроля (надзора), муниципального контроля». Потребуется организация и ведение учёта объектов государственного контроля (надзора) соответствующими федеральными органами исполнительной власти.

Из текста проекта Закона следует, что обеспечение ведения учёта целиком возлагается на контрольно-надзорные органы. Это приведёт к отсутствию единой методологии учёта объектов государственного контроля.

2. Статья 23. Оценка результативности и эффективности государственного контроля (надзора), муниципального контроля.

Для исполнения данной статьи потребуется принятие актов Правительства Российской Федерации:

– «Порядок разработки и утверждения показателей результативности и эффективности государственного контроля (надзора), муниципального контроля»;

– «Ключевые показатели вида федерального государственного контроля (надзора)»;

– «Межведомственные ключевые показатели вида федерального государственного контроля (надзора)»;

– «Порядок оценки результативности и эффективности государственного контроля (надзора), муниципального контроля»;

– «Методика разработки показателей результативности и эффективности государственного контроля (надзора), муниципального контроля».

Информационные системы контрольно-надзорных органов должны будут обеспечить сбор сведений для расчета показателей результативности и эффективности в соответствии с требованиями данных документов.

Для обеспечения расчета по единой методологии необходимо обеспечить возможность консолидации информации обо всех видах надзора в единой централизованной информационной системе при условии обязательного мониторинга качества указанных данных.

3. Статья 24. Доклады о государственном контроле (надзоре), муниципальном контроле.

Доклады должны будут делаться по каждому виду контроля. В связи с большими изменениями в организации ведения контрольно-надзорной деятельности следует ожидать соответствующих изменений в требованиях к содержанию ежегодного доклада о виде контроля. Информационные системы должны будут обеспечить расчет, хранение установленных показателей и их использование для формирования сведений в докладе.

4. Статья 25. Документы, составляемые и используемые при осуществлении государственного контроля (надзора), муниципального контроля. Информирование при осуществлении государственного контроля (надзора), муниципального контроля.

Должны быть разработаны и утверждены федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативному правовому регулированию в области государственного контроля (надзора) и муниципального контроля типовые формы документов, используемые контрольно-надзорным органом.

Фактически, вводится обязательное требование составления контрольно-надзорным органом документов в электронном виде.

Соответственно, все информационные системы контрольно-надзорного органа должны быть доработаны для формирования и передачи документов по установленной форме. Учитывая, что в настоящее время не вся территория нашей страны покрыта устойчивой сетью интернет, возникает вопрос оформления и передачи документов в условиях отсутствия сети интернет.

Кроме того, согласно п. 8 данной статьи «Для организации взаимодействия контрольно-надзорных органов с контролируемым лицом в электронной форме обеспечивается использование личного кабинета контролируемого лица в сети "Интернет"». Для реализации данного положения потребуется принятие акта Правительства Российской Федерации «Порядок ведения и использования личного кабинета контролируемого лица».

Потребуется разработка (значительная доработка) специального программного продукта с непосредственной увязкой его с системами контрольно-надзорных органов, связанных с планированием, исполнением, учётом и отчётностью по контрольно-надзорным и профилактическим мероприятиям.

Учитывая разнородность процессов, обеспечиваемых личным кабинетом контролируемого лица, необходимо будет решить задачу централизованного автоматизированного контроля полноты и достоверности передаваемой информации для обеспечения синхронности обмена данными между внутренними системами контрольно-надзорных органов и внешними системами.

5. Статья 26. Общие требования к использованию информационных ресурсов, информационных систем государственного контроля (надзора), муниципального контроля.

Для исполнения данной статьи потребуется принятие актов Правительства Российской Федерации:

– «Общие требования к составу, порядку формирования и использования информационных ресурсов государственного контроля (надзора), муниципального контроля, в том числе ведомственных и отраслевых информационных ресурсов, составу сведений информационных ресурсов государственного контроля (надзора), муниципального контроля»;

– «Перечень лиц, имеющих неограниченный доступ к сведениям, содержащимся в реестрах, используемых для ведения учета объектов контроля, едином реестре контрольно-надзорных мероприятий».

Указанные требования можно достичь, только при наличии программных инструментов для консолидации сведений из различных информационных систем и обеспечения их достоверности.

Информационные системы должны быть приведены в соответствие с требованиями данных нормативных документов.

6. Статья 27. Единый реестр контрольно-надзорных мероприятий.

Для исполнения данной статьи потребуется принятие акта Правительства Российской Федерации «Правила формирования и ведения единого реестра контрольно-надзорных мероприятий, в том числе правила размещения в сети «Интернет» общедоступных сведений».

Оператором единого реестра контрольно-надзорных мероприятий является Генеральная прокуратура Российской Федерации.

В исполнении данных требований будут задействованы все информационные системы контрольно-надзорных органов связанные с планированием, исполнением, учётом и отчётностью по контрольно-надзорным мероприятиям, а также программное обеспечение официальных сайтов.

7. Статья 28. Проверочные листы.

В соответствии с п. 6 «При проведении контрольно-надзорных мероприятий проверочные листы заполняются инспектором посредством внесения ответов на контрольные вопросы в электронной форме и заверяются усиленной квалифицированной электронной подписью инспектора».

Данное положение требует разработки автоматизированных рабочих мест (далее – АРМ) инспектора и её онлайн интеграцию в сеть «Интернет», а также в информационную систему контрольного органа.

8. Статья 29. Основы системы оценки и управления рисками причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям.

Для исполнения данной статьи потребуется принятие акта Правительства Российской Федерации «Общие требования к порядку организации оценки рисков причинения вреда (ущерба) при осуществлении государственного контроля (надзора), в том числе к категориям риска причинения вреда (ущерба), порядку отнесения объектов контроля к категориям риска причинения вреда (ущерба), общие требования к индикаторам риска причинения вреда (ущерба), порядку их выявления, источникам и порядку сбора, обработки, анализа и учета сведений, используемых при отнесении объектов государственного контроля (надзора) к категории риска причинения вреда (ущерба), порядку информирования контролируемых лиц об отнесении объектов контроля к категориям риска причинения вреда (ущерба)».

Все информационные системы, в которых имеется информация о результатах контрольно-надзорной деятельности, состояния безопасности должны будут обеспечить Систему управления рисками необходимой информацией в соответствии с данными требованиями.

9. Статья 30. Категории, критерии и индикаторы риска причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям.

Для исполнения данной статьи потребуется принятие акта уполномоченного Правительством Российской Федерации федерального органа исполнительной власти «Перечень индикаторов риска причинения вреда (ущерба) в рамках вида контроля и порядок их выявления».

Все информационные системы, задействованные в подготовке, расчёте и использовании индикаторов риска причинения вреда (ущерба), должны быть приведены в соответствие с данными документами.

10. Статья 55. Программа профилактики рисков причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям.

Для исполнения данной статьи потребуется принятие акта Правительства Российской Федерации «Порядок разработки и утверждения программ профилактики рисков причинения вреда (ущерба)».

Потребуется организация системы учёта, отчётности и анализа профилактических мероприятий в информационных системах контрольно-надзорных органов. Подробная структура профилактических мероприятий изложена в проекте Закона.

11. Статья 56. Виды профилактических мероприятий

Контрольно-надзорные органы могут проводить следующие профилактические мероприятия:

- 1) информирование;
- 2) обобщение правоприменительной практики;
- 3) выпуск руководств по соблюдению обязательных требований;
- 4) меры стимулирования добросовестности;
- 5) объявление предостережения;
- 6) выдача рекомендаций по соблюдению обязательных требований;
- 7) консультирование;
- 8) профилактическое сопровождение;
- 9) самообследование;
- 10) профилактический визит;

11) иные мероприятия, направленные на профилактику рисков причинения вреда (ущерба).

Потребуется доработка информационных систем в части разработки отчетности и системы контрольных показателей, а также организация передачи необходимых данных в Систему управления рисками и Личный кабинет поднадзорного лица.

12. Статья 57. Информирование.

Для исполнения данной статьи потребуется принятие акта уполномоченного Правительством Российской Федерации федерального органа исполнительной власти «Перечень сведений по вопросам соблюдения обязательных требований, размещаемых в личном кабинете контролируемого лица».

Информационные системы, связанные с учётом и отчетностью по контрольно-надзорным и профилактическим мероприятиям, должны будут обеспечить учет необходимой информации для передачи в личный кабинет поднадзорного лица.

13. Статья 80. Общие требования к проведению контрольно-надзорных мероприятий.

Дан конкретный (исчерпывающий) перечень видов контрольно-надзорных мероприятий:

- 1) выездное обследование;
- 2) контрольная закупка;
- 3) мониторинговая закупка;
- 4) выборочный контроль;
- 5) инспекционный визит;
- 6) рейд;
- 7) документарная проверка;
- 8) выездная проверка.

Новая классификация потребует корректировки всех информационных систем, связанных с планированием, осуществлением, учётом и анализом контрольно-надзорных мероприятий.

14. Статья 81. Организация проведения плановых контрольно-надзорных мероприятий.

Для исполнения данной статьи потребуется принятие актов Правительства Российской Федерации:

– «Порядок формирования плана контрольно-надзорных мероприятий, представления его в органы прокуратуры для согласования»;

– «Типовые формы плана контрольно-надзорных мероприятий».

Вместо ежегодных планов проведения плановых проверок будут составляться ежегодные планы проведения контрольно-надзорных мероприятий.

Потребуется доработка всех информационных систем, связанных с планированием, осуществлением, учётом и анализом контрольно-надзорных мероприятий.

Следует учесть, что серьёзной проблемой в настоящее время является разночтение норм закона на уровне региональных органов прокуратуры. Усложнение структуры контрольно-надзорной деятельности должно привести к возрастанию проблем при планировании контрольно-надзорных мероприятий.

15. Глава 17. Контрольно-надзорные действия.

В проекте Закона даны новые понятия и классификатор видов контрольно-надзорных действий:

1) осмотр; 2) досмотр; 3) опрос; 4) получение письменных объяснений; 5) истребование документов; 6) отбор проб (образцов); 7) инструментальное обследование; 8) испытание; 9) экспертиза; 10) эксперимент.

В этой связи будет необходима доработка всех АРМов инспектора и информационных систем, связанных с планированием, осуществлением, учётом и анализом контрольно-надзорных мероприятий.

16. Статья 31. Порядок отнесения объектов государственного контроля (надзора), муниципального контроля к категориям риска причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям и определения индикаторов риска причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям.

Положения данной статьи, в том числе ввиду двойственности формулировок, имеют серьёзную методологическую проблему.

Для расчёта показателей риска сбор, обработка, анализ и учет сведений об объектах контроля для целей их отнесения к категориям риска причинения вреда (ущерба) либо определения индикаторов риска причинения вреда (ущерба) должны осуществляться контрольно-надзорным органом без взаимодействия с контролируемыми лицами (пункт 2). То есть, по факту, данные от субъектов получаются исключительно в добровольном порядке, в заявительном или декларативном виде.

Между тем, в соответствии с Приложением 19 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полётов», государство должно создать систему обязательного представления данных об инцидентах в целях содействия сбору информации о фактических и потенциальных недостатках в обеспечении безопасности полётов (пункт 5.1.1.). Должны быть созданы базы данных о безопасности.

Понятно, что наиболее полная информация об инцидентах (предпосылок к происшествиям) находится у хозяйствующих субъектов. Только взаимодействуя с хозяйствующими субъектами можно структурировать, собрать и проанализировать достоверную информацию о допускаемых факторах риска.

Фактически, мы наблюдаем уклонение государственного аппарата от выполнения своих обязанностей по защите жизни и здоровья людей путём манипуляции правовыми нормами.

Риск-ориентированный подход в данной законодательной интерпретации не строится на объективной базе факторов риска с учётом вероятности происшествий и, по сути, является имитационной моделью.

### **Выводы и предложения**

1. Принятие проекта Федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» потребует выделения значительных средств федерального бюджета на доработку основных информационных систем контрольно-надзорных органов и Генеральной Прокуратуры, выполняющих функции оформления первичных документов контрольно-надзорной деятельности (акты, протоколы, предписания и т.д.), планирования, учета, отчетности и анализа деятельности.

2. В связи с необходимостью синхронизации, увеличения скорости и объемов передачи информации между внутренними и внешними информационными системами федеральных органов исполнительной власти значительно возрастут технические требования к IT-инфраструктуре.

3. Обязательное оформление документов контрольно-надзорным органом в электронном виде требует обеспечения устойчивой работы сети Интернет на всей территории Российской Федерации. В противном случае государственные контрольно-надзорные органы свои функции выполнять не смогут.

4. Проекты законов должны проходить экспертизу (оценку) на предмет необходимых затрат на информационные технологии и инфраструктуру. Аналогичная процедура предусмотрена Постановлением Правительства РФ от 13.08.1997 N 1009 (ред. от 12.10.2019) "Об утверждении Правил подготовки нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти и их государственной регистрации".

5. Планы информатизации федеральных органов исполнительной власти должны быть увязаны с изменениями законодательства в сфере контрольно-надзорной деятельности, как это и предусмотрено Постановлением Правительства РФ от 24.05.2010 N 365 (ред. от 02.02.2019) "О координации мероприятий по использованию информационно-коммуникационных технологий в деятельности государственных органов" (вместе с "Положением о координации мероприятий по использованию информационно-коммуникационных технологий в деятельности государственных органов", "Правилами подготовки планов информатизации государственных органов и отчетов об их выполнении").

6. Законы Российской Федерации должны вступать в силу с учётом готовности информационных систем федеральных органов исполнительной власти обеспечить их реализацию.

### **Список литературы**

1. Проект Федерального закона N 850621-7 "О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации" (ред., внесенная в ГД ФС РФ, текст по состоянию на 03.12.2019). <http://www.consultant.ru>.
2. Постановление Правительства РФ от 13.08.1997 N 1009 (ред. от 12.10.2019) "Об утверждении Правил подготовки нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти и их государственной регистрации". <http://www.consultant.ru>.
3. Постановление Правительства РФ от 24.05.2010 N 365 (ред. от 02.02.2019) "О координации мероприятий по использованию информационно-коммуникационных технологий в деятельности государственных органов" (вместе с "Положением о координации мероприятий по использованию информационно-коммуникационных технологий в деятельности государственных органов", "Правилами подготовки планов информатизации государственных органов и отчетов об их выполнении"). <http://www.consultant.ru>.

05.13.01

<sup>1</sup>А.Ю. Барыкин канд. техн. наук, <sup>1</sup>Р.М. Галиев канд. техн. наук,  
<sup>1</sup>Д.И. Нуретдинов канд. техн. наук, <sup>2</sup>А.М. Фролов канд. техн. наук

<sup>1</sup>НЧИ ФГАОУ ВО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,  
автомобильное отделение,  
кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,  
Набережные Челны, aleks-jb@mail.ru,  
<sup>2</sup>Набережночелнинский УКЦ АСМАП,  
Набережные Челны, ineka\_frolof@mail.ru

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*В статье приведены результаты обзора технических параметров рабочих процессов автомобильного двигателя. Рассмотрены преимущества и недостатки различных критериев долговечности и безотказности двигателя. На основе системного анализа условий эксплуатации предложена методика оценки мгновенного ресурса по совокупности показателей.*

Ключевые слова: *системный анализ, двигатель внутреннего сгорания, ресурс двигателя, падение мощности, расход масла, поршневое кольцо, выпускной клапан, гильза цилиндра.*

Системному анализу рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания посвящен ряд работ отечественных учёных [1...4]. Важной задачей технической эксплуатации автомобильного двигателя является определение его ресурса в необходимый момент и с достаточной степенью достоверности. Это позволило бы установить вероятность возникновения предельного состояния деталей и предотвратить линейные отказы.

Сложность решения данной задачи заключается в том, что оценка технического состояния двигателя по прямым показателям (износу деталей и др.) требует проведения большого объёма работ в специализированных цехах (участках), значительных трудозатрат, приводит к экономическим потерям из-за простоя подвижного состава. Поэтому при проектировании системы бортового контроля эксплуатационных показателей двигателя необходимо использовать системный анализ косвенных оценочных показателей, с той или иной степенью объективности определяющих возможный пробег автомобиля без внезапных отказов.

Выбором таких показателей для осуществления быстрой и экономичной оценки технического состояния двигателя занимались многие учёные и специалисты. На основании данных стендовых и дорожных испытаний предлагались оценочные показатели, указывающие на степень износа деталей, устанавливалась взаимосвязь между отказами двигателя и отдельными техническими параметрами. Однако до настоящего времени не был произведен системный анализ параметров двигателя, позволяющий выделить совокупность оценочных показателей и предложить методику прогнозирования ресурса средствами бортового комплекса.

В работе [5] отмечена необходимость разработки комплексного показателя мгновенного ресурса двигателя, который учитывал бы ряд весомых параметров, включая угар моторного масла и давление газов в картере двигателя.

И.Б. Гурвич в работе [1] называет косвенные показатели предельного износа автомобильного двигателя:

- ✓ угар моторного масла;
- ✓ пропуск картерных газов;
- ✓ падение мощности и топливной экономичности двигателя в целом;
- ✓ повышенный шум сопряженных деталей.

Он указывает на удобство применения перечисленных показателей и их сравнительную объективность.

Можно также назвать другие косвенные параметры, отражающие техническое состояние двигателя или его отдельных механизмов (систем):

✓ Температуры ответственных высоконагруженных деталей (поршень, выпускной клапан) и температурные градиенты (неравномерность распределения температур по стенкам цилиндров и др.);

✓ Содержание продуктов износа в моторном масле;

✓ Компрессия в цилиндрах в конце такта сжатия;

✓ Давление моторного масла;

✓ Разрежение воздуха во впускном коллекторе.

Однако при выборе показателей ресурса следует учитывать уровень объективности оценки, стабильность взаимосвязи параметра с техническим состоянием и удобство использования в бортовой системе контроля.

Так, недостатками оценки по содержанию продуктов износа являются, во-первых, наличие поверхностей трения, в различной степени лимитирующих долговечность (поверхности поршневых колец, стенки цилиндров, шейки коленчатого вала, канавки поршней); во-вторых, сложность бортового измерения уровня примесей в масле (рис. 1).



Рис. 1. Поршневое компрессионное кольцо со следами износа

Потеря давления моторного масла, во-первых, не является достаточно объективным показателем, так как может происходить по другим причинам, не связанным с износом; во-вторых, свидетельствует преимущественно об износе подшипников коленчатого вала и, таким образом, не даёт достаточной информации о состоянии двигателя в целом.

Ряд замечаний может быть предъявлен и к другим, названным выше параметрам. Например, давление газов в картере не может приниматься во внимание, если двигатель оснащён системой принудительной вентиляции картера. Изменение эффективной мощности и расхода топлива может быть вызвано другими причинами, например, заменой топлива, влиянием климатических условий [6]. Шум и вибрации, оцениваемые в пути, могут быть связаны с внешними факторами (высокое сопротивление движению, динамические нагрузки со стороны дороги и др.), что приведёт к заметной погрешности при оценке технического состояния. Сложность заключается также в выделении тех составляющих спектра колебаний, которые связаны с динамикой технического состояния ответственных деталей двигателя.

В работе [5] на основании проведённых исследований был сделан вывод, что повышенный расход моторного масла, по которому производят оценку угара, и, соответственно состояния двигателя, может быть вызван другими причинами, в частности потением картера или утечкой масла через уплотнения деталей.

По результатам проведённого системного анализа технических параметров был сделан вывод о необходимости применения метода оптимизации при оценке ресурса двигателя. Учёт ряда технических параметров в зависимости от степени их влияния позволяет достоверно оценить вероятность достижения предельного состояния деталей, исключить промахи, вызванные перечисленными выше факторами.

Получаемый комплексный показатель технического состояния должен включать все весомые технические параметры двигателя, объективно связанные с достижением предельного эксплуатационного состояния.

Предлагается осуществлять оценку технического состояния и ресурса автомобильного двигателя во время эксплуатации с помощью целевой функции вида:

$$\Theta = \sum_{i=1}^n (p_i \cdot \alpha_i) = \sum_{i=1}^n (P_{ie} \cdot \alpha_i / P_{ih}), \quad (1)$$

где  $p_i$  - оценочный показатель ресурса двигателя, определяемый как отношение текущего значения технического параметра  $P_{ie}$  к эталонному значению  $P_{ih}$ ;  $\alpha_i$  - весовой коэффициент  $i$ -го технического параметра.

Число оценочных показателей и соответствующих технических параметров может варьироваться в зависимости от типа двигателя, условий эксплуатации и степени износа двигателя. Предпочтительными являются прежде всего технические параметры температуры и давления, так как они могут быть установлены достаточно просто и при необходимости позволяют устранить влияние случайных факторов за счёт получения градиентов значений для ответственных поверхностей деталей. Во вторую очередь могут быть отнесены параметры эксплуатационных свойств (мощность, экономичность, шумность).

Использование целевой функции технического состояния позволяет, по мнению авторов, достоверно оценивать ресурс двигателя, его безотказность и потребность к ремонтному воздействию. Уменьшение вероятности отказов на линии способствует повышению экономической эффективности эксплуатации подвижного состава, показателей производительности и технической готовности парка.

#### Список литературы

1. Гурвич И.Б. Долговечность автомобильных двигателей. – М.: машиностроение, 1967. – 104 с.
2. Азаматов Р.А., Дажин В.Г., Кулаков А.Т., Модин А.И. Восстановление деталей автомобилей КамАЗ. – Набережные Челны: КамАЗ, 1994. – 215 с., ил.
3. Николаев, Е.В. Оптимизация режимов диагностирования двигателей по параметрам картерных газов / Е.В. Николаев // Труды ГОСНИТИ, 2013; т. 111, ч. 1. – С. 8-12.
4. Kulakov A.T, Barylnikova E.P, Kulakov A.O. Machine elements evaluation diagnostic devices development using compressed air on crankshaft bearings example // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 570, Is.1. – Art. № 012064.
5. Барыкин, А.Ю. Исследование взаимосвязи эксплуатационных параметров и ресурса автомобильного двигателя / А.Ю. Барыкин, Д.И. Нуретдинов, А.М. Фролов, С.М. Кучев // Научно-технический вестник Поволжья, 2019. – № 3. – С. 43-45.
6. Барыкин, А.Ю. Оценка затрат энергии в процессе зимней эксплуатации ведущего моста грузового автомобиля / А.Ю. Барыкин, Р.Х. Тахавиев // Энергосбережение. Наука и образование: сборник докладов Международной конференции. - Набережные Челны: НЧИ К(П)ФУ, 2017. – С. 52-57.

05.13.01

**А.Н. Субботин**

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,  
Институт радиоэлектроники и информационных технологий,  
кафедра «Вычислительные системы и технологии»,  
Нижний Новгород, turnonmore@yandex.ru

### **АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ПОТОКОВ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ**

*В работе представлен алгоритм классификации потоков информации состоящей из текстов на естественном языке. Классификация производится с помощью модифицированного байесовского классификатора. Представлено описание программной реализации.*

Ключевые слова: *Классификация текста, наивный байесовский классификатор, текстовые потоки.*

По мере роста количества информации в цифровом пространстве, актуальность задач связанных с её обработкой также демонстрирует рост. Применение автоматизированных средств для решения подобных проблем позволяет экономить колоссальное количество материальных и временных ресурсов. Если большое количество информации не представлено в организованном виде, работа с ней будет существенно затруднена. В этих условиях автоматизированная классификация текстов на естественном языке становится важным инструментарием, позволяющим эффективно структурировать большие объёмы текстовой информации.

Потоковые методы обработки текстов, основаны на элементах текста, принадлежащих некоторому алфавиту. Элементами текста могут быть отдельные символы, слова и любая группировка символов. В работе в качестве элементов используются текстовые документы и термины как образ документа.

При решении задачи классификации потоков текстовой информации необходимо ввести определение потока текстовой информации. Поток текстовой информации является совокупность текстовых сообщений, поступающих от отправителя в случайные моменты времени. При наличии более чем одного отправителя, обрабатываться будет количество текстовых потоков, равное количеству отправителей.

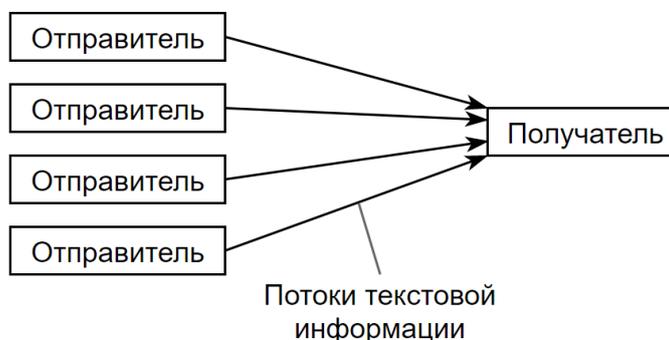


Рис. 1. Схема взаимодействия получателя и отправителей

Допустим, имеется множество текстов  $D$ ,  $d_i \in D$  и имеется множество классов  $C$ ,  $c_j \in C$ . Требуется классифицировать новый наблюдаемый текстовый документ, т. е. определить какому из подмножеств он принадлежит. Согласно формуле Байеса, апостериорная вероятность принадлежности объекта  $d_i$  классу  $c_j$  равна [1]

$$P(c_j | d_i) = \frac{P(c_j)P(d_i | c_j)}{P(d_i)}$$

Здесь  $P(d_i|c_j)$  - это вероятность встретить текстовый документ  $d_i$  среди документов класса  $c_j$ . Решение в пользу того или иного класса принимается по максимуму апостериорной вероятности и равно

$$c_{res} = \arg \max P(c_j | d_i) = \arg \max \frac{P(c_j)P(d_i | c_j)}{P(d_i)}$$

Вероятность  $P(d_i)$  остаётся постоянной в процессе классификации каждого документа и не влияет на максимальное значение. Поэтому эту вероятность можно не рассматривать как значащую для классификации. В результате вероятность принадлежности документа  $d_i$  к классу  $c_j$  равна:

$$c_{res} = \arg \max P(c_j | d_i) = \arg \max P(c_j)P(d_i | c_j)$$

Априорные вероятности классов  $P(c_j)$  рассчитываются как отношение количества документов в классе  $c_j$  к общему числу документов коллекции. Чем популярней тема - тем больше вероятность, что очередной документ будет относиться именно к ней.  $P(d_i|c_j)$  в данной формуле - вероятность того, что документ  $d_i$  принадлежит классу  $c_j$ . Чтобы оценить эту вероятность, будем использовать вероятности встретить термины, входящие в документ  $d_i$  в документах класса  $c_j$ . Рассматривая документ как сущность, содержащую термины без учёта их порядка и вероятностных взаимоотношений, мы можем оценить вероятность принадлежности документа  $d_i$  классу  $c_j$  как перемножение вероятностей вхождения в класс  $c_j$  терминов  $t_k$ , составляющих документ  $d_i$

$$P(d_i | c_j) = \prod_{k=1}^{|T|} P(t_k | c_j), t_k \in d_i \quad (1)$$

Метод позволяет произвести процедуру классификации сравнительно быстро, это отвечает требованиям быстродействия в контексте задачи классификации потоков текстовой информации в реальном времени, поэтому использование наивного байесовского классификатора для этой задачи обосновано.

Алгоритм обучения состоит в том, чтобы найти априорные вероятности  $P(c_j)$ , а также вероятности признаков  $P(d_i|c_j)$  для каждого класса, то есть рассчитать, с какой вероятностью определённый термин  $t_k$  входит в документы определённого класса  $c_j$  (1). Эту меру “принадлежности” термина классу будем называть весом термина.

Новизна описываемого алгоритма классификации состоит в использовании нового критерия принятия решения. В традиционном байесовском классификаторе в качестве меры веса термина используется относительная частота его использования в документах того или иного класса. Описываемый алгоритм использует дополнительный критерий принятия решения: термин тем незначительнее для класса, чем чаще он используется в документах всей коллекции:

$$idf(t_i, D) = \log \frac{|D|}{|d_i \ni t_i|}$$

Здесь  $|D|$  - количество текстовых документов в обучающей коллекции,  $|d_i \ni t_i|$  - количество документов, в которых встречается термин  $t_i$ . [2] Таким образом термин  $t_i$  имеет тем больший вес, чем реже он используется в документах всей обучающей коллекции.

В качестве примера будем рассматривать применение алгоритма на задаче классификации новостных статей. В качестве источников информации рассматриваются новостные порталы, в качестве новостных сообщений, составляющих поток текстовой информации - статьи, содержащие новости в текстовом формате.

Используемый алгоритм классификации относится к методам машинного обучения с учителем. Для обучения классификатора необходима обучающая коллекция верно

классифицированных текстов. В существующей реализации алгоритма для обучения использовалась коллекция статей российских газет новостных изданий из Машинного Фонда Русского Языка.

Обучение состоит из следующих этапов:

- Расчёт априорных вероятностей

$$P(c_j) = \frac{|c_j|}{|D|}$$

- Расчёт весов всех терминов обучающей коллекции по формуле:

$$P(t_k | c_j) = \frac{n_i}{\sum_k n_k} \log \frac{|C|}{|d_i \supset t_i|} \quad (2)$$

На стадии непосредственно классификации документа производится расчёт апостериорной вероятности принадлежности документа определённому классу  $P(d_i/c_j)$  путём перемножения весов терминов, входящих в документ.

$$P(c_j | d_i) = P(c_j) \prod_{k=1}^{|T|} P(t_k | c_j), t_k \in d_i$$

Здесь  $t_k$  термин, входящий в классифицируемый документ  $d_i$ ,  $P(t_k/c_j)$  - вес термина  $t_k$  в классе  $c_j$ , рассчитанный в формуле (2) на стадии обучения. Рассчитанные характеристики являются вероятностными оценками принадлежности рассматриваемого текста к каждому из существующих классов. Последним шагом выступает нахождение самого вероятного класса для данного текста.

Частотные характеристики терминов могут иметь очень маленькие значения, поэтому при их перемножении на практике величина может оказаться слишком малой, чтобы представить её с помощью встроенных типов с плавающей точкой. Чтобы этого избежать, правило байесовской классификации логарифмируется. В результате, формула правила классификации рассчитывается по следующей формуле:

$$c_{res} = \arg \max \left[ \log(P(c_j)) + \sum_{k=1}^{|T_{d_i}|} \log(P(t_k | c_j)) \right]$$

Здесь  $P(t_k/c_j)$  - вероятность встретить термин  $t_k$  в классе  $c_j$ , рассчитанная на стадии обучения.  $P(c_j)$  - доопытная вероятность, сообщения принадлежности классу  $c_j$ , также рассчитанная на стадии обучения.[3] Класс, для которого апостериорная вероятность, рассчитанная таким образом будет максимальной - признается классом, которому принадлежит классифицируемый документ.

Описанный алгоритм, решающий задачу классификации текстовых потоков был реализован на языке C++ с использованием фреймворка Qt. На программную реализацию описанного алгоритма получено свидетельство о регистрации авторских прав [4].

### **Список литературы**

1. Федоткин М.А. Основы прикладной теории вероятностей и статистики, М: Высшая школа, 2006, - 368 с.
2. Stephen Robertson. Understanding Inverse Document Frequency: On theoretical arguments for IDF. // Journal of Documentation 60 no.5 p 503-520.
3. Байесовская классификация текстовых потоков / Ломакина Л.С., Ломакин Д.С., Субботин А.Н // Системы управления и информационные технологии №4(66), Научная книга. - 2016 г. - с. 60-64.
4. Ломакина Л.С., Ломакин Д.В., Субботин А.Н. Программа классификации потоков текстовых данных на основе байесовского подхода. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611236 (Роспатент)

05.13.01

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

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

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Рассмотрено формирование системы мотивации персонала на снижение энергоемкости и повышение эффективности производства через последовательную реализацию общих функций управления и путем повышения качества обратной связи в управленческом цикле. Предлагается точная комплексная оценка энергоемкости продукции для совершенствования системы мотивации и управления энергоэффективностью производства с применением программы «Экон».*

Ключевые слова: *мотивация, общие функции управления, эффект, эффективность, энергоэффективность, технико-экономические показатели, комплексная оценка.*

Управление любым видом ресурса на промышленном предприятии предполагает необходимость последовательной реализации общих функций управления: планирования, организации, учета (в т.ч. контроля), анализа, регулирования [1]. Совокупность работ в стандартах ИСО 50001 «Энергоменеджмент» подтверждает необходимость реализации этого управленческого цикла [2].

Эффективность реализации всего управленческого цикла будет зависеть от качества реализации каждой общей функции и качества обратной связи в интегрированной системе управления предприятием. В сложных дискретных производствах на функцию регулирования влияет не только существующая на предприятии система учета ресурсов, но и система мотивации. Организация внутривзаводского управления и системы мотивации осуществляется с помощью технико-экономических показателей (ТЭП). В теории и практике управления промышленным предприятием сконструировано более тысячи ТЭП [3]. Выбор и обоснование системы показателей для управления каким-либо ресурсом или производством в целом является отдельной научной задачей по направлению 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», поскольку от точности, объективности оценки использования ресурса будет зависеть «прозрачность» системы мотивации и эффективность управления на предприятии.

При оценке ресурсосберегающих технологий главную проблему представляет определение величины эффекта, которое предприятие получит при внедрении организационно-технических мероприятий по снижению материалоемкости, энергоемкости, трудоемкости изделия (услуги). Если в проектных решениях допустимы прогнозные, ориентировочные расчеты, то при внедрении ресурсосберегающих технологий необходимо их точное, конкретное определение. Здесь потребуется интеграция деятельности технологов, нормировщиков, экономистов и разработчиков проекта. При этом необходимо более точное калькулирование издержек производства при формировании себестоимости продукции. Особенно это относится к энергоемким производствам, где необходим отдельный учет энергии и топлива на технологические нужды и учет энергии и топлива, включаемых в статьи накладных расходов. Можно возразить, что независимо от того, какую энергию мы экономим (технологическую или «накладную»), сметная сумма затрат в денежном выражении все снивелирует. Вот здесь и всплывает проблема мотивации персонала и ответственности за снижение издержек по месту их возникновения при внедрении энергосберегающих технологий [4].

Кроме того, задача непрерывного технического совершенствования производства и развития работника ставит вопрос объективной оценки личного вклада каждого работника в общие показатели эффективности деятельности. Конструкторам, технологам, механикам, энергетикам регулярно ставятся задачи снижения технологической себестоимости продукции (материалоемкости, энергоемкости, трудоемкости). В структуре себестоимости продукции эти усилия формально отражаются в статьях калькуляции. При этом норма расхода ресурса при перемножении на цену этого ресурса сглаживает усилия вышеназванных специалистов предприятия в стоимостных оценках.

Авторами статьи предлагается формирование точной комплексной (по нескольким видам топливно-энергетических ресурсов) оценки энергоэффективности производства с применением программного продукта «Экон: Интегрированная оценка объектов» (Роспатент 2001610024) [5].

Существует множество различных математических моделей формирования комплексной оценки объектов. Однако при оценке эффективности использования ресурсов различных сторон производственно-хозяйственной деятельности промышленных предприятий и мотивации персонала первичные показатели оперативного учета преобразовываются либо в условные тонны («Энергоменеджмент»), либо в стоимостные показатели («Финансовый менеджмент»), либо в баллы (KPI – ключевые показатели эффективности работника, плюс субъективная экспертная оценка вышестоящего руководителя, «Управление персоналом»). Идеи графического сравнения параметров объектов в натуральных единицах измерения широко известна в теоретических исследованиях, но она позволяет сравнивать единичные параметры только 2-3 объектов. Программа позволяет изменять количество интегрируемых параметров от 3 до 100, количество ранжируемых объектов – не ограничено.

На кафедрах ПНИПУ «Экономика и управление промышленным производством» (ЭУПП) и «Микропроцессорные средства автоматизации» (МСА) ведутся исследования по «Разработке организационно-экономического механизма повышения эффективности (в т.ч. энергоэффективности) промышленного производства» с применением этой программы [6]. В табл.1 представлен расчет числового интегрального показателя (ЧИП) фактической энергоемкости продукции. Разница между ЧИП 2018 и ЧИП 2019 составляет 255 у.е. Это точная комплексная цифровая оценка эффекта, полученная на предприятии по снижению энергоемкости продукции, может быть включена в систему мотивации персонала.

**Таблица 1.** – Потребление электроэнергии, пара и воды на выработку единицы продукции.

Виды энергии	Ед.изм.	Фактический расход за 2018 г.	Фактический расход за 2019 г.
Электроэнергия	кВт*ч	299	310
Технический пар	Гкал	1.78	1.76
Вода	М куб.	33.1	30.0
<b>ЧИП</b>	----	4541.454	4286.133

Кроме того, область применения программы «Экон» может быть расширена от интегральной оценки энергоэффективности, качества продукции до оценки конкурентоспособности работника, подразделения, предприятия в целом. В табл. 2 представлена группа из пяти однородных объектов (цехов, участков, филиалов, дивизионов), оцениваемых по пяти параметрам (показателям) эффективности производственно-хозяйственной деятельности (например: энергоэффективность, производительность труда, общая рентабельность производства и т.д.).

**Таблица 2.** – Контрольный пример.

Объекты (количество не ограничено)	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	Параметр 4	Параметр 5	Количество параметров от 3 до 100
O1	1.25	20.0	10.0	1.00	4.3	.....
O2	1.50	21.0	7.2	0.95	4.1	.....
O3	1.15	19.0	9.5	0.53	3.8	.....
O4	1.00	23.0	8.0	0.80	5.0	.....
O5	1.40	19.5	11.1	0.75	3.5	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

При вводе параметров для определения ЧИП по каждому объекту программа формирует рейтинговую таблицу (табл.3). Далее в системе мотивации предприятия ЧИПы объектов могут быть преобразованы в «индексы конкурентоспособности», «коэффициенты трудового участия», «проценты премиального бонуса» по итогам года.

**Таблица 3.** – Рейтинговая таблица конкурентоспособности объектов.

Ранг	Объекты	ЧИП
1	O5	123.447
2	O1	116.350
3	O4	105.757
4	O3	101.653
5	O2	94.908
.....	.....	.....

В перспективе использование программы «Экон» при формировании интегрированной системы управления производством позволит:

- Осуществлять объективную оценку усилий работника по снижению энергоемкости продукции на основе первичных показателей в натуральных единицах измерения.
- Осуществлять многокритериальную числовую интегральную оценку объектов (работников, цехов, завода) на основе первичных показателей оперативного учета и ТЭП.
- Повысить самоуправляемость системы за счет вовлеченности всего персонала в процесс взаимосвязи текущей и инновационной деятельности предприятия; взаимосвязи усилий работника и качества работы.

### Список литературы

1. Тимофеева Г.А. Частные и общие функции управления промышленным предприятием // Экономика и предпринимательство, 2014 № 1, ч. 2. С. 570-573.
2. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИСО СТАНДАРТ 50001. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению. [Электронный ресурс] [http:// docs.cntd.ru](http://docs.cntd.ru) (дата обращения 18.12.19)
3. Смирницкий Е.К. Экономические показатели бизнеса. М.: Экзамен. – 2012.- 512с.
4. Тимофеева Г.А. Проблемы обеспечения энергоэффективности производства на машиностроительных предприятиях // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике : материалы IX Всерос.(с междунар. участием) науч.-техн. интернет-конф. (1-30 июня 2015 г.). - Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2015. - С. 28-32
5. Тимофеева Г.А. Организация инновационной деятельности на промышленном предприятии // Экономика и предпринимательство, - 2015. - № 2. - С. 516-518.
6. Петроченков А.Б., Севастьянова И.Г., Трусов А.В., Бочкарев С.В., Кавалеров Б.В., Мильников Л.А., Тимофеева Г.А. Управление инновационными проектами: учебное пособие. / Федер. агентство по образованию, Перм. гос. техн. ун-т. - Пермь : Изд-во ПГТУ, 2009. - 297 с.

05.13.01

**В.А. Трипкош канд. техн. наук, С.С. Акимов**

Оренбургский государственный университет,  
аэрокосмический институт,  
кафедра управления и информатики в технических системах,  
Оренбург, va.tripkosh@bk.ru, elite17@yandex.ru

### **ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА РЕШЕНИИ СОСТАВНОЙ БАЙЕСОВСКОЙ ЗАДАЧИ**

*В работе представлены результаты оценивания эффективности составных байесовских алгоритмов распознавания образов с точки зрения их временной сложности. Выявлены преимущества составных байесовских процедур принятия решений, реализованных на основе граф-схемного метода сокращения объема вычислений и обеспечивающих полиномиальный характер временной сложности от входа. Предложено развитие систем автоматического распознавания образов в различных прикладных областях с использованием эффективных алгоритмов принятия решений с полиномиальной функцией сложности.*

Ключевые слова: *временная сложность алгоритма, составная байесовская задача, составной граф-схемный алгоритм распознавания, эффективный алгоритм принятия решений.*

**Введение.** В условиях современных тенденций автоматизации и роботизации производства распознавание образов, как всеобщая задача, становится все более важной для техники, а разработка технологий автоматического решения этой задачи является наиболее актуальной.

**Анализ проблемы.** Среди проблем, связанных с реализацией систем автоматического распознавания образов, наряду с проблемой выбора характерных признаков подлежащих распознаванию объектов, следует выделить проблему синтеза эффективных алгоритмов (решающих правил, процедур) принятия решений. Алгоритмам принятия решений при распознавании посвящен обширный перечень публикаций. При этом, среди многих рассматриваемых алгоритмов, как наиболее эффективные, выделяются байесовские процедуры принятия решений [1, 2, 3, 4].

Для наиболее сложного случая – распознавания ситуации, как системы образов группы объектов, характеризующейся общими пространственными, временными и другими признаками, лучшую достоверность распознавания обеспечивают составные байесовские правила. Однако, основные ограничения на использование составных байесовских процедур связываются с большим объемом вычислений и, соответственно, неприемлемыми временными затратами на проведение акта распознавания [2].

Этого недостатка лишена, предложенная в работах [4, 5], модификация составного байесовского алгоритма распознавания, основанная на использовании эффективного метода сокращения объема вычислений. Метод базируется на организации расчета решающих статистик с помощью специальной структуры, названной граф-схемой, и, соответственно, алгоритм распознавания получил название – составной граф-схемный алгоритм (СГСА). При использовании оптимальных граф-схем предложенный метод позволяет без риска ошибиться исключить из рассмотрения те варианты  $r_N \in \{1, \dots, R_N\}$  состава группы из  $N$  объектов, решающие статистики которых заведомо меньше максимальной.

В работе [6] предложена методика синтеза оптимальных граф-схем для поиска внутри группы элементов, позволяющая эффективно реализовать составной байесовский алгоритм распознавания объектов в системах поддержки принятия решений.

Таким образом, наряду с классическим алгоритмом распознавания на основе составного байесовского подхода (с полным перебором вариантов состава группы) предложена версия этого алгоритма, использующая специальную процедуру сокращения объема вычислений. Поэтому, если имеются различные алгоритмы решения одной и той же задачи, в практическом плане их эффективность целесообразно рассматривать не только с точки зрения, обеспечиваемой ими, достоверности принятия решений, но еще и с учетом их вычислительной сложности. В этом заключается научная новизна такого подхода применительно к алгоритмам распознавания образов.

**Теория.** В теории алгоритмов под вычислительной сложностью понимается функция зависимости объема работы, выполняемой некоторым алгоритмом, от размера входных данных. Объем работы во временном измерении оценивается временной сложностью алгоритма, которая определяется количеством элементарных шагов, необходимых для решения задачи. Временную сложность обычно рассматривают в худшем, наилучшем или среднем случае. Оценка временной сложности алгоритма в худшем случае является более полезной, так как «зная время работы в худшем случае, мы можем гарантировать, что выполнение алгоритма закончится за некоторое время, даже не зная, какой именно вход (данного размера) попадет» [7, с. 24].

**Цель статьи** – проведение оценки временной сложности в худшем случае для СГСА в сравнении с классической версией составного байесовского алгоритма распознавания.

**Показатели.** Оценку временной сложности различных версий составных алгоритмов проведем по следующим показателям:

- сложность процедуры перебора всех  $R_N$  вариантов состава группы из  $N$  объектов, иначе – число операций сравнения решающих статистик;
- число арифметических операций, выполняемых на ЭВМ, при вычислении решающих статистик.

**Оценка временной сложности классической версии составного байесовского алгоритма распознавания.** Как известно [2, 4], при алфавите из  $M$  классов распознавания в худшем случае общее количество вариантов состава группы  $R_N$  определяется экспонентой  $M^N$  от входа  $N$ . Этот случай будем называть «полным списком» вариантов состава группы, а случай, когда  $R_N < M^N$  – «неполным списком». Реальные списки вариантов групп распознаваемых объектов, как правило, являются неполными.

При переборе полного списка вариантов состава группы (в худшем случае) число операций сравнения решающих статистик равно

$$M^N - 1. \quad (1)$$

Для классической версии составного байесовского алгоритма требуется рассчитать решающие статистики  $S_r$  [4] по формуле

$$S_r = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \delta_{ijr} \sum_{t=1}^T \sum_{q=1}^{Q_t} \delta_{tq} \cdot \log \lambda_{iqt} + \log P(r), \quad (2)$$

где  $i$  – номер класса распознавания,  $i \in \{1, \dots, M\}$ ;

$$\delta_{ijr} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й класс объекта стоит на } j\text{-м месте в } r\text{-м варианте} \\ & \text{состава группы;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$t$  – номер признака распознавания из словаря, насчитывающего  $T$  признаков;

$q$  – номер градации при гистограммном задании закона распределения значений признака

$t$ , общее количество таких градаций равно  $Q_t$ ;

$$\delta_{tq} = \begin{cases} 1, & \text{если значение } t\text{-го признака попало в } q\text{-ю градацию;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$\lambda_{iqt}$  – условная вероятность попадания в  $q$ -ю градацию значения  $t$ -го признака для  $i$ -го класса объектов;

$\log(\cdot)$  – операция логарифмирования выражения  $(\cdot)$  по любому основанию;

$P(r)$  – априорная вероятность предъявления к распознаванию группы объектов  $r$ -го состава.

Число арифметических операций, выполняемых на ЭВМ, для расчета всех статистик  $S_r$ , согласно формуле (2) в худшем случае определяется выражением

$$N \cdot (T - 1) \cdot M^N + M^N = M^N \cdot (NT - N + 1). \quad (3)$$

Следовательно, в классической версии алгоритма для худшего случая, как число операций сравнения при переборе вариантов в полных списках, так и количество арифметических операций расчета решающих статистик определяются экспонентами (1) и (3), а составной байесовский алгоритм распознавания в целом с точки зрения временной сложности является неэффективным алгоритмом экспоненциального типа.

**Оценка временной сложности СГСА.** В этом случае объем работы алгоритма определяется длиной маршрута через вершины граф-схемы. Так как структура граф-схемы зависит от списка вариантов состава группы, на основе которого она разработана [6], то временная сложность СГСА для каждого реального списка вариантов групп будет различна. Однако можно определить временную сложность алгоритма в худшем случае, так как для полных списков вариантов групп при реализации СГСА имеют место следующие закономерности:

- граф-схемы таких списков содержат  $(M^N - 1)/(M - 1)$  вершин и  $M^N$  дуг;
- граф-схемы содержат только эффективные вершины (вершины, выходящие дуги которых составляют комплект [6]) и вершины с одной выходящей дугой;
- число эффективных полных вершин (вершин, выходящие дуги которых составляют полный комплект) в граф-схеме равно  $(M^{N-1} - 1)/(M - 1)$ , а общее число эффективных неполных вершин и вершин с одной дугой равно  $M^{N-1}$ ;
- любой из маршрутов граф-схемы, начинающийся с первой вершины, содержит подряд  $N - 1$  эффективную полную вершину и одну эффективную неполную вершину или одну вершину с одной выходящей дугой.

Оценим число операций сравнения решающих статистик для худшего из маршрутов, то есть маршрута с  $N - 1$  эффективными полными вершинами и одной эффективной вершиной с  $M - 1$  дугами. Тогда число операций сравнения будет определяться полиномом

$$N + (M - 1) \cdot (N - 1) + M - 2 = NM - 1. \quad (4)$$

С учетом того, что реальные списки вариантов состава группы меньше полных, можно утверждать, что временная сложность граф-схемной процедуры их перебора будет не хуже.

Теперь определим число арифметических операций, выполняемых на ЭВМ, при реализации СГСА. Общее количество подлежащих вычислению статистик  $S_r$  в этом случае определяется числом выходящих дуг вершин соответствующего маршрута граф-схемы. Для граф-схемного метода сокращения объема вычислений выражение (2) упрощается [6] и сводится к формуле

$$S_r = S_{gkp} + \log P(r) + d_{i^*j^*}, \quad (5)$$

где  $S_{gkp}$  – промежуточная статистика, соответствующая корню строк комплекта очередной эффективной вершины оптимальной граф-схемы, которую достаточно один раз рассчитать при прохождении алгоритмом данной вершины;

$d_{i^*j^*}$  – промежуточная статистика, которую целесообразно рассчитать вначале реализации алгоритма, когда на вход модуля распознавания поступят измеренные значения признаков всех объектов группы;

$i^*$  – номер класса объекта, который в  $r$ -м варианте состава группы стоит на  $j^*$ -м месте.

Для худшего из маршрутов оптимальной граф-схемы число дуг равно  $M \cdot (N-1) + M - 1 = M \cdot N - 1$ . В случае предварительного расчета промежуточных статистик  $d_{i^*,j^*}$  общее число операций сравнения составит  $M \cdot N \cdot (T-1)$ , а число операций вычисления статистик  $S_{gkr}$  определяется числом эффективных вершин маршрута и равно  $(N-1) + 1 = N$ .

Тогда число арифметических операций расчета промежуточных статистик  $d_{i^*,j^*}$  составит  $(N-1) \cdot (N-2) + N - 2 = N \cdot (N-2)$ . Для расчета решающих статистик  $S_r$  по формуле (5) понадобится еще  $2 \cdot (NM - 1) = 2 \cdot NM - 2$  арифметических операций.

Следовательно, составной граф-схемный алгоритм распознавания в ходе своей работы в худшем случае потребует выполнения числа арифметических операций, определяемого полиномом второго порядка

$$NM \cdot (T-1) + N \cdot (N-2) + 2 \cdot NM - 2 = N^2 - 2N + NM \cdot (T+1) - 2. \quad (6)$$

Для реальных условий (в наилучшем и среднем случае) временная сложность СГСА будет заведомо ниже, то есть лучше.

Следовательно, точно так же, как и граф-схемная процедура перебора вариантов, число арифметических операций в худшем случае для СГСА определяется полиномиальной зависимостью временной сложности от входа  $N$ , а составной граф-схемный алгоритм распознавания с точки зрения временной сложности в целом является эффективным алгоритмом полиномиального типа.

**Выводы.** Оценка временной сложности в худшем случае классической версии составного байесовского алгоритма распознавания в соответствии с выражениями (1) и (3) свидетельствует об экспоненциальном типе сложности этого алгоритма, то есть об его неэффективности по этому признаку. Оценка временной сложности в худшем случае составного граф-схемного алгоритма распознавания в соответствии с выражениями (4) и (6) свидетельствует о полиномиальном типе сложности этого алгоритма, то есть об его эффективности по этому признаку. Возможность перехода от экспоненциального к полиномиальному типу временной сложности составных байесовских правил при реализации граф-схемного метода сокращения объема вычислений обусловлена переносом трудностей составных правил с этапа непосредственного распознавания на предварительный (некритичный по времени) этап синтеза оптимальных граф-схем.

**Заключение.** Предложенный подход и полученные оценки временной сложности различных версий составного байесовского алгоритма, наряду с теоретической, имеют практическую значимость, так как могут быть использованы при выработке требований к системам автоматического распознавания образов в различных областях техники, производства и экономики.

**Список литературы**

1. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен / Перевод с англ. Г.Г. Вайнштейна и А.М. Васьковского. Под ред. В.Л. Стефанюка. – Москва: Мир, 1976. – 511 с.
2. Горелик А.Л., Барабаи Ю.Л., Кривошеев О.В., Эпштейн С.С. Селекция и распознавание на основе локационной информации. – Москва: Радио и связь, 1990. – 240 с.
3. Попова Л.П., Датьев И.О. Обзор существующих методов распознавания образов // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты: Изд-во КНИЦ РАН, 2007. – Вып. VII. – С. 93–103.
4. Шепель В.Н., Трипкош В.А. Алгоритм распознавания производственных ситуаций в информационно-управляющих системах на основе решения составной байесовской задачи // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 12/2017. – с. 97–101.
5. Трипкош В.А. Составной граф-схемный алгоритм распознавания ситуаций в информационно-управляющих системах // Инновационные технологии в науке нового времени: материалы Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. Часть 2. Уфа: МЦИИ Омега Сайнс. – Уфа, 2016. С. 34–40.
6. Shepel V.N. , Speshilova N.V. , Tripkosh V.A. , Rakhmatullin R.R. . (2019). Synthesis Method of Flash Graphs for Optimal Search of Manufacturing Subsystems Recognised on Basis of Composite Bayes Task Solution. TEM Journal, 8(1), 144–149. – URL: [http://www.temjournal.com/content/81/TEMJournalFebruary2019\\_144\\_149.pdf](http://www.temjournal.com/content/81/TEMJournalFebruary2019_144_149.pdf). – DOI:10.18421/TEM81–20.
7. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ / Пер. с англ. Под ред. А. Шеня. – М.: МЦНМО, 2002. – 960 с.

05.13.01

<sup>1</sup>С.А. Ямашкин канд. техн. наук, <sup>2</sup>А.А. Ямашкин д-р геогр. наук

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева»,  
<sup>1</sup>Институт электроники и светотехники,  
кафедра АСОИУ,  
<sup>2</sup>географический факультет,  
yamashkinsa@mail.ru, yamashkin56@mail.ru

## КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ХРАНЕНИЯ, АНАЛИЗА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

*В статье предлагается система формализованных критериев эффективности решения задач хранения, анализа и распространения данных в проектно-ориентированных инфраструктурах пространственных данных. Результат достигается посредством декомпозиции подсистемы анализа, центры хранения пространственных данных и геопорталы. Показатели эффективности определены набором целевых эффектов системы, ее ресурсоемкостью и сложностью процессов построения и модификации.*

Ключевые слова: *Инфраструктура пространственных данных, глубокое обучение, пространственные данные, геопорталы.*

**Введение.** Инфраструктуры пространственных данных (ИПД) представляют собой комплексные системы, объединяющие в себе программно-аппаратные информационные узлы, обеспечивающие возможность получения, хранения, визуализации и распространения геопространственной информации для реализации информационных потребностей в научных и прикладных проблемных областях [1]. Процессы проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД должны быть ориентированы на решение проектных задач [2].

Для оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных проектно-ориентированная ИПД должна содержать связанные за счет интерфейсов системные компоненты:

1) *Подсистема анализа (ПА)* пространственных данных необходима для исследования и актуализации накопленной информации с целью принятия управленческих решений в рамках проектных задач.

2) *Центры хранения пространственных данных (ЦХПД)* играют роль системного компонента ИПД, используемого для обеспечения доступа к актуальным пространственным данным при решении проектных задач.

3) *Геопортальные системы (Геопорталы)* представляют собой внешнюю часть ИПД, выполняющую роль точки доступа к актуальным пространственным данным посредством инструментов поиска и визуализации [3, 4].

4) *Внешние компоненты и акторы ИПД* формируются из сторонних потребителей пространственной информации, провайдеров пространственных данных, а также акторов, взаимодействующих с инфраструктурой при выполнении логически связанных ролей (пользователей, ученых и специалистов) с прецедентами системы.

**Ключевые архитектурные элементы ИПД.** С позиции теоретико-множественного представления дадим формализованное описание платформенной архитектуры проектно-ориентированных ИПД. Для этого представим объект исследования как систему, состоящую из набора взаимодействующих элементов.

$$S = \langle C, R, Q, X \rangle,$$

где  $S$  – проектно-ориентированная ИПД как система,  $C$  – набор ключевых компонентов, на которые декомпозируется проектно-ориентированная ИПД, который, исходя из сформулированной гипотезы может быть представлен как  $\langle C_{analysis}, C_{storage}, C_{geoportal} \rangle$  где  $C_{analysis}$  – система анализа пространственных данных,  $C_{storage}$  – облачные центры хранения пространственных данных,  $C_{geoportal}$  – геопортальная система;  $R$  – набор отношений между компонентами ИПД, определяемый особенностями технического и нормативного взаимодействия;  $Q$  – набор свойств ключевых компонентов ИПД и отношений  $\langle Q_C, Q_R \rangle$ , определяющих критерии оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных;  $X$  – набор воздействий с акторами системы. По мере развития ИПД теоретико-множественная формула может уточняться, отражая взаимодействия между множествами компонентов.

Для оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных необходимо выработать критерии эффективности проектируемой ИПД, определяемые следующим образом:

$$P = \langle E, \mathfrak{R}, T \rangle,$$

где  $P$  – показатели эффективности проектно-ориентированной ИПД;  $E$  – набор целевых эффектов системы, определяемый конкретными аспектами применения ИПД;  $\mathfrak{R}$  – ресурсоемкость ИПД при выполнении операций хранения, анализа, распространения и визуализации пространственных данных;  $T$  – сложность (в том числе временная) процессов построения системы, ее модификации, реорганизации и практического использования.

**Критерии эффективности проектно-ориентированной ИПД** для подсистем анализа, хранения данных и геопорталов с целью достижения целевых эффектов, снижения ресурсоемкости и временной сложности трансформации системы сведены в таблицу.

Таблица – Критерии эффективности проектно-ориентированной ИПД

Показатель эффективности	Подсистемы ИПД		
	ПА	ЦХПД	Геопорталы
Достижимость целевых эффектов ( $E$ )	повышение объективных метрик ( $E_{A1}$ ), снижение ошибок I и II рода ( $E_{A2}$ ), оптимизация экспертных оценок ( $E_{A3}$ )	Комплексность и полнота ( $E_{S1}$ ), актуальность, достоверность и полезность ( $E_{S2}$ ), защищенность ( $E_{S3}$ ) пространственных данных	функциональная пригодность и проектная ориентация ( $E_{G1}$ ), удобство использования и надежность ( $E_{G2}$ ), защищенность пользовательских данных ( $E_{G3}$ )
Ресурсоемкость ( $\mathfrak{R}$ ) ИПД при выполнении операций	оптимизация алгоритмов ( $\mathfrak{R}_{A1}$ ), увеличение мощности аппаратного обеспечения ( $\mathfrak{R}_{A2}$ )	индексация записей ( $\mathfrak{R}_{S1}$ ), оптимизация и кэширование запросов ( $\mathfrak{R}_{S2}$ ), развитие алгоритмов поиска ( $\mathfrak{R}_{S3}$ )	программная оптимизация геопортального каркаса ( $\mathfrak{R}_{G1}$ ), увеличение ресурсов выделенного сервера ( $\mathfrak{R}_{G2}$ )
Сложность ( $T$ ) процессов создания, модификации и использования компонента	Модульность модели ( $T_{A1}$ ), оптимизация метрик ПО ( $T_{A2}$ ), тестируемость ( $T_{A3}$ )	стандартизация и задокументированность ( $T_{S1}$ ) целостность ( $T_{S2}$ ), нормализация ( $T_{S3}$ ) базы данных	модульность каркаса ( $T_{G1}$ ), высокая модифицируемость компонентов ( $T_{G2}$ ), сопровождаемость проекта ( $T_{G3}$ )

**Выводы.** Теоретико-множественный подход к анализу системных свойств, элементов и их связей проектно-ориентированных ИПД позволяет выделить опорные моменты, которые являются критическими в вопросе оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных:

1. **Повышение точности и быстродействия методического, алгоритмического и программного обеспечения процесса анализа пространственных данных и прогнозирования пространственно-временных процессов.** Решение этой проблемы возможно посредством разработки и использования новых алгоритмов глубокого машинного анализа для комплексной интерпретации данных ДЗЗ, цифровых ландшафтных карт и вспомогательной пространственно-временной информации с целью осуществления высокоточного автоматизированного мониторинга систем землепользования, природных ресурсов и последствий стихийных бедствий.

2. **Совершенствование систем хранения больших пространственно-временных данных** путем разработки новых физических и логических моделей хранилищ, синтеза реляционного и NoSQL подходов, внедрения новых алгоритмов кеширования и индексирования больших информационных массивов, создания методов хранения и обработки больших массивов информации с использованием облачных технологий.

3. **Внедрение эффективных геопортальных технологий и разработка новых архитектурных паттернов визуализации и распространения пространственно-временных данных** на основе современных веб-технологий и поведенческой оптимизации с целью организации фундаментальной основы для получения и системного анализа экспертной информации при принятии управленческих решений.

4. **Разработка системы рекомендаций** по проектированию, разработке, внедрению и эффективному использованию проектно-ориентированных цифровых ИПД для принятия управленческих решений в области оптимизации использования природно-техногенных систем и формирования устойчивого развития хозяйства регионов России.

Достижение комплексного решения опорных задач позволит получить систему эффективных методов, алгоритмов и архитектурных паттернов хранения, оперативного анализа и распространения пространственно-временных данных для построения проектно-ориентированных ИПД.

#### **Благодарности.**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70055*

#### **Список литературы**

1. *Masser I.* Changing Notions of a Spatial Data Infrastructure / I. Masser // SDI Convergence: Research, Emerging Trends, and Critical Assessment. Netherlands Geodetic Commission. – 2009. – pp. 219–228.
2. *Li M.* A case-based reasoning approach for task-driven spatial-temporally aware geospatial data discovery through geoportals / M. Li, W. Guo, L. Duan // International Journal of Digital Earth. – 2017. – vol. 10. – № 11, pp. 1146–1165.
3. *Кошкарев А.В.* Российские научно-образовательные и отраслевые геопорталы как элементы инфраструктуры пространственных данных / А. В. Кошкарев, И. Н. Ротанова // Вестн. Новосиб. гос. ун-та, Серия Информационные технологии. – 2014. – Т. 12. – № 4. – С. 38–52.
4. *Yamashkin S.A.* Problems of Designing Geoportal Interfaces / S.A. Yamashkin, M.M. Radovanović, A.A. Yamashkin, N.N. Barmin, V.V. Zanozin, M.D. Petrović // GeoJournal of Tourism and Geosites. – 2019. – vol. 24. – № 1. – pp. 88–101.

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

05.13.06

**Н.В. Андриевская канд. техн. наук, О.А. Андриевский**

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,  
Электротехнический факультет,  
кафедра Микропроцессорных средств автоматизации,  
Пермь, nataly-anv@mail.ru,  
Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Мегафакультет компьютерных технологий и управления,  
Факультет систем управления и робототехники,  
Санкт-Петербург, andrievsky@niuitmo.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПЕРЕХОДНЫХ СОСТОЯНИЙ  
ДЛЯ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Рассмотрен метод синтеза цифровых систем автоматического управления методом переходных. Исследован запас устойчивости цифровых систем управления. Проведен анализ качества управления. Представлены рекомендации для применения метода переходных состояний.*

Ключевые слова: *цифровая система автоматического управления, метод переходных состояний, алгоритм синтеза цифровой системы управления, запас устойчивости, качество управления.*

Современные подходы к проектированию автоматических систем управления ориентируются на цифровые системы автоматического управления (ЦСАУ) [1]. Предпочтительность цифровых систем управления обусловлена с одной стороны, автоматизацией процедуры синтеза [2], так и реализуемости цифрового регулятора на базе современных микроконтроллеров [3].

Одним из современных методов синтеза цифровых систем управления является метод переходных состояний. Данный алгоритм широко применяется для управления электромеханическими системами [4]. Однако практическая реализация показывает, что показатели качества данных цифровых САУ отличаются от желаемых.

В данной статье представлены результаты исследования цифровых систем автоматического управления применительно к различным объектам управления, оценен запас устойчивости ЦСАУ, исследовано влияние шага квантования на качество управления, определены области применения данного алгоритма управления.

Структурная схема ЦСАУ представлена на рис. 1. [2, 5]

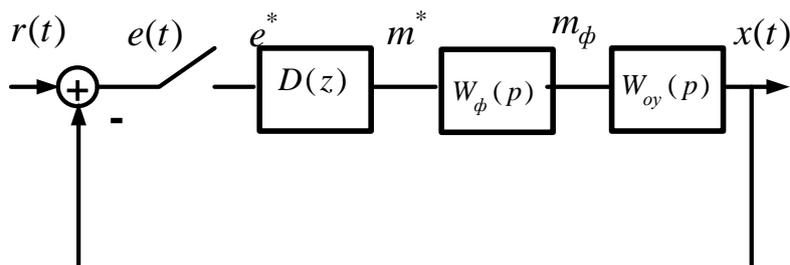


Рис. 1. –Структурная схема ЦСАУ

Система управления состоит из объекта управления, представленного передаточной функцией  $W_{OY}(p)$ , цифрового регулятора  $D(z)$ , импульсного элемента, осуществляющий квантование с дискретностью  $T_0$  и фиксатора  $W_{\phi}(p)$ , обеспечивающего «запоминание» управляющего сигнала  $m_i$  в течение последующего шага дискретизации.

Синтез цифрового регулятора осуществлен методом переходных состояния [2,3], в некоторых источниках данный метод носит название «метод переменного коэффициента усиления» [2, 5]. Метод переходных состояний обеспечивает аperiodический характер переходного процесса за  $t_{ПП} = nT_0$ , где  $n$  - порядок объекта управления.

Синтез ЦСАУ реализован с помощью программного модуля Discrete Filter Design Tool [2]. В качестве объектов управления были рассмотрены системы следующего вида:

$$W_{OY}(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \tag{1}$$

$$W_{OY}(p) = \frac{K}{p(T_1 p + 1)} \tag{2}$$

$$W_{OY}(p) = \frac{K}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \tag{3}$$

$$W_{OY}(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} \tag{4}$$

$$W_{OY}(p) = \frac{K(T_1 p + 1)}{(T_2 p + 1)} \tag{5}$$

$$W_{OY}(p) = \frac{K(T_1 p + 1)}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} \tag{6}$$

$$W_{OY}(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)} \tag{7}$$

Объекты, представленные данными передаточными функциями, представляют собой модели электромеханических и гидравлических систем.

Анализ запасов устойчивости осуществлялся путем исследования расположения корней характеристического уравнения замкнутой системы  $F_{3C}(z) = a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_n$ . При этом преобразование непрерывной передаточной функции объекта управления  $W_{OY}(p)$  в дискретную  $W_{OY}(z)$  осуществлялось с помощью подстановки Тастина [1].

Характерное для объектов (1-7) расположение корней представлено на рис. 2.

В соответствии с условием устойчивости дискретных систем, корни устойчивой системы должны располагаться внутри единичной окружности или  $|z| < 1$ . По рис. 2 видно, что ЦСАУ является устойчивой. Однако, расположение некоторых корней вблизи окружности означает малый запас устойчивости. Действительно алгоритм синтеза ЦСАУ обеспечивает переход к желаемому установившемуся значению путем чередования знака управляющего сигнала и изменения амплитуды управляющего сигнала, однако в самой процедуре синтеза запас устойчивости не заложен.

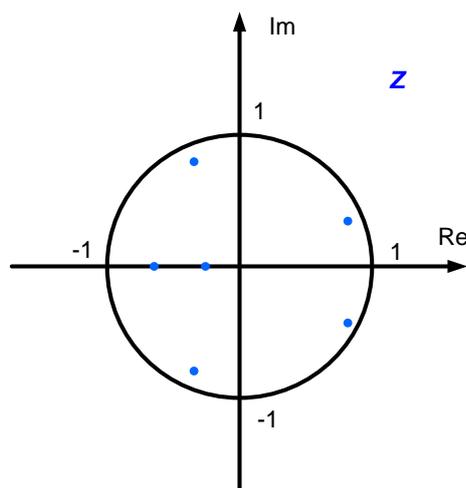


Рис. 2. – Расположение корней характеристического уравнения ЦСАУ

При синтезе ЦСАУ необходимо тщательно подходить к выбору шага  $T_0$ . С одной стороны, шаг выбирается по минимальной постоянной времени  $T_0 = \frac{1}{2} \div \frac{1}{4} T_{\min}$ , с другой стороны исходя из желаемого времени переходного процесса  $T_0 = \frac{t_{\text{ППЖс}}}{n}$ .

Исследование показали, что для объектов (5, 6), увеличение шага дискретизации, уменьшает перерегулирование, но затягивает переходный процесс. Для систем (1-4, 7) шаг дискретизации, выбранный как  $T_0 = \frac{1}{2} \div \frac{1}{4} T_{\min}$ , обеспечивает апериодический характер переходного процесса.

На качество управления существенное влияние оказывает порядок объекта управления, наличие форсирующих и интегрирующих звеньев. Для объектов (3-7) характерен переходный процесс с перерегулированием и со временем  $t_{\text{ПП}} > nT_0$ .

Таким образом, исследование ЦСАУ с объектами (1-7) показал:

1. Метод переходных состояний не обеспечивает достаточный запас устойчивости.
2. Для объектов 2-го и 3-го порядка, представляющих инерционные системы апериодического характера метод переходных состояний обеспечивает заданные показатели качества:  $t_{\text{ПП}} = nT_0$  и  $\sigma\% = 0$ .
3. Для объектов с форсирующими звеньями при синтезе следует обратить внимание на выбор шага дискретизации  $T_0$ :

а. при  $T_0 = \frac{1}{2} \div \frac{1}{3} T_{\min}$  имеет место перерегулирование ( $\sigma\% \neq 0$ ), но время переходного процесса соответствует заданному  $t_{\text{ПП}} = nT_0$ ;

б. при увеличении  $T_0$  переходный процесс затягивается до  $t_{\text{ПП}} = (n+1)T_0 \div (n+3)T_0$ , но носит апериодический характер ( $\sigma\% = 0$ ).

Таким, образом, метод переходных состояний для систем с форсирующими звеньями не обеспечивает одновременного достижения обоих динамических показателей качества регулирования: апериодического характера переходного процесса и  $t_{\text{ПП}} = nT_0$ .

4. Для объектов выше второго порядка переходный процесс затягивается на 1-2 интервала дискретности.

5. Для объектов, представляющих собой параллельное соединение звеньев, имеющих местную обратную связь или порядок выше третьего, наблюдается затягивание переходного процесса и перерегулирование.

Таким образом, в данной статье представлены результаты исследования метода переходных состояний с точки зрения устойчивости и качества управления; отмечены недостатки достоинства данного метода синтеза, даны рекомендации по применению метода переходных состояний для синтеза цифровых систем управления объектами различных видов.

#### **Список литературы**

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник \ в 5 т. - Т. 5: Методы современной теории автоматического управления/ под. ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова . - М.: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2007. - 783 с.
2. Андриевская Н.В., Андриевский О.А. Автоматизация процедуры синтеза цифровой системы автоматического управления методом переменного коэффициента усиления // Научно - технический вестник Поволжья. - 2018. - № 12. - С. 177-180.
3. Андриевская Н.В. Проектирование и исследование идентификационных моделей управляющих систем реального времени: учеб. пособие - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013 - 202 с.
4. Цифровые системы управления электроприводами [Текст] / [А.А. Батоврин, П.Г. Дашевский, В.Д. Лебедев и др.]. - Ленинград : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1977. - 256 с., 1 л. схем. : ил.; 22 см. Электроприводы - Автоматическое управление
5. Ту Ю. Современная теория управления. - М.: Машиностроение, 1971 - 472 с.

05.13.06

**Н.В. Андриевская канд. техн. наук, М.А. Базаров**

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,  
Электротехнический факультет,  
кафедра Микропроцессорных средств автоматизации,  
Пермь, nataly-anv@mail.ru

### **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА НА ПРИМЕРЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА LEGO MINDSTORMS EV3**

*В данной статье рассматриваются способы применения робота-балансировщика для изучения типовых регуляторов в рамках Теории автоматического управления, способы решения задачи стабилизации объектов, использующих в своей работе принцип обратного математического маятника.*

Ключевые слова: *автоматическое управление, обратный маятник, ПИД-регулятор, линейно-квадратичный регулятор, типовые законы управления, робот-балансировщик.*

Решение задачи стабилизации обратного маятника является классической задачей в теории автоматического управления [1]. Данная задача является показательной как с точки зрения основных понятий устойчивости, так и демонстрации применения типовых регуляторов [1, 2]. Однако решение задачи стабилизации обратного маятника имеет и практическое применение. В последние годы все чаще появляются научные работы, связанные с движущимся двухколесным транспортным средством, работающим на том же принципе [3]. Данная тематика встречается как у российских, так и зарубежных авторов. Эти исследования имеют потенциальные перспективы применения во многих областях, таких как транспорт и разведка, в связи с компактной конструкцией, удобством эксплуатации, высокой маневренностью и низким расходом топлива таких устройств. Кроме перспективы развития двухколесных одноосных транспортных средств, системы стабилизации модели обратного маятника находят применение в сфере ракетного управления, робототехнике, стабилизации подъемных кранов в верфи: кран при любых условиях остается в максимально устойчивом положении. Маятники могут быть воссозданы при наличии вертикальной осциллирующей базы. Существует вариант двухколесной балансировки перевернутого маятника (примером служит Segway) – позволяет вращаться на месте, предлагая большую маневренность. Еще одна разновидность – балансировка на одной точке: волчок, одноколесный велосипед (Unicycle), перевернутый маятник с закрепленной наверху сферой.

Таким образом, решение задачи стабилизации обратного маятника имеет не только теоретический, но и практический интерес.

В данной статье представлены способы решения данной задачи на основе робототехнического комплекса LEGO MINDSTORMS EV3 [4, 5]. Реализация алгоритмов стабилизации обратного маятника на примере робота-балансировщика имеет особое практическое значение, так как иллюстрирует основные понятия автоматического управления (например устойчивость САУ), может применяться для исследования законов управления при изучении дисциплины [4].

Основой модели обратного маятника является робот-балансировщик LEGO MINDSTORMS EV3, представляющий собой установку на двух колесах с вертикальной осциллирующей базой. Задача стабилизации решается путем горизонтального перемещения точки подвеса маятника, заставляющего систему занять устойчивое положение. В качестве регулятора могут быть использованы как типовые, так и нечеткие регуляторы. В данной статье рассмотрено применение регуляторов первого и второго рода: ПИД-регулятор и модальный регулятор (относящийся к регуляторам состояния).

Модель двухколесного перевернутого маятника в инерциальной системе отсчета приведена на рисунке 1.

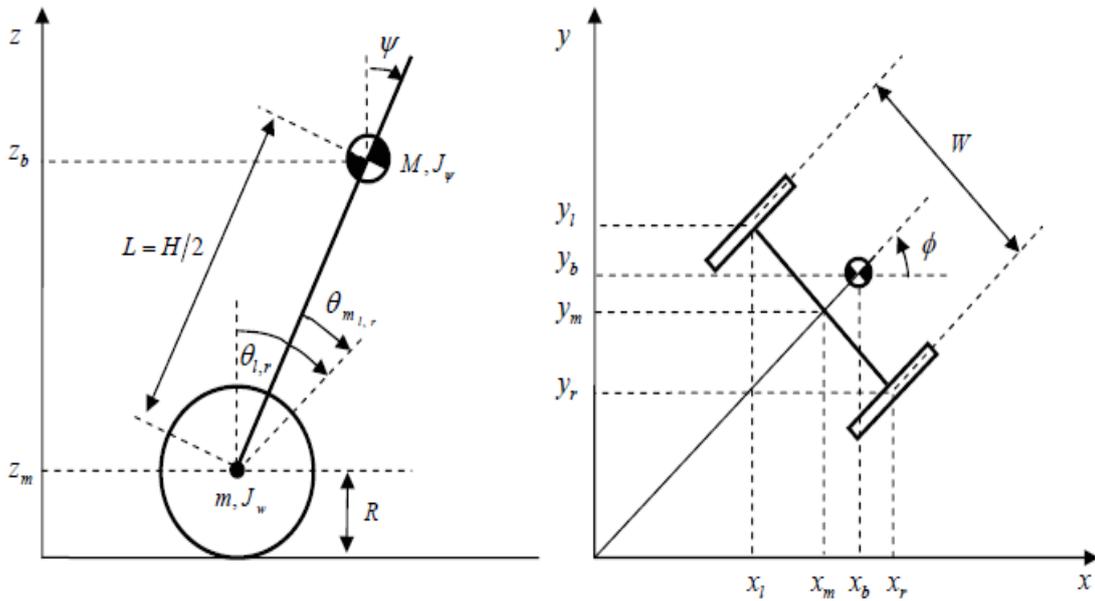


Рис. 1 – Модель двухколесного перевернутого маятника в инерциальной системе отсчета

Математическая модель является нелинейной и включает следующие параметры: расстояние между осью маятника и его центром масс  $L$ , угол наклона маятника  $\psi$ , момент инерции маятника при наклоне  $J_\psi$ , масса колеса  $m$ , момент инерции колес  $J_w$ , углы поворота колес  $\theta_r, \theta_l$ , радиус колеса  $R$ , масса маятника  $M$ , ширина установки  $W$ , толщина установки  $D$ .

Уравнение угла направления движения  $\varphi$  и момент инерции  $J_\varphi$  имеют следующий вид:

$$\varphi = \frac{R}{W}(\theta_r - \theta_l)$$

$$J_\varphi = \frac{M(W^2 + D^2)}{12}$$

Двухколесную модель перевернутого маятника заставляет поворачиваться разница между моментами, действующими на колеса. В соответствии с данным описанием момент  $F_\varphi$  имеет следующий вид:

$$F_\varphi = \frac{W}{2R} \alpha(v_l - v_r) - \frac{W^2}{2R^2} (\beta + f_w) \frac{d\varphi}{dt}$$

где коэффициенты  $\alpha, \beta$  - коэффициенты двигателя,  $v_l, v_r$  - напряжения на левом и правом сервомоторе, коэффициент трения  $f_w$ .

Управление обратным маятником может осуществляться с помощью типовых регуляторов, регуляторов состояний и нечетких регуляторов. При использовании ПИД-регуляторов настройка систем происходит на управления по одной переменной; в данном случае  $\psi$  - угол наклона робота относительно нормали. Однако практическая реализация показала, что при применении ПИД-регулятора обратный маятник работает удовлетворительно при ограниченном диапазоне изменения, как входных данных, так и возмущений. Для того, чтобы обеспечить более стабильную работу робота, при управлении

необходимо управлять не только углом наклона, но скоростью изменения угла наклона относительно нормали, а так же углом наклона и скоростью наклона относительно горизонтальной поверхности (стола или пола) и другими. Данное управление обеспечивают регуляторы состояний, в частности - модальный регулятор [2]. Суть модального регулятора заключается в расчете коэффициентов обратной связи по каждой динамической переменной объекта управления.

В качестве динамических переменных были определены динамические переменные: средний угол поворота левого и правого колеса относительно корпуса робота; угол наклона робота относительно нормали; скорость поворота колес робота; , скорость наклона робота относительно плоскости стола; , угол поворота робота; , скорость поворота робота. При расчете модального регулятора были произведены настройки коэффициентов обратных связей по динамическим переменным на биномиальную форму, фильтр Баттерворта, интегральную взвешенную модифицированную оценку и по линейно-квадратичному критерию. Наилучшие результаты (в процессе математического моделирования) показал регулятор, настроенный на линейно-квадратичную оценку. Поэтому для физической реализации на робототехническом комплексе реализован данный регулятор.

Реализация системы управления роботом-балансировщиком осуществлена полунатурным методом, когда регулятор реализован в Simulink (Matlab). Связь робототехнического комплекса LEGO MINDSTORMS EV3 с компьютером, на котором реализован регулятор, может осуществляться либо по USB, либо по Bluetooth или по Wi-Fi. В диалоговом окне Simulink в контроллере LEGO brick EV3 задаются параметры регулятора и параметры моделирования. Достоинства полунатурной реализации заключается в том, что решение задачи стабилизации обратного маятника можно наблюдать, как физически – на роботобалансировщике, так и по графикам основных переменных. Кроме того в процессе моделирования можно внести (в случае необходимости) коррекцию в регулятор. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

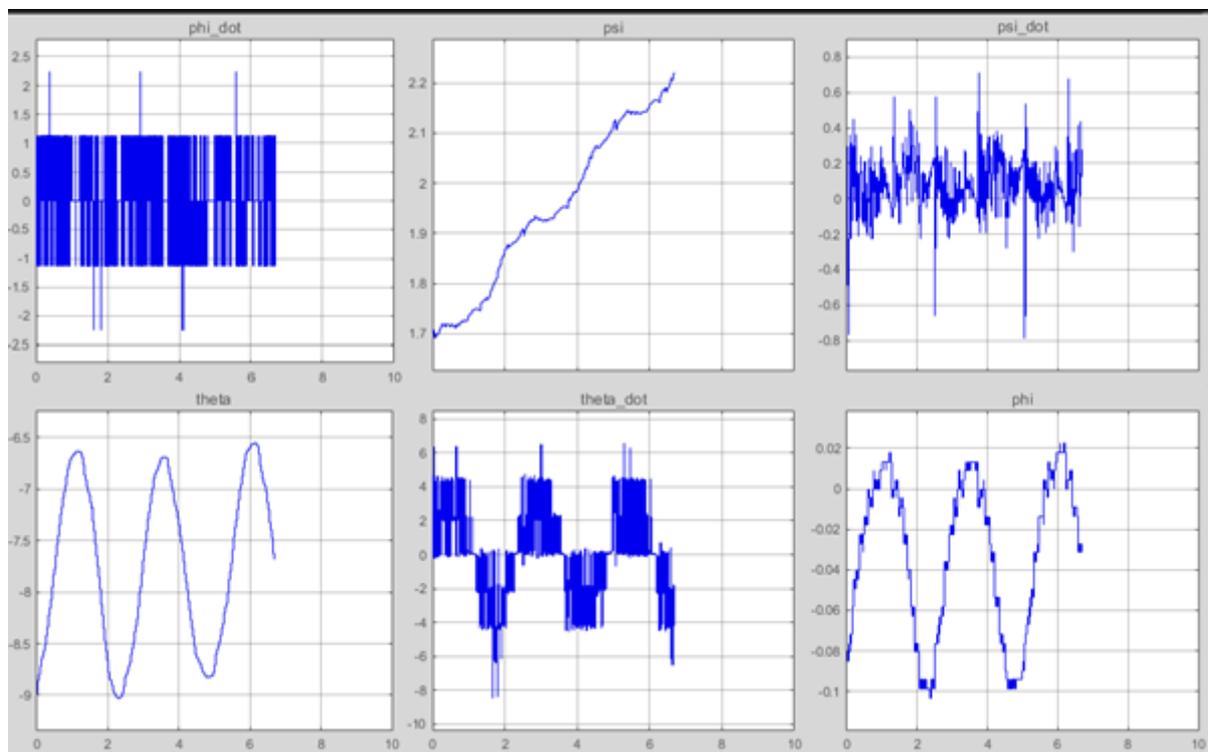


Рис. 2 – Графики переходных процессов робота-балансировщика

На рис. 2 представлены графики переходных процессов  $\theta$  – среднего угла поворота левого и правого колеса относительно корпуса;  $\psi$  – угла наклона относительно нормали;  $\theta_{dot}$  – скорости поворота колес;  $\psi_{dot}$  – скорости наклона относительно плоскости стола;  $\phi$  – угла поворота;  $\phi_{dot}$  – скорости поворота.

Таким образом, при решении задачи стабилизации обратного маятника целесообразнее использовать регуляторы второго рода, например модальный регулятор. Данный регулятор обеспечивает гибкую настройку, возможность передвижения установки в различных направлениях и управление основными динамическими переменными.

#### **Список литературы**

1. *Мирошник И.В.* Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы – СПб.: Питер, 2006 – 272 с.
2. *Андриевская Н.В.* Теория автоматического управления: метод. указ. к лаб. Работам/ Н.В. Андриевская, О.А Билоус. – Пермь : ПНИПУ, 2015. - 83 с.
3. *Беляев С.А., Михнович А.Г.* Современные подходы к решению задачи стабилизации перевернутого маятника// SoftwareJournal: TheoryAndApplications –2017. –№2.
4. *Андриевский О.А., Андриевская Н.В., Базаров М.А.* Применение робототехнического комплекса LEGO MINDSTORMS EV3 при изучении теории автоматического управления //Научно – технический вестник Поволжья. – 2018. - № 4. – С. 69-71.
5. *Овсяницкая Л.Ю.*, Алгоритмы и программы движения робота LEGO MINDSTOTRMS EV3 по линии //Овсяницкая Л. Ю., Овсяницкий Д. Н., Овсяницкий А. Д. – М.: Издательство «перо», 2015 -168 стр.

05.13.06

**В.А. Егоров канд. техн. наук, Каунг Хтет Сан**

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,  
 электротехнический факультет,  
 кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,  
 Комсомольск-на-Амуре, egoroff\_v@list.ru, kaunghtetsan.30594@gmail.com

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА

*Предложено математическое описание транспортной платформы. Разработана структурная схема, описаны расчёт и результаты моделирования системы управления движением транспортного робота.*

Ключевые слова: *транспортный робот, математическое описание, система управления движением, расчёт, моделирование.*

Эффективность применения колесных транспортных роботов на промышленных предприятиях, для автоматического перемещения грузов, повышается с увеличением расстояния транспортирования и сложности маршрута [1]. Что, в ряде случаев, может упростить, удешевить и сделать более универсальной транспортную подсистему цеха или предприятия.

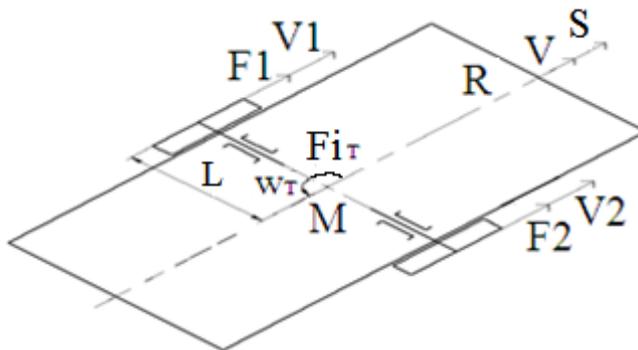


Рис. 1 – Схема анализа движения транспортной платформы робота

Математическая модель транспортной платформы, изображённой на рисунке 1, может быть представлена следующей системой уравнений в операторной форме [2]:

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{1}{m_T P} R; \\ \omega_T &= \frac{1}{J_T P} M; \\ R &= F_1 + F_2; \\ M &= F_2 - F_1; \\ F_{1,2} &= \frac{K_p}{R_k} (M_{д1,2} - M_{н1,2}); \\ M_{д1,2} &= K_{дм} I_{д1,2}; \\ I_{д1,2} &= \frac{1/R_{я}}{T_{я} P + 1} (U_{д1,2} - K_{де} \omega_{д1,2}); \\ \omega_{д1,2} &= \frac{1}{J_{п} P} (M_{д1,2} - M_{н1,2}); \end{aligned} \right\}$$

где  $V$  – линейная скорость платформы;  $\omega_T$  – угловая скорость центра масс платформы;  $F_{1,2}$  – силы, приложенные к колёсам;  $R$  – равнодействующая сила, приложенная к платформе;  $M$  – момент поворота платформы относительно центра масс;  $M_{д1,2}, M_{н1,2}$  – момент на валу и момент нагрузки двигателей 1 или 2;  $I_{д1,2}$  – ток якоря двигателей 1 или 2;  $U_{д1,2}$  – напряжение якоря двигателей 1 или 2;  $\omega_{д1,2}$  – угловая скорость вала двигателей 1 или 2;  $J_T, m_T$  – момент инерции и масса платформы;  $K_p$  – коэффициент редуктора;  $R_k$  – радиус колеса;  $l$  – расстояние между центром масс платформы и колесом;  $K_{дм}, K_{де}$  – конструктивные коэффициенты двигателя;  $T_я, R_я$  – постоянная времени и сопротивление якорной цепи двигателя;  $J_п$  – моменты инерции колеса, редуктора и якоря, приведенные к валу двигателя.

Электромеханическая часть платформы имеют следующие параметры: скорость движения платформы  $V = 0,474$  м/с; вес платформы  $m_t = 20$  Н; радиус приводных колес платформы  $R_k = 0,05$  м; расстояние между центром масс платформы и колесом  $l = 0,11$  м; момент инерции платформы  $J_T = 0,24$  Нм<sup>2</sup>; номинальная скорость двигателя  $\omega_{дн} = 369,5$  рад/с; коэффициент редуктора  $K_p = 39$ ; конструктивные коэффициенты двигателя  $K_{дм} = 0,04$  Н/А,  $K_{де} = 0,0244$  Вс; сопротивление якорной цепи двигателя  $R_a = 1,54$  Ом; постоянная времени якорной цепи  $T_я = 0,0002$  с; приведённый момент инерции привода  $J_п = 0,000214$  Нм<sup>2</sup>; коэффициент и постоянная времени силового преобразователя  $K_n = 6,4$   $T_n = 0,001$  с. Кроме того, в модель введены ограничения на напряжение питания электродвигателей  $U_я = \pm 9$  В и токи двигателей  $I_я = \pm 1,5$  А.

Положение центра масс платформы на плоскости определяется скоростями движения её колёс. Поэтому, был рассмотрен вариант структурной организации системы управления положением платформы с контурами скорости колёс и внешними контурами положения по линейному перемещению платформы и углу поворота платформы (рисунок 2а). Особенностью предлагаемого решения является то, что контура положения по линейному перемещению и углу поворота платформы работают параллельно. Это обеспечивает автоматическое удержание платформы на заданном курсе во время движения; автоматическую остановку платформы, при достижении целевой точки. Контура скорости колёс платформы построены по классической схеме, с подчиненными контурами тока.

В результате расчётов контуров регулирования скоростной системы колеса, получены следующие передаточные функции регуляторов [3]:

– контура тока

$$W_{рт}(p) = \frac{W_{жр\ кт}(p)}{W_{от}(p)} = \frac{1}{T_{ср\ кт}p} \frac{(T_п p + 1)R_я}{K_п K_{дт}} = \frac{R_я T_п}{T_{ср\ кт} K_п K_{дт}} \frac{(T_п p + 1)}{T_п p},$$

где  $T_{ср\ кт} = 1/w_{ср\ кт}$ ; частота среза контура тока  $w_{ср\ кт} = 350$  рад/с; коэффициент датчика тока  $K_{дт} = 1$  В/А

– контура скорости приводов колес, при настройке контуров на модульный оптимум и  $T_м = T_{кт} = T_{ср\ кт}/K_{дт}$

$$W_{рс}(p) = \frac{W_{жр\ кс}(p)}{W_{ос}(p)} = \frac{1}{2T_{кт}p(T_{кт}p + 1)} \frac{K_{дт}(T_{кт}p + 1)J_п p}{K_{дм}K_{дс}} = \frac{K_{дт}J_п}{2T_{кт}K_{дм}K_{дс}},$$

где коэффициент датчика скорости  $K_{дс} = 0,0038$  В·с

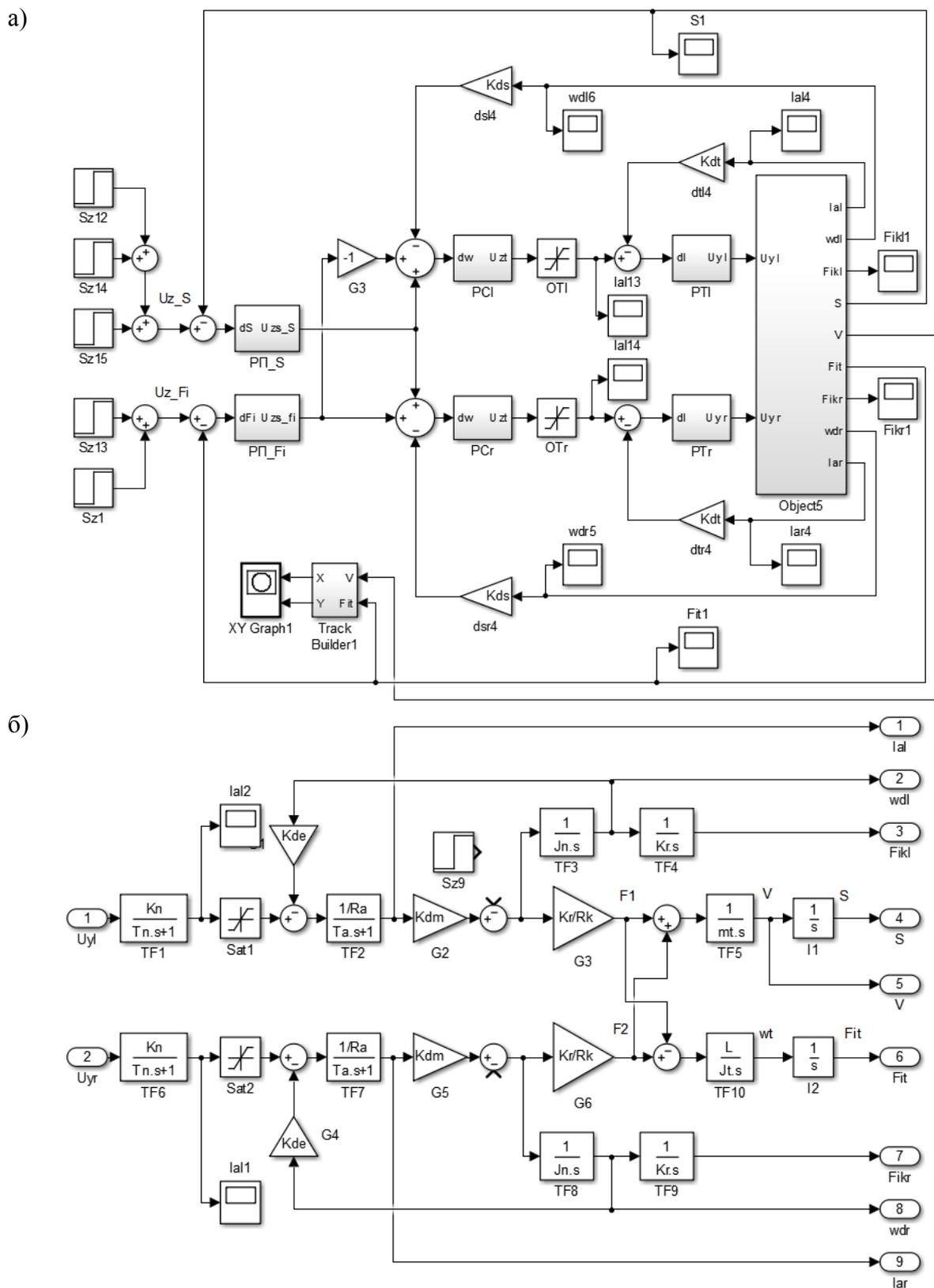


Рис. 2 – Модель системы управления движением транспортного робота  
 а) - структурная схема системы управления транспортной платформой;  
 б) - Структурная схема модели объекта

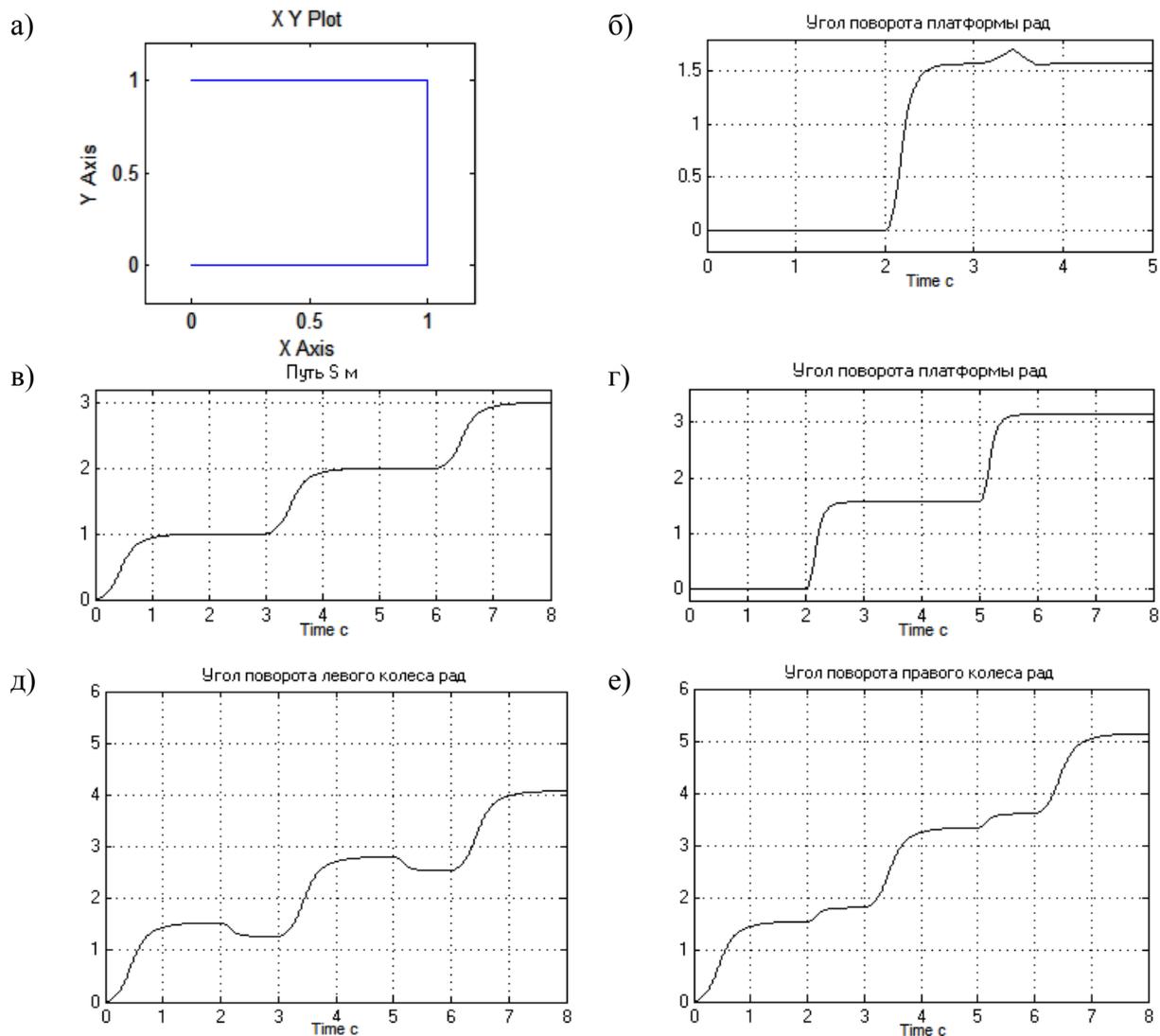


Рис. 3 – Результаты моделирования системы управления движением транспортного робота  
 а) - Траектория движения платформы; б) - Удержание на курсе; в) - Путь тележки S;  
 г) - Угол поворота тележки Fit; д),е) - Углы поворота колёс

Структурная схема системы управления транспортной платформой (рисунок 2а) содержит 6 контуров регулирования: 2 контура тока с регуляторами тока РТ1 и РТ2; 2 контура скорости с регуляторами скорости РС1 и РС2; контур положения линейного перемещения платформы с регулятором положения РП\_S; контур положения угла поворота платформы с регулятором положения РП\_Fi.

Модуль построения траектории движения робота «Track Builder» выполняет вычисление координат центра масс робота, используя уравнения:

$$X = \frac{1}{p} V \cos(Fit); \quad Y = \frac{1}{p} V \sin(Fit).$$

Регуляторы положения РП\_S и РП\_Fi получены методом модельного проектирования и представляют собой пропорциональные регуляторы с коэффициентами 0,8 и 0,2 соответственно.

Результаты моделирования системы управления движением транспортного робота представлены на рисунке 3. На входы задания пути и угла поворота сформированы управляющие сигналы, заставляющие тележку двигаться по П - образной траектории: 1 метр вперёд; поворот влево на 90°; 1 метр вперёд; поворот влево на 90°; 1 метр вперёд. Траектория движения робота, построенная модулем «Track Builder», показана на рисунке 3а. Кривые на рисунках 3в, 3г,...3е иллюстрируют процессы, протекающие в разных точках системы управления движением робота, при перемещении по П-образной траектории. В частности,

из кривых 3в, 3г следует, что суммарный путь пройденный роботом составляет 3 м, а суммарный угол поворота – 3,14 рад. Из кривых 3д и 3е видно, что в моменты времени от 2 до 3 секунд и от 5 до 6 секунд робот поворачивается вокруг центра масс, за счет реверса электродвигателей колёс. Кривая 3б показывает, что система удерживает курс, при набросе статического момента в 10% от номинального на вал левого двигателя М1.

Таким образом, разработанная система управления движением транспортного робота работоспособна и позволяет обрабатывать траекторию движения робота в виде сложной ломаной линии.

#### ***Список литературы***

1. *Тройнин, М.Ф.* Электрические самоходные машины напольного транспорта / М.Ф. Тройнин, Н.С. Ушаков. – М. : Машиностроение.1984. - 315с.
2. *Кухлинг, Х.* Справочник по физике / Х. Кухлинг, Е. М. Лейкин. – М. : Мир, 1985. – 502 с.
3. *Башарин А.В.* Управление электроприводами / А.В Башарин, В.А Новиков, Г.Г Соколовский. –Л.: Энергоиздат, 1982. – 470с.

05.13.06

**Л.И. Медведева канд. техн. наук, Н.В. Иевлева канд. экон. наук, Е.Ю. Орешкина**

Волжский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»,  
Волжский, lyumed@yandex.ru, nievleva@mail.ru, liza126@mail.ru

### **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРОУГЛЕРОДА**

*В статье рассматривается технико-экономическое обоснование проведения работ по модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом удаления вредных примесей из технологического газа при производстве сероуглерода.*

*Ключевые слова: производство сероуглерода, автоматизация процесса удаления вредных примесей при производстве сероуглерода, технико-экономическое обоснование.*

Сероуглерод – является одним из наиболее важных химических продуктов, который необходим для большого числа областей промышленного производства. В настоящее время наибольшее распространение получил процесс синтеза сероуглерода из метана и серы. Очистка метана от лишних примесей осуществляется на стадии абсорбции и десорбции. В этой связи первоочередное внимание необходимо уделять возможностям повышения качества работы данной стадии. Достичь этого возможно путем разработки или модернизации системы автоматического управления данной стадией. Предлагается переход от локальных средств автоматизации к АСУТП на базе микропроцессорной техники. Микропроцессорные устройства являются наиболее совершенными аппаратами для построения схем автоматического управления механизмами. Их основные достоинства: отсутствие подвижных, быстроизнашивающихся частей, высокое быстродействие, не ограничиваемое механическими параметрами, независимость выходных параметров от механических воздействий, нечувствительность к вредным влияниям окружающей среды (влаги, пыли, химическая активность газов), длительный срок службы, минимальные эксплуатационные затраты [1].

Применение микропроцессорных устройств позволяет непрерывно рассчитывать текущие значения всех требуемых, а не только непосредственно измеряемых и регулируемых параметров и в соответствии с принятой программой обеспечивать оптимальные режимы работы. В результате повышается уровень удобства управления технологическим процессом, возрастает быстродействие, появляются дополнительные возможности, реализуемые программами АСУТП верхнего уровня, повышается степень точности представления результатов и их достоверность. Структура системы управления объектом становится более гибкой, что без труда позволяет переходить на любые схемы автоматизации [2].

Предлагаемая система управления, реализуется программированием контроллера LinPAC-8781. Свойство программируемости позволяет без перемонтажа ввести в систему структурные изменения, переналадить её, подогнать к объекту, если появится такая необходимость [3]. В таблице 1 представлен перечень необходимого оборудования. В таблице 2 представлена смета затрат на приобретение необходимых материалов.

Таблица 1 – Затраты на приобретение нового оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Количество	Цена за 1 шт., руб.	Сумма, руб.
1	Программируемый логический контроллер LinPAC 8781	1	63400	63400
2	Модуль аналогового ввода I-87019RW	1	13800	13800
3	Модуль ввода аналоговых сигналов I-87028UW	1	18100	18100
4	Панель оператора Wientek серии MT8000iE	1	38700	38700
5	Термоэлектрические преобразователи сопротивления Элемер ТСПУ 205-Ex	11	4200	46200
6	Исполнительный механизм многооборотный электропривод SA AUMA	9	116300	1046700
7	Блок питания DSP60 24 VDC 60 Вт	3	2800	8400
8	Интеллектуальный датчик давления LD 290	4	3350	13400
9	Расходомер Promass E200	3	18600	55800
10	Уровнемеры серии Rosemount 5300-Ex	3	124000	372000
11	Автоматические выключатели ВА101-1P-001А-В и ВА101-1P-010А-В	2	150	300
12	Магнитный пускатель ПМ1 – 09	1	1900	1900
	Итого			1678700

Стоимость монтажных и наладочных работ составит 10% от стоимости оборудования:  $1678700 \cdot 0,10 = 167870$  руб. Затраты на инвентарь и инструменты составят 2% от стоимости оборудования, то есть  $1678700 \cdot 0,02 = 33574$  руб. В целом, первоначальная стоимость оборудования составит:  $1678700 + 167870 + 33574 = 1880144$  руб.

Таблица 2 – Смета затрат на приобретение необходимых материалов

№ п/п	Наименование	Единицы измерения	Количество	Цена за п/м, кг, руб.	Сумма, руб.
1	Кабель контрольный КВВГ 7х1,0	п/м	1500	60	90000
2	Провод монтажный	п/м	700	7	4900
3	Полоса перфорированная	п/м	5	24	120
4	Труба стальная 3/4 Ду 25-30	п/м	110	25	2750
5	Гайки М6, болты М6х20, шайбы	кг	15	50	750
	Итого				98520

Таким образом, величина капитальных вложений составит 1978664 руб. ( $1880144 + 98520$ ).

Экономический эффект от автоматизации данного процесса достигается путем экономии затрат и, в частности, фонда заработной платы (за счет сокращения численности работников). В таблице 3 приведен расчет себестоимости 1 тонны сероуглерода, как по базовому, так и проектному вариантам.

Таблица 3 – Расчет себестоимости единицы продукции

№ п/п	Наименование затрат	Базовый вариант (ТС), руб.	Проектируемый вариант (ТС), руб.
1	Материалы	3996500	3996500
2	Энергоносители	3354500	3354500
3	Фонд оплаты труда рабочих	5739272	3503192
4	Отчисления в социальные фонды	1733260	1057964
5	Амортизационные отчисления	518000	700866
6	Накладные расходы	373627	228058
7	Итого полная себестоимость	15715159	12841080
8	Годовой выпуск продукции, тонн	1000	1000
9	Себестоимость единицы продукции (1 тонны)	15715	12841

При формировании таблицы 3 состав и цены на используемые материалы и энергоносители в проектируемом варианте не изменяются. Таким образом, затраты на материалы и энергоносители по этому варианту будут соответствовать затратам базового варианта. Переход на АСУТП по проектируемому варианту позволяет сократить численность персонала КИПиА и электромонтеров (таблица 4). Для наблюдения за ходом технологического процесса теперь достаточно 8 человек в день (вместо 13-ти). Амортизационные отчисления увеличились за счет закупки нового оборудования. Накладные расходы рассчитывались в процентах от ФЗП (общецеховые расходы составляют 5% от фонда оплаты труда).

Таблица 4 – Расчет фонда заработной платы по базовому и проектируемому варианту

Профессия рабочего	Численность, человек		Фонд заработной платы, руб.	
	базовый вариант	проектный вариант	базовый вариант	проектный вариант
Старший мастер, 6 разряд	1	1	641010	641010
Сменный мастер, 6 разряд	3	1	1609978	536659
Механик, 6 разряд	3	2	1252205	834803
Механик, 5 разряд	3	2	1207483	804989
Слесарь КИПиА, 6 разряд	3	2	1028597	685731
Итого	13	8	5739272	3503192

Эффективность инвестиционного проекта рассчитывается с помощью таких показателей как чистая приведенная стоимость (NPV), рентабельность инвестиций, внутренняя норма доходности и срок окупаемости.

Чистая приведенная стоимость представляет собой разность между дисконтированными доходами от реализации проекта (в данном случае экономией затрат на производство продукции) и величиной начальных инвестиций (капитальных вложений). Чистый приведенный эффект (Net Present Value, NPV) рассчитывается по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t(\mathcal{E}_t)}{(1+r)^t} - IC,$$

где  $r$  – ставка дисконтирования (В качестве ставки дисконтирования берется цена наилучшего альтернативного варианта использования имеющихся ресурсов (ставка равна 20%));

$t$  – порядковый номер года получения дохода от инвестирования;

$T$  – период осуществления инвестиционного проекта (расчет в работе горизонт планирования составляет 5 лет);

$CF_t(\mathcal{E}_t)$  – чистый денежный поток (экономия затрат);

$IC$  – величина капитальных вложений.

Годовой экономический эффект от снижения себестоимости (на годовой выпуск) составляет:  $\mathcal{E}_i = 15715159 - 12841080 = 2874079$  руб.

$$NPV = \frac{2874,08}{(1+0,2)^1} + \frac{2874,08}{(1+0,2)^2} + \dots + \frac{2874,08}{(1+0,2)^5} - 1880,14 = 6715,12 \text{ тыс. руб.}$$

Рентабельность инвестиций составит:

$$ARR = \frac{\mathcal{E}}{IC} \cdot 100 = \frac{2874,08}{1880,14} \cdot 100 = 152,87\%, \text{ то есть на каждый вложенный рубль можно}$$

получить 1 рубль 53 копейки прибыли.

Срок окупаемости проекта:

$$PP = \frac{IC}{\mathcal{E}_{год}} = \frac{1880,14}{2874,08} = 0,65 \text{ года или 8 месяцев.}$$

Таким образом, данный проект является экономически выгодным, позволит окупить затраты в максимально короткий срок и принести предприятию дополнительную прибыль.

### **Список литературы**

1. *Нестеров, А.Л.* Проектирование АСУТП. Методическое пособие. В 2-х т. Том 1/ А.Л. Нестеров. – СПб.: ДЕАН, 2010. – 552 с.
2. *Денисенко, В.В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием/ В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
3. Промышленный контроллер LinPAC-8781-Atom [Электронный ресурс]// Компания ICP DAS. URL: [http://icp-das.ru/catalog/pac\\_controllers/linpac/lp8000-st/59428.html](http://icp-das.ru/catalog/pac_controllers/linpac/lp8000-st/59428.html) (дата обращения 17.11.2019).

05.13.06

**А.В. Могильников, О.А. Билоус**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПАКЕТЕ MATLAB/SIMULINK**

*Исследована работа электрической схемы трехфазного мостового управляемого выпрямителя на основе силовых полупроводниковых приборов в среде MATLAB/SIMULINK. Приведено схематичное описание работы виртуального стенда. Представлены результаты имитационного моделирования системы: диаграммы измеряемых величин (осциллограммы), спектральный и гармонический состав потребляемого тока управляемого выпрямителя с последующим сравнением теоретических и экспериментальных данных.*

Ключевые слова: *моделирование силовых полупроводниковых преобразователей; выпрямитель; осциллограммы; коэффициент гармонических искажений; анализ и обработка электрических сигналов; пакет Signal Processing Toolbox (SP Tool).*

### **Введение**

Силовые полупроводниковые преобразователи (СПП) – основа любой системы автоматизированного электропривода и электроснабжения. Основной целью использования СПП является повышение качества электрической энергии при ее передаче и распределении, а также преобразование параметров этой электрической энергии, подводимой к электродвигателю, для обеспечения его экономичной работы.

Актуальность создания виртуальных компьютерных моделей силовых полупроводниковых преобразователей в рабочей среде MATLAB обусловлена, во-первых, необходимостью изучения их поведения в составе сложных электротехнических систем, во-вторых, возможностью визуально-измерительного контроля всех параметров и протекающих в них процессах [1] и, в-третьих, тем фактом, что изготовление физических лабораторных установок (стендов), которые требуют применения дорогостоящего технологического оборудования, является на сегодняшний день весьма затратным. Пакет взаимосвязанных модулей MATLAB позволяет легко реализовать поставленную задачу исследования СПП и разрешить проблему экономического характера.

### **Виртуальный стенд трехфазного мостового преобразователя**

Основные, наиболее применяемые схемы управляемых выпрямителей – однофазная мостовая и трехфазная мостовая. Другие схемы выпрямления в электроприводе применяются редко [2]. Для питания двигателей постоянного тока (ДПТ) используется, как правило, трехфазная мостовая схема выпрямления. На рис. 1 приведена модель этой схемы, которая дает детальное представление о принципе работы виртуальной установки.

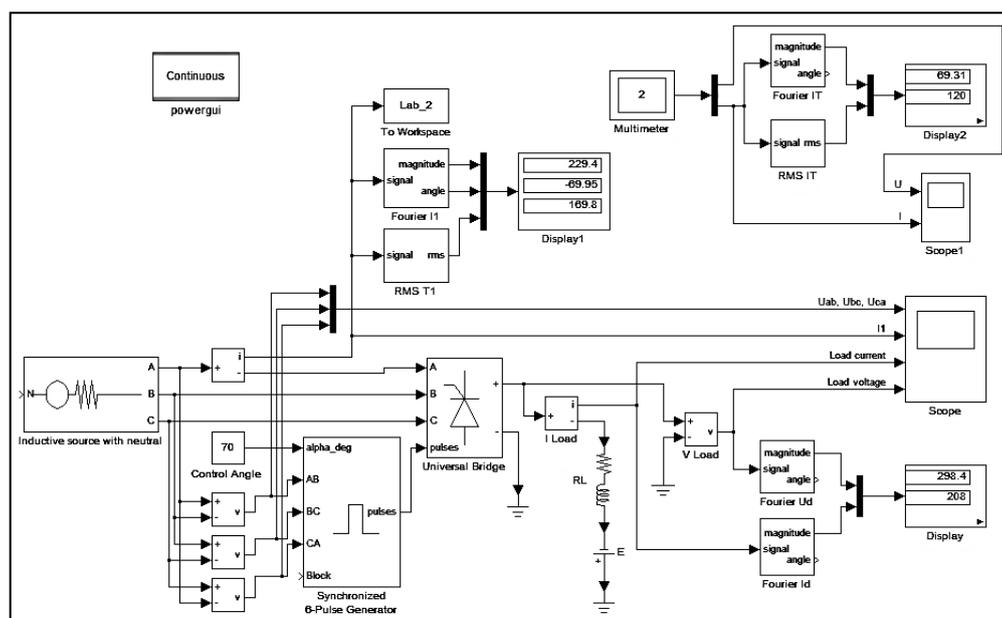


Рис. 1. – Модель трехфазного мостового преобразователя в среде MATLAB

На экране виртуальных осциллографов «Scope» и «Scope1» можно наблюдать построение временных диаграмм (рис. 2) соответствующих сигналов при заданных параметрах и измерять их значения цифровыми измерителями «Display» и «Display2». Для сравнения приведены также осциллограммы однофазного мостового преобразователя. Трехфазные мостовые схемы имеют меньший уровень пульсаций выпрямленного напряжения (более сглаженная форма), могут использоваться без фильтров, следовательно, обеспечивают более высокие энергетические показатели.

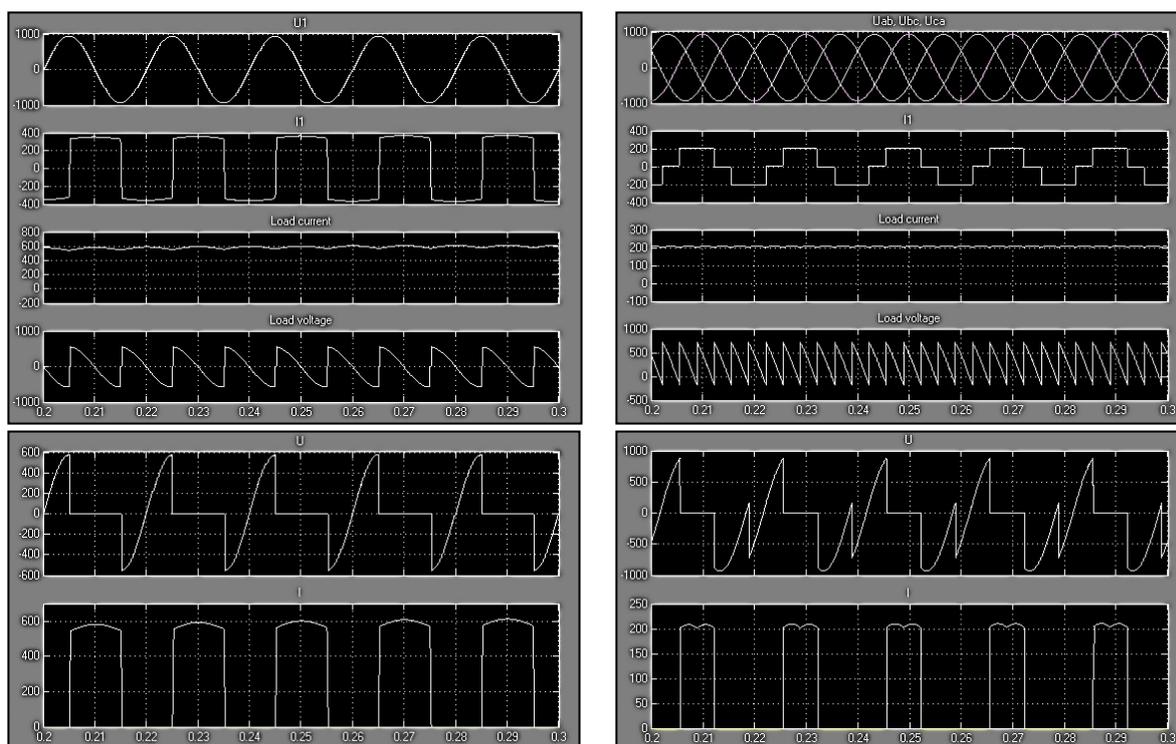


Рис. 2. – Осциллограммы напряжения  $U_1$  ( $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ ) и тока  $I_1$  источника, тока нагрузки Load current и напряжения на нагрузке Load voltage, напряжения  $U$  и тока  $I$  на тиристоре однофазного (слева) и трехфазного (справа) преобразователей

**Спектральный и гармонический анализ электрических сигналов**

Путем ввода в командном окне MATLAB команды SP Tool предоставляется графическая рабочая среда, в которой можно просмотреть графики смоделированных сигналов и получить их спектр. На рис. 3 показан спектральный состав потребляемого выпрямителем тока, по которому определяются максимальные значения гармонических составляющих для каждой гармоники, согласно следующей формуле:

$$I_1(n)_{\max} = \frac{n \cdot y_n}{y_1} \cdot I_1(1)_{\max}, \tag{1}$$

где  $I_1(n)_{\max}$  – амплитуда тока  $n$ -ой гармоники,  $n$  – порядковый номер гармоники,  $y_1, y_n$  – значения, определенные путем цифрового спектрального анализа,  $I_1(1)_{\max}$  – ток, считанный с блока цифрового измерителя «Display1» в верхнем поле (на рис. 1 – «229.4»).

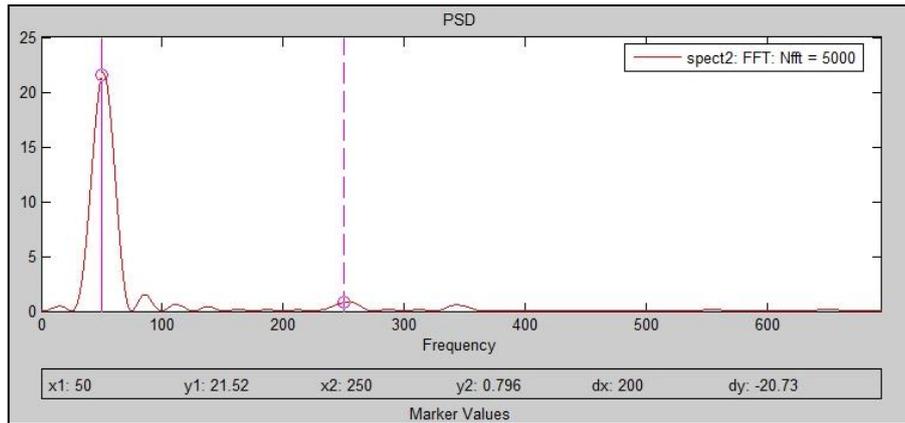


Рис. 3. – Спектр потребляемого тока управляемого выпрямителя

Для измерения значений в определенных точках используются специальные маркеры, которые можно перемещать. Результаты этих измерений (табл. 1) и расчетов (табл. 2) позволяют произвести оценку показателей качества электроэнергии (КЭ) моделируемой системы, в частности, коэффициента  $K_T$  гармонических искажений [3], характеризующего общее содержание высших гармоник тока по отношению к основной гармонике, который рассчитывается как:

$$K_T = \frac{\sqrt{I_1^2(2)_{\max} + I_1^2(3)_{\max} + \dots + I_1^2(9)_{\max}}}{I_1(1)_{\max}}, \tag{2}$$

где  $I_1(1)_{\max}$  – действующее значение первой (основной) гармоники выходного сигнала;  $I_1(2)_{\max} \dots I_1(9)_{\max}$  – действующие значения высших гармоник выходного сигнала, начиная со второй.

Таким образом, теоретический коэффициент суммарных гармонических искажений потребляемого тока УВ составляет 0.273 (27.3%):

$$K_T = \frac{\sqrt{42.43^2 + 33.73^2 + 15^2 + 20.9^2 + 7.6^2 + 16.2^2}}{229.4} = 0.273. \tag{3}$$

Таблица 1. – Результаты моделирования и измерений

$I_1(1)_{\max}, A$	$y_1$	$y_5$	$y_7$	$y_{11}$	$y_{13}$	$y_{17}$	$y_{19}$
229.400	21.520	0.796	0.452	0.128	0.151	0.042	0.080

Таблица 2. – Значения высших гармоник выходного сигнала

$I_1(5)_{\max}, A$	$I_1(7)_{\max}, A$	$I_1(11)_{\max}, A$	$I_1(13)_{\max}, A$	$I_1(17)_{\max}, A$	$I_1(19)_{\max}, A$
42.430	33.730	15.000	20.900	7.600	16.200

Чтобы убедиться в правильности произведенных расчетов и результатов моделирования, можно сравнить полученное теоретическое значение коэффициента с истинным значением THD (Total Harmonic Distortion), рассчитанным в блоке Powergui FFT Tools. Для этого открывается окно блока Powergui (см. рис. 1) и нажимается кнопка FFT Analysis – быстрое преобразование Фурье (БПФ). После этого появляется окно Powergui FFT Tools (рис. 4), в

котором выполняется следующая настройка процедуры гармонического анализа: в поле «Input» выбирается исследуемый электрический сигнал П; в поле «Number of cycles» устанавливается количество циклов сигнала, равное двум; в поле «Fundamental frequency» задается основная частота, равная 50 Гц, и нажимается кнопка Display для отображения результатов. Далее в поле «Display style» выбирается список List (relative to specified base) и проверяется, что значение первой (основной) гармоники при 50 Гц совпадает со значением тока, считанным с «Display1» виртуальной установки.

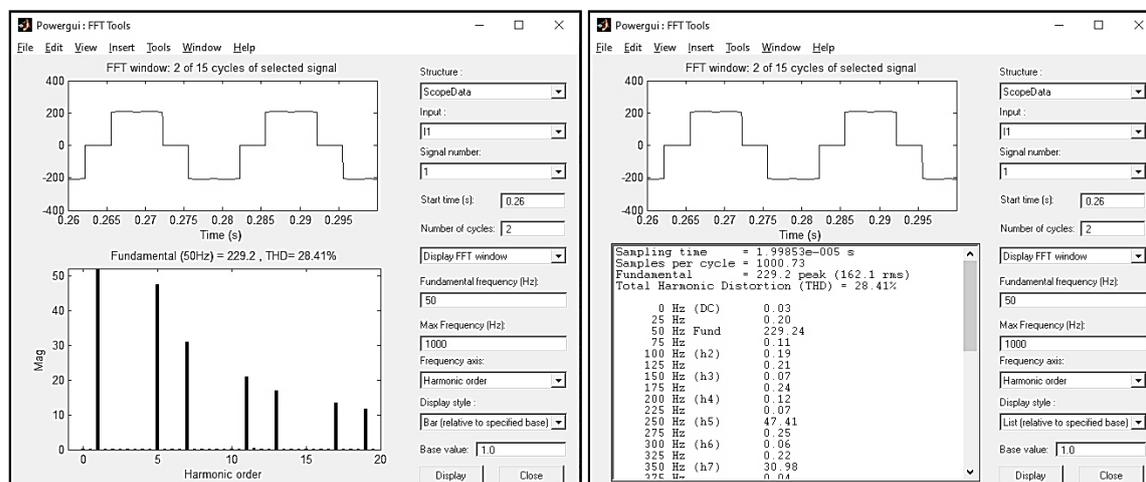


Рис. 4. – Данные гармонического анализа потребляемого тока трехфазного мостового преобразователя

### **Выводы**

Исследования на основе компьютерной имитационной модели позволяют получить результаты, которые могут быть использованы при изучении студентами принципов построения и характеристик полупроводниковых преобразователей, используемых в системах автоматизированного электропривода и электроснабжения [4].

### **Список литературы**

1. *Петроченков А.Б., Кавалеров Б.В., Тарасов В.А.* Моделирование электроэнергетических систем сложной структуры *Электротехника* Москва, Знак, 2018 №11, С. 47-53.
2. *Онищенко Г.Б., Соснин О.М.* Силовая электроника. Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения: учеб. пособие – М.: ИНФРА-М, 2016. – 122 с.
3. *Барутсков И.Б., Вдовенко С.А., Цыганков Е.В.* Гармонические искажения при работе преобразователей частоты. – *Главный энергетик*, № 6, 2011. – С. 5-15.
4. *Пуеров П.А., Лыков А.Н.* Полупроводниковые инверторы и их применение в современных технологиях *Научно-технический вестник Поволжья* Казань, Науч.-техн. вестник Поволжья, 2018 №5, С. 232-235.

05.13.06

**К.И. Новгородов, А.В. Савчиц канд. техн. наук, В.Е. Костин канд. техн. наук**

Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ,  
автомеханический факультет,  
кафедра автоматика, электроника и вычислительная техника,  
Волжский, novgorodov-klim@mail.ru

### **АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГЕЛИОКАТАМАРАН**

*В статье предложена разработка автоматического автономного (работающего с использованием возобновляемых источников энергии) электрокатамарана, служащего для осуществления технологических операций в рыбном хозяйстве*

Ключевые слова: автоматизация, катамаран, солнечная энергия, рыбное хозяйство, бункер-дозатор, беспилотный аппарат.

Главная цель любого рыбного хозяйства, это вырастить здоровую крупную рыбу из мальков. Для здорового роста рыб необходим непрерывный и равномерный прием корма в строго определенных количествах, отсюда и требования к кормлению рыб, ведь правильное усвоение дорогостоящих кормов является ключевым фактором роста рыбы и успеха всего предприятия.

Есть два способа кормления рыбы: ручное распределение и кормление рыбы из кормораздатчиков.

Ручной способ распределения корма в бассейнах и небольших прудах дает хорошие экономические результаты, так как фермер имеет возможность наблюдать за поеданием корма рыбой и своевременно прекращать его раздачу.

Но ручное распределение корма требует значительного физического труда, что не всегда приемлемо. Например, для кормления мальков необходимо почти непрерывное распределение корма в течение всего дня. Кормление рыб в садках в плохую погоду также проблематично. Эти проблемы устраняются автоматическим распределением корма по специальному питателю, управляемому командными устройствами.

Поэтому вопрос выбора кормушки, которая будет кормить, очень актуален для рыбноводческих хозяйств [1].

Главное назначение кормораздатчика – донести без потерь необходимый вид корма в нужное место водоема, в достаточном количестве. Так как кормовые запросы рыб разнообразны: молодь питается чаще и более мелким кормом, товарная рыба питается реже и более крупным кормом, то и конструкции кормораздатчиков разнообразны [2].

Существуют несколько типов плавучих кормораздатчиков: автоматические кормушки понтонного типа (рис. 1) и плавучие кормораздатчики (рис. 2). Эти два типа вполне функциональны и выполняют свою основную задачу.



Рис. 1 – Автоматическая кормушка понтонного типа



Рис. 2 – Плавающий кормораздатчик

Но к сожалению, трудно проконтролировать качество работы этих кормораздатчиков. К примеру, невозможно узнать равномерно ли по водоему плавающий кормораздатчик распределил корм и произвел ввод удобрений и медицинских препаратов, весь ли корм использован [3]. Автоматические кормушки понтонного типа ссыпают корм только в одну точку, что может привести к закисанию корма.

Именно для выполнения столь сложных технологических операции и разработан автоматический гелиокатамаран, призванный автоматизировать работу на рыбоводных хозяйствах.

Применение катамарана должно позволить повысить эффективность работы в прудовых рыбоводческих хозяйствах за счет наиболее эффективных средств производства и оптимизации рыбоводных технологических процессов. В проекте применяется экологически безопасные автоматизированные устройства (солнечные панели от которых питается все электрооборудование, установленное на гелиокатамаране).

На данном этапе уже создан уменьшенный прототип для проведения испытаний представленный на рисунке 3.



Рис. 3 – Опытный образец гелиокатамарана

Настоящий же катамаран имеет следующие технические характеристики:

- Габариты: 5 x 3 x 1,7 м
- Водоизмещение: пустого 1т, загруженного 2т
- Время автономной работы: 2 ч. на одной АКБ (4 ч. на 2-х)
- Срок эксплуатации: до 10 лет

Гелиокатамаран будет выполнять следующий ряд операций: внесение кормов, удобрений и медикаментов в водоёмы рыбных хозяйств, автоматизированный учет расхода вносимых компонентов и снятие показаний параметров воды, сбор и передача информации о проведенных технологических операциях и состоянии водоёма на диспетчерский пост.

Все технологические процедуры катамаран осуществляет на основе полученных данных с датчиков контроля состояния параметров воды (температуры, растворенного кислорода, рН). Информация с датчиков передается по каналу связи в контроллер управления. В зависимости

от показаний датчиков формируется программа и карты кормления, что обеспечивает рациональное использование кормов. Бункер-накопитель кормораздатчика оснащается весовым устройством и, таким образом формируется информация о том, сколько корма было израсходовано и в какое время [4].

Исполнительным механизмом, который выполняет задачу по подкормке рыбы и другие технологические операции по обслуживанию водоема, является бункер-дозатор [5]. Принцип работы дозатора таков: корм засыпается в бункер, программа управления запускает вращение шнека, и корм медленно вращаясь в винтовом конвейере поступает в водоем (рис. 4).

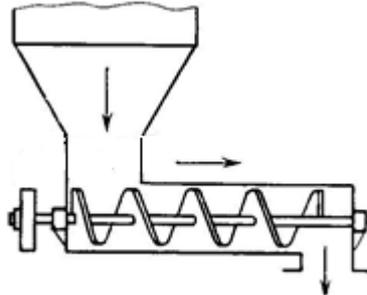


Рис. 4 – Принцип работы шнекового дозатора

Перемещается по водоёму катамаран с помощью электрических двигателей постоянного тока. Питание электродвигателей осуществляется от тяговых аккумуляторных батарей глубокого разряда. Заряд аккумуляторных батарей производится от фотоэлектрических преобразователей с помощью контроллера заряда.

Управление движением реализуется двумя способами:

1. В ручном режиме (на случай отказа автоматики)
2. Автоматическое (с помощью программного управления)

Основным режимом является автоматический, оператор задаёт в программе траекторию движения и маршрут, после чего запускает в работу катамаран и он самостоятельно передвигается и кормит рыбу. Предусмотрен переход на ручной режим, на случай отказа системы управления, тогда оператор сам встаёт за пульт управления, вручную управляет движением и вносит корм в водоем [6].

В конце, прогнозируя полезный эффект от гелиокатамарана можно сказать, что применение данного современного кормораздатчика позволит значительно повысить эффективность ведения прудового хозяйства, что выявит следующие результаты: увеличение плотности посадки рыбы за счет оптимальных режимов кормления, уменьшение затраты на горюче-смазочные материалы, автоматизированный учет расхода корма, контроль за состоянием водоема, исключение человеческого фактора, влияющего на процессы в товарном прудовом рыбоводстве.

#### Список литературы

1. Аквакультура. Кормораздатчики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblio.arktifikfish.com/index.php/1/1408-kormorazdatciki> (дата обращения: 07.12.2019)
2. Хрусталева, Курапова, Гончаренко. Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры // Учебник. Лань. – 2017. – С. 71.
3. Герасимов Ю.Л. Основы рыбного хозяйства. Учебное пособие // Самара: Самарский университет. – 2003. – С. 108.
4. Видинеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование сыпучих материалов // М.: Энергия. – 1974. – С. 120.
5. Родионов Д. А., Суворина И. В., Макеев П. В., Князев Ю. В. Классификация и назначение дозаторов // Молодой ученый. – 2015. – №11. – С. 409-413.
6. Курденков, К.Н. Рулевые устройства и регулировка на воде самоходных моделей кораблей // М.: ДОСААФ. – 1955. – С. 50.

05.13.06

**С.С. Павлов, М.А. Иванова канд. физ.-мат. наук, Ю.Г. Федотова,  
А.В. Спиридонова, Дь.А. Соколов**

Якутская государственная сельскохозяйственная академия,  
Инженерный факультет,  
Кафедра технической сервис в АПК,  
Якутск

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРИКЕТОВ ДЛЯ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ КОТЛОВ**

*При определенном подходе изучения математических моделей микробиологических процессов, которые описывают взаимоотношения между популяциями микроорганизмов, необходимо выделить те из них, которые учитывают пищевую конкуренцию, характерную для процесса культивирования хлебопекарных дрожжей. Основными для микробиологических процессов являются пять типов взаимоотношений - метабиоз, симбиоз, конкуренция, антагонизм и паразитизм. По большому количеству проведенных исследований было выявлено, что в основном, отношения между посторонними микроорганизмами и хлебопекарными дрожжами в совместной культуре носят характер пищевой конкуренции.*

Ключевые слова: *микробиологический процесс, пищевая конкуренция, растворение кислорода, аппарат, удельная производительность, аэрация, пищевая конкуренция, конструирование, лимитирующий субстрат.*

Основой расчета технологических и конструктивных параметров промышленных биореакторов являются экспериментальные данные, получаемые на лабораторных и пилотных ферментационных установках[1-3]. Применение лабораторных ферментационных установок позволяет решать следующие задачи:

- Проведение микробиологических селекционных работ по отбору более эффективных штаммов в процессе их культивирования;
- Оперативный анализ влияния качества сырья, минеральных солей, воды и других факторов на показатели роста микроорганизмов;
- Изучение воздействия на метаболизм клеток и технологические показатели процесса ферментации различных стимулирующих добавок;
- Уточнение в производственных условиях оптимальных параметров процесса культивирования (температура, рН среды, уровень аэрации и перемешивания и т.д.);
- Изучение кинетических и стехиометрических зависимостей различных штаммов микроорганизмов;
- Исследование влияния внешних факторов на качественный состав биомассы и продуктов вторичного метаболизма клеток.

Решение указанных задач в научно-исследовательских лабораториях и оперативная выдача рекомендаций непосредственно на производство позволяет значительно улучшить использование крупногабаритного производственного оборудования, повысить технико-экономические показатели предприятия. На рис.1 приведена схема выбора утилизации и переработки навоза.

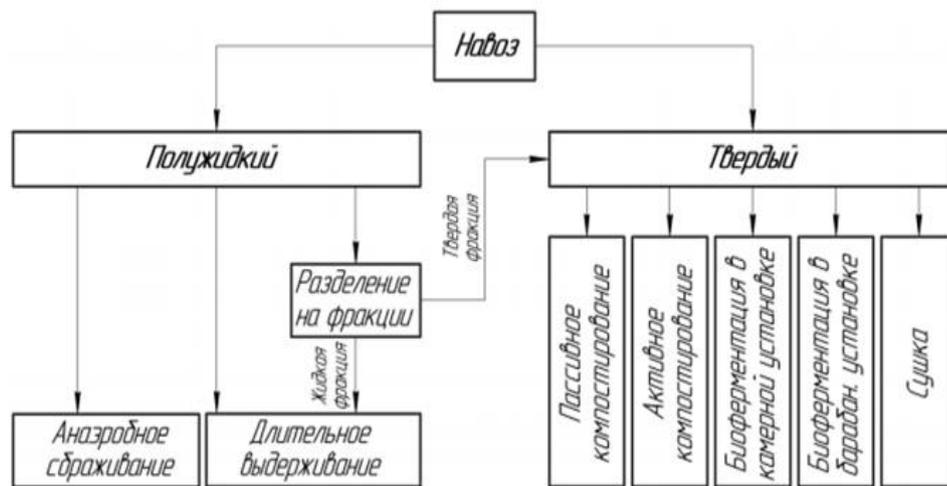


Рис. 1-Схема выбора утилизации и переработки навоза

Основные требования, которым должны отвечать лабораторные ферментационные установки, можно условно разделить на следующие:

- Требования к конструкции;
- Требования к технологической схеме, обеспечивающей возможность проведения заданного технологического режима и варьирование параметров процесса;
- Требования к измерительной и регулирующей части схемы.

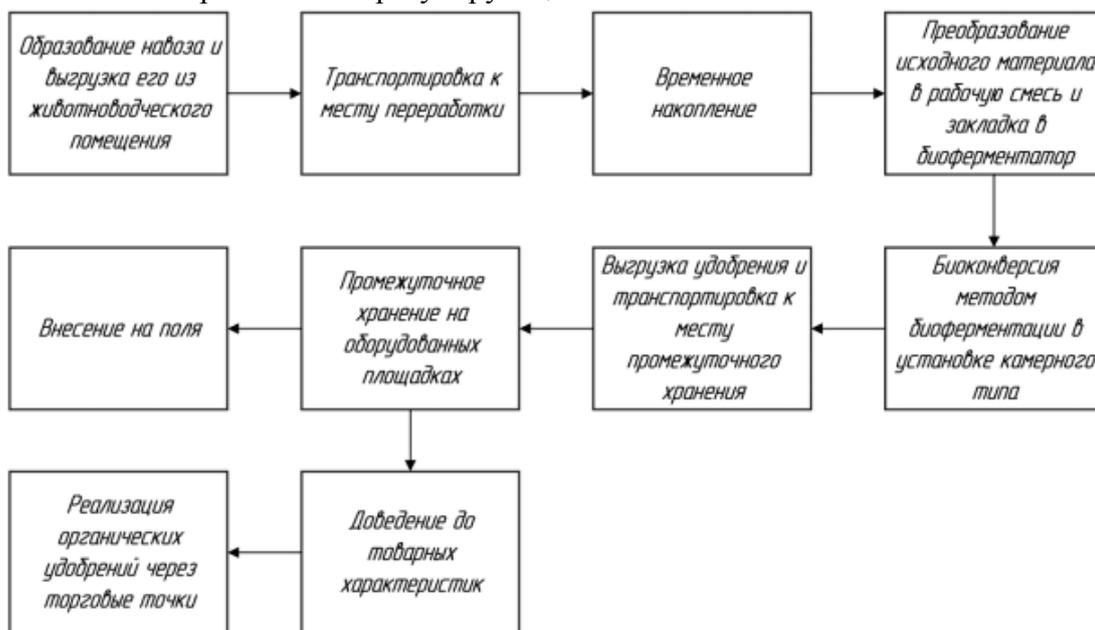


Рис. 2- Блок-схема технологии биоконверсии методом биоферментации

В настоящее время к конструированию аппарата предъявляют высокие требования: созданный аппарат должен обеспечить скорость растворения кислорода, которая равна:

$$M = \alpha^{0.2} \cdot \dot{X} \tag{1}$$

Обычно исходные данные на проектирование содержат следующие основные сведения – производительность, удельную производительность ферментатора, удельный расход кислорода  $M = \alpha^{0.2} \cdot \dot{X}$  или  $M$ .

Можно считать установленным факт, что микроорганизмы потребляют только растворенный кислород. Кислород является труднорастворимым газом.

Создаваемые в настоящее время ферментаторы являются в основном, аппаратами интенсивного массообмена и обеспечивают протекание процесса выращивания микроорганизмов - продуцентов кормового белка в кинетической области при отсутствии лимита по кислороду как субстрату. В производствах БВК продуценты кормового белка являются аэробными микроорганизмами. Их выращивание в производственных

ферментаторах обычно осуществляют непрерывным способом. Процессы, происходящие в ферментаторе, отличаются исключительной сложностью, т.к. одновременно протекают процессы микробиологического синтеза и тепло-массообмена, накладывающиеся друг на друга. Причем последние зависят от гидродинамической обстановки. При этом гидродинамическая обстановка в ферментаторе и структура потока многофазной системы решающим образом определяются конструктивными особенностями ферментатора и режимами его работы.

Валовую общую скорость роста микробных клеток определяем по отношению абсолютного прироста биомассы за единицу времени:

$$H_v = H_{vk} \frac{C}{C_1 + C}, \quad (2)$$

Где  $H_v$  - скорость роста;

$H_{vk}$  - максимальная скорость роста, достигаемая при повышении концентрации питательного вещества;

$C$  - концентрация лимитирующего питательного вещества;

$C_1$  - величина, при которой  $H_v = \frac{1}{2} H_{vk}$

Концентрацию биомассы выражают массой высушенных клеток или их числом в мл. Если продукт связан с ростом культуры, то его количество прямо пропорционально образованной биомассе. Образовавшаяся биомасса за определенное количество времени будет являться производительностью ферментатора, которая определяется как произведение удельной скорости роста и концентрации клеток.

В настоящее время нет ни единого мнения о механизме поступления малорастворимых питательных веществ в клетку. Следует заметить, что на данном этапе знаний предлагаемые гипотезы потребления малорастворимых субстратов и их математические модели несмотря на свою оригинальность, пока далеки от их практического применения при разработке конструкции ферментаторов.

Существует большое разнообразие видов аэраторов, и методов аэрирования среды. От выбора методов аэрирования зависит массообмен и перемешивание по всему объему ферментатора.

Процесс доставки кислорода и питательных веществ к клеткам агломератов осуществляется с меньшей скоростью чем к отдельно существующим клеткам, находящимся вне агломерата, что в конечном итоге приводит к снижению производительности ферментатора [2-5]. Количественный анализ влияния клеточных агломератов проводят на основе предложенной в характеристике микросмешения, названной степенью сегрегации. Понятие степени сегрегации связано с концепцией «жидких частиц». Согласно этой концепции жидкость, поступающая в реактор, диспергируется на «жидкие частицы», каждая из которых функционирует как самостоятельная система.

### **Список литературы**

1. *Ведерников, В.В.* Оптимизация конструкций циклонов. //ТОХТ. -№ 1. -1990.
2. *Венецкий, И.Г., Венецкая, В.И.* Основные математико-статические понятия и формулы в экономическом анализе.- М.: Наука, 1979.-448
3. *Кокиева, Г.Е.* Анализ особенностей эксплуатации аппаратов для культивирования. Сб. Потенциал развития отрасли связи Байкальского региона, Новосибирск, 2013г.
4. *Кокиева, Г.Е.* Анализ технологии измерения рабочих поверхностей при дефектации аппаратов для культивирования микроорганизмов. Научно-технический Вестник Поволжья, Сб.№3. 2014г. Казань.
5. *Еремин, В.А., Кантере, В.М., Лалов, В.В.* Расчеты нормализованных характеристик аппаратов для промышленного культивирования микроорганизмов. В кн: Разработка аппаратуры для биосинтеза белка на углеводородах: Тез. Докл. Конференции, Пущино, 1975, с.10.

05.13.06

<sup>1</sup>Д.П. Салова канд. техн. наук, <sup>1</sup>Е.П. Шалунов канд. техн. наук,  
<sup>1</sup>С.С. Сайкин канд. физ.-мат. наук, <sup>1</sup>С.В. Солин, <sup>1</sup>С.С. Сорокин,  
<sup>1</sup>П.М. Салов д-р техн. наук, <sup>2</sup>Т.Г. Виноградова канд. техн. наук,  
<sup>3</sup>А.Ф. Денисенко д-р техн. наук, <sup>1</sup>И.А. Фомичев

<sup>1</sup>Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,  
<sup>2</sup>Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета,  
tavin2008@mail.ru,  
<sup>3</sup>Самарский государственный технический университет

### РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЬБОРОВЫХ КРУГОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

*Наиболее трудоёмкой и затратной операцией механической обработки является внутреннее круглое шлифование глубоких отверстий [1-2]. Значительные отжатия в технологической системе (ТС) вызывают нарушение конгруэнтности контактной зоны круга с заготовкой. Целью исследований являлось создание эффективных условий эксплуатации круга за счёт установки и поддержания его положения при работе, при котором он сохраняет цилиндричность.*

Ключевые слова: эльборовые круги, режим самозатачивания, усилия резания, деформации, компенсация перемещений, колебания.

Целесообразность использования эльборовых кругов при внутреннем шлифовании конструкционных сталей обоснована их способностью к самозатачиванию. Резание осуществляется с относительно малыми усилиями резания  $P_y$  и  $P_z$ , соответственно малыми реактивными им силами  $P_{yp}$  и  $P_{zp}$  со стороны заготовки ( $\bar{P}_{yp} = -\bar{P}_y$  и  $\bar{P}_{zp} = -\bar{P}_z$ ), что особенно ценно в условиях ограниченной жёсткости технологических систем (ОЖТС). Например, при шлифовании глубоких отверстий [1,2], при бесцентровом шлифовании [2-4].

Рациональность использования круга во многом зависит от условий геометрического контакта его с обрабатываемой поверхностью [1-11]. Для обеспечения более полного контакта без длительной приработки используют круги конусообразной формы [1,5-11] или опережающе располагают ось круга в положение, которое компенсирует действие усилия  $P_y$  [6]. Недостаток конусообразного круга – трудности с обеспечением требуемой конусности, а способа, предлагаемого в работе [6] – использование шпиндельного узла весьма низкой жёсткости. Общий недостаток обоих – отсутствие компенсаций перемещений, вызываемых усилием  $P_{zp}$ .

На современных станках с ЧПУ вполне реализуемо выполнение опережающего перемещения по отдельным координатам. Например, поворот заготовки для компенсации воздействия усилия  $P_{yp}$  на угол  $\varphi_y$  и перемещение круга в направлении действия тангенциальной составляющей силы  $P_z$  ( $\bar{P}_{zp} = -\bar{P}_z$ ) на величину  $H$  [1-5]. При этом необходимо оценить появляющееся взаимовлияние векторов сил  $\bar{P}_{yp}$  и  $\bar{P}_{zp}$ , а также искажение формы круга за счёт разворота его внутри отверстия.

Используя работы [1-7], где выполнен геометрический анализ контакта тел, а также условия взаимоприрабатываемости круга к обрабатываемой поверхности заготовки [2], оценим вклад возникающих погрешностей от воздействия усилия  $P_{zp}$ . Из рис. 2.9 работы [1] для развернутого и приработанного круга определим величину радиального износа круга при его повороте внутри заготовки в плоскости  $xOz$ :

$$\Delta R_p = R_{ц} - R_h \approx r_0 - \sqrt{r_0^2 - h^2}; \text{ при } r_0 > (2R_{ц} - R_h) \quad (1)$$

где  $R_{ц}$  и  $R_h$  – радиусы круга в сечениях, центры которых находятся соответственно на уровне оси заготовки и ниже этого уровня на величину  $h$ ;  $r_0$  – радиус обрабатываемого отверстия.

Когда заготовка развёрнута, а круг не перемещён на величину  $H$ , то разница в изнашивании его торцов составляет

$$\Delta R \approx \sqrt{r_0^2 - h_1^2} - \sqrt{r_0^2 - h_2^2}, \quad (2)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – величины смещений центров торцов круга ниже оси заготовки, соответственно ближнего к шпиндельному узлу и дальнего.

Износ круга по срединному сечению за счёт разворота составит:

$$u_z \approx 2(r_0 - \sqrt{r_0^2 - H^2}). \quad (3)$$

При отсутствии смещения на величину  $H$  круг, под воздействием усилия  $P_{zp}$ , опускается ниже оси заготовки, врезаясь в неё по направлению вектора  $\vec{P}_{zp}$  [1,2]. Он «прирабатывается» к обрабатываемой поверхности до момента снижения его оси на величину

$$H_1 \approx H - (r_0 - \sqrt{r_0^2 - H^2}) \quad (4)$$

При этом радиус его  $R_{пр}$  будет равен минимальному расстоянию от оси круга до обрабатываемой поверхности.

Для расчёта величины  $P_{пр}$  получены зависимости:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(z) = \sqrt{(r_0 - P_{ц} - \sqrt{r_0^2 - Z^2})^2 + (H_1 - Z)^2}, \text{ при } \rho(z) < R_{ц} < r_0; \\ \rho(z)_{min} = R_{пр}, \quad \text{при } R_{пр} < R_{ц}. \end{array} \right. \quad (5)$$

Первое уравнение системы (5) – это расстояние между осью круга и точкой на окружности  $r_0$ , имеющей координату  $Z$ . Оно решается численно, методом последовательного приближения. Задавая  $Z$  получают  $\rho(z)$ , приближаясь к  $\rho(z) = \rho(z)_{min} = R_{пр}$ .

Величины  $H_1$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  определялись теоретико-экспериментальным методом [1,2], с использованием графиков по динамической тарировке ТС и контроле конусообразности круга [1,2]. Эксперименты проводились на модернизированном станке «Wotan». Шлифовались гильзы с отверстием диаметром  $r_0 = 22,5$  мм, длиной  $l = 280$  мм, круг ПП 40 x 30 x 20 x 3 ЛО100/80 СТ17К100.

Используя вышеприведенные зависимости (1) - (5), впервые доказано, что усилие  $P_{zp}$  не оказывает существенного прямого влияния на искажение формы круга. Однако при отсутствии компенсирующего перемещения на величину  $H$  интенсивность процесса ограничивается возникающими вибрациями, связанными со спецификой геометрического контакта при внутреннем шлифовании. При смещении круга в направлении вектора  $\vec{P}_{zp}$  он, из-за указанных особенностей, врезается в нее с ударом, что способствует активизации колебаний.

В таблице дано сравнение 2-х вариантов обработки, в которых заготовка опережающе развёрнута для компенсации воздействия усилия  $P_{yp}$  равного 75Н.

Таблица - Показатели базового (числитель) и предлагаемого (знаменатель) вариантов шлифования

Q, мм <sup>3</sup> /мин	Ra, мкм	Wz, мкм	q, мг/г	Kp	H, мкм
141	0,80	8 – 12	1,11	1,50	18
144	0,32	4	0,44	1,75	15,5

При перемещении круга на расчетную величину  $H$  производительность процесса  $Q$  практически не изменяется, а шероховатость обработанной поверхности  $R_a$  уменьшается в 2,5 раза, поперечная волнистость  $W_z$  уменьшается в 2-3 раза, удельный расход эльбора  $q$  уменьшается в 2,5 раза. Установлено, что вибрации в базовом варианте начинают проявляться при  $K_p \leq 2,2$ . При  $K_p > 2,2$  необходимость в опережающем перемещении круга по оси  $Z$  отпадает. Управляя величиной  $H$  можно регулировать самозатачиваемость эльборового круга.

### Выводы по работе

1. Эффективность использования эльборовых кругов при получистовом шлифовании глубоких отверстий повышается за счет поддержания их цилиндричности и положений в пространстве, исключая повышенный износ и отрицательное воздействие на поверхность заготовки.

2. Появление вибраций зависит не только от жесткости ТС, сил  $P_y$  и  $P_z$ , но и соотношения сил  $K_p$ . Она возникает при  $K_p \leq 2,2$  и отсутствии опережающих перемещений по оси Z.

3. Внедрение нового варианта позволяет на окончательных операциях увеличить производительность процесса, например при хонинговании, в 2-4 раза.

### Список литературы

1. *Виноградова Т.Г.* Повышение эффективности шлифования глубоких отверстий путём управления перебегом и формой круга при учёте теплонапряжённости процесса: Дис.. канд. техн. наук: 05.02.08 / Самарский гос. тех. ун-т. – Самара 2013-170с.
2. *Салова Д.П.* Моделирование профиля рабочей поверхности шлифовального круга с использованием принципов естественной прирабатываемости: Дис...канд. техн. наук: 05.03.01/ Самарский гос. техн. ун-т – Самара – 2007 -231с.
3. *Захаров О.В.* Стабильность силового замыкания контакта при бесцентровом шлифовании на неподвижных опорах / О.В. Захаров // СТИН. 2011. №7- С.8-10.
4. *Захаров О.В.* Управление точностью бесцентрового шлифования статическими методами / О.В. Захаров // Мехатроника, автоматизация, управления. 2009. №9. С.32-35.
5. *Zakharov O.V., Balaev A.F., and Kochetkov A.V.* Modeling Optimal Path of Touch Sensor of Coordinate Measuring Machine Based on Traveling Salesman Problem Solution. Procedia Engineering. 2017, Vol. 206, Pp. 1458-1463.
6. *Никифоров И.П.* Повышение эффективности внутреннего шлифования в условиях пониженной жесткости технологической системы: Дис.. докт. техн. наук: 05.03.01/ Санкт-Петербургский гос. тех. ун-т. – Санкт-Петербург. 2006 - 272с.
7. *Захаров О.В.* Формообразование сложных поверхностей с применением адаптивных систем контроля / О.В. Захаров. Саратов: СГТУ, 2014.-256с.
8. *Захаров О.В.* Расчет ведущих кругов бесцентровых шлифовальных станков // Вестник машиностроения. 2009. №4. С. 77-80.
9. *Rezchikov A.F., Kochetkov A.V., and Zakharov O.V.* Mathematical models for estimating the degree of influence of major factors on performance and accuracy of coordinate measuring machines. MATEC Web Conf. 2017. Vol.129.Pp.01054.
10. *Погораздов В.В.* Геометро-аналитическая поддержка технологий формообразования винтовых поверхностей: учеб. пособие / В.В. Погораздов, О.В. Захаров. Саратов: СГТУ, 2004. 72с.

05.13.06

**Л.А. Симонова д-р техн. наук, К.Н. Гавариева**

Набережночелнинский институт КФУ,  
отделение информационных технологий и энергетических систем,  
кафедра автоматизации и управления,  
lasimonova@mail.ru, gavariievakn@mail.ru

### **РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ШТАМПОВКИ**

*В статье рассматривается разработка базы знаний для системы нечеткого логического вывода. Разработка выполнена в программной среде MATLAB, для технологического процесса прецизионной штамповки. В ходе разработки создаются переменные системы нечеткого логического вывода и правила, а также получена визуализация поверхности нечеткого вывода.*

*Ключевые слова: нечеткая логика, функция принадлежности, входные переменные, принятие решений.*

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция интеллектуализации различных технологических процессов и производств, которая основана на знаниях. Интеллектуальная информационная система (ИИС) представляет собой комплекс программных, лингвистических и логико-математических инструментов для принятия решений. Высокая эффективность ИИС определяется их способностью функционировать в критериях воздействия всевозможных неопределенных факторов.

Целью исследования является анализ возможности применения нечеткой логики интеллектуальной системы управления. Задачей исследования является разработка базы знаний для системы нечеткого вывода принятий решений в заданной предметной области с применением среды моделирования Matlab.

В качестве предметной области выбран технологический процесс горячей объемной прецизионной штамповки.

Для достижения высокого качества выполнения процесса прецизионной штамповки и энергосбережения вследствие устранения необходимости последующей механической обработки некоторых поверхностей поковки, необходимо назначить оптимальные режимы операций технологического процесса.

Система управления процессом прецизионной штамповки в виду своей сложности и значительного количества входных параметров накладывает ограничения на выбор принципа управления. В задачах управления нелинейными и нестационарными системами в условиях неопределенности хорошо зарекомендовало себя управление принятием решений с использованием нечеткой логики.

Определение технического состояния объекта с применением аппарата нечёткой логики позволяет работать с существующей неопределенностью, неполнотой и нечёткостью информации. Выбор решения по числовой информации в условиях неопределённости (риска) возникает в том случае, когда с каждым принимаемым решением связано некоторое множество возможных результатов с известными условными вероятностями [1,2].

Нечеткий вывод представляет собой процедуру или алгоритм получения набора правил нечеткой логики, подразумевающих использование лингвистических переменных вместо усложненной динамической модели [3].

База знаний нечеткой логической системы прецизионной горячей объемной штамповки (ГОШ) состоит (рисунок 1) из базы данных, которая содержит функции принадлежности, показывающие степень соответствия реальных величин понятиям, определяемые термами-множествами, эвристик знаний экспертов о технологическом процессе прецизионной ГОШ, а так же базы правил, определяющих зависимость между входными и выходными термами-множествами, и базы прецедентов, которая осуществляет поиск существующих прецедентов [2].

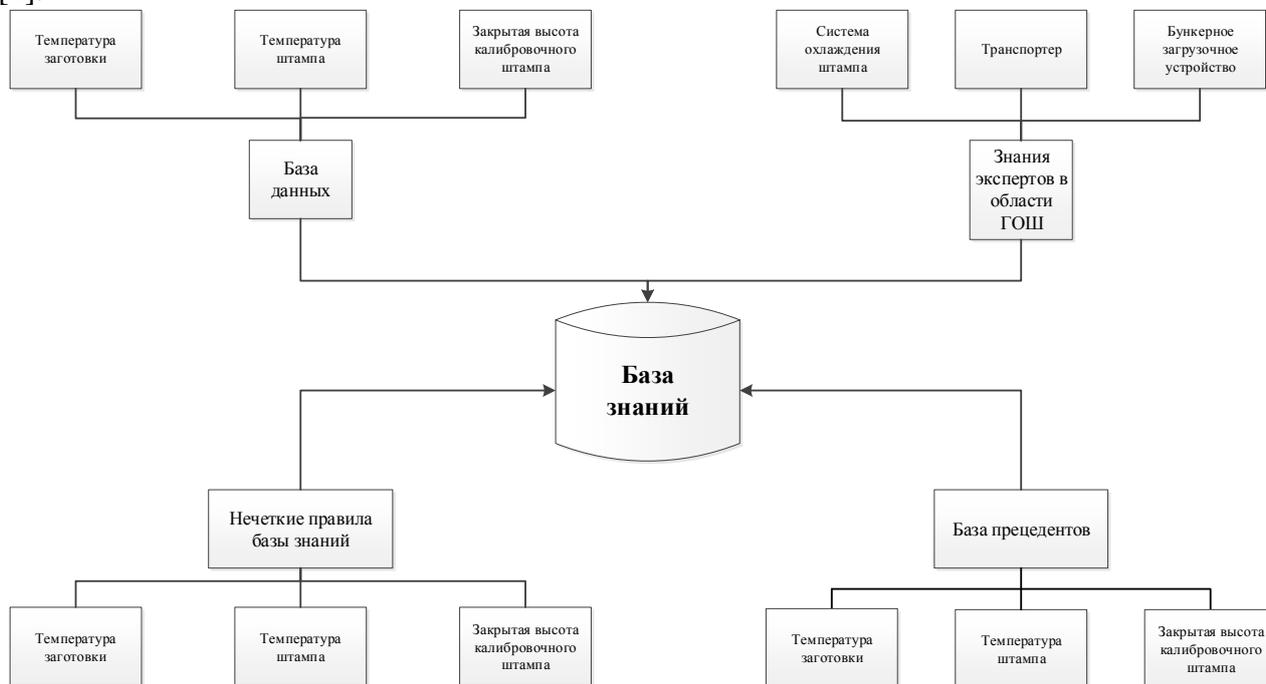


Рис.1- Структура базы знаний технологического процесса ГОШ

Формирование нечеткой базы знаний процесса прецизионной ГОШ осуществлялось с применением инструментального пакета проектирования систем нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox программного продукта Matlab, как входные переменные использовались: температура заготовки, температура штампа, скорость движения транспортера.

Эти входные переменные отображают характеристики процесса, управление которыми будет выполняться в дальнейшем. Для каждой переменной обозначены диапазоны допустимых значений. Так для переменной «температура заготовки» интервал задан {1050 1150}, для переменной «температура штампа» - {220 250}, «транспортер» - {блокиратор отсекабель}, «система охлаждения штампа» - {оптимально интенсивно}.

Выходной переменной является поковка требуемого качества, являющаяся конечным результатом процесса прецизионной ГОШ.

Структурная схема, выполненная с помощью редактора FIS после определения параметров системы нечеткого логического вывода входных и выходных переменных, представлена на рисунке 2.

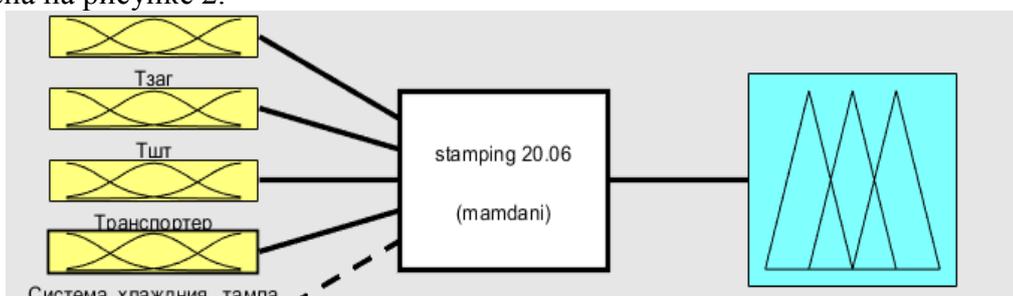


Рис. 2- Схема системы нечеткого логического вывода в редакторе FIS

Затем заданы нечеткие правила для рассматриваемой системы. Нечеткие правила «если – то» дают возможность улучшить толкование результатов, что приводит к более углубленному пониманию сути процесса.

Согласованность правил сравнительно применяемых лингвистических переменных означает, что в качестве критерий и заключений правил могут применяться лишь нечеткие лингвистические высказывания, при этом в каждом из нечетких высказываний должны быть определены функции принадлежности значений терм-множества для каждой из лингвистических переменных [4].

В результате получилось 36 правил, которые построены с учетом практического опыта. Фрагмент списка правил представлен на рисунке 3.

1. If (Тзаг is низкая) and (Транспортер is отсекабель) then (Поковка is недогретая) (1)
2. If (Тзаг is оптимальная) and (Транспортер is оптимальный) then (Поковка is оптимальная) (1)
3. If (Тзаг is оптимально-выс) and (Транспортер is блокиратор) then (Поковка is оптимальная) (1)
4. If (Тзаг is критич) and (Транспортер is отсекабель) then (Поковка is перегретая) (1)
5. If (Тзаг is низкая) and (Тшт is низкая) and (Система\_охлаждения\_штампа is оптимальный) then (Поковка is недогретая) (1)
6. If (Тзаг is оптимальная) and (Тшт is низкая) and (Система\_охлаждения\_штампа is оптимальный) then (Поковка is оптимальная) (1)

Рис. 3- Фрагмент перечня правил системы нечеткого логического вывода

С целью полного анализа представленной нечеткой модели выполнена визуализация надлежащей поверхности нечеткого вывода, реализуемая в программе просмотра поверхности нечеткого логического вывода. Полученная поверхность нечеткого вывода позволяет изучить взаимосвязь значений выходной переменной от отдельных входных переменных. Сочетание входных переменных задаются согласно размещению на осях системы координат. На рисунке 4 представлена визуализация поверхности нечеткого логического вывода рассматриваемого процесса для входных переменных «температура штампа» и «температура заготовки».

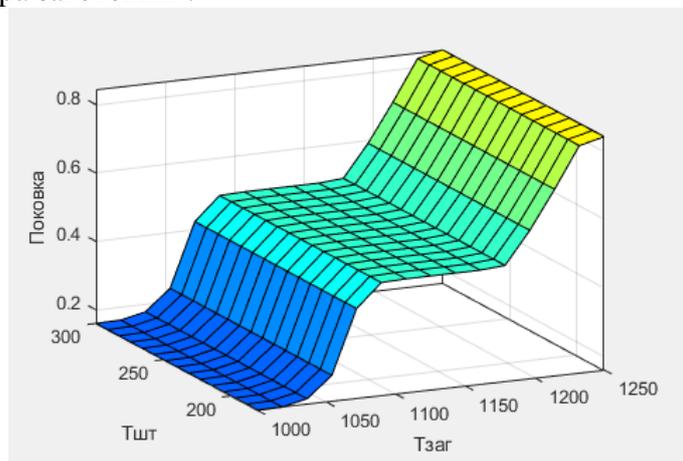


Рис. 4- Визуализация поверхности нечеткого логического вывода рассматриваемого процесса для входных переменных «температура штампа» и «температура заготовки»

В результате, проведя анализ полученной поверхности нечеткого логического вывода, можно сделать вывод о том, что представленная система управления технологическим процессом прецизионной штамповкой отвечает экспертным представлениям в рассматриваемой предметной области. Так, в качестве примера, можно сказать, что с одновременным повышением температур штампа и заготовки достигаются критические точки технологического процесса и необходима корректировка параметров.

#### **Список литературы**

1. *Корячко В.П., Бакулева М.А., Орешков В.И.* Интеллектуальные системы и нечеткая логика: учебник / . - М.: КУРС, 2017. - 352 с. - ISBN 978-5-906923-39-4. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/882796>
2. *Макаров И.М., Лохин И.М., Манко С.В., Романов М.П.* Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. – С. 214-217.
3. *Морозов В.К., Рогочев Г.Н.* Моделирование информационных и динамических систем. – М.: Академия, 2011. – С. 127-129.
4. Стратегическое прогнозирование развития промышленного предприятия на основе метода нейронных сетей и аппарата нечеткой логики [Стратегический менеджмент, №4 (16), 2011, стр. -] - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/498008>

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

### **ВЫБОР НАСОСА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ**

*В данной статье рассмотрена ветронасосная установка, предназначенная для включения в существующую систему циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия. Проведён анализ работы насоса установки, при условии сохранения его давления. Произведен выбор насоса при различных исполнительных органах машины. Использование выбранного (пластинчатого) насоса позволяет регулировать его рабочий объём на ходу с целью сохранения давления при изменении скорости ветра. В результате чего повышается средне-эксплуатационный КПД установки.*

Ключевые слова: насос, технологический процесс, система циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости, машиностроительное предприятие, рабочий объём, давление.

Обычно энергия ветра в ветронасосной установке преобразуется во вращательное движение ротора ветродвигателя. Это движение передаётся исполнительным органам машины. При этом используется механическая или электрическая передача, пневмопривод, гидропривод. В то же время механическая энергия вращательного движения ротора ветродвигателя может использоваться для накопления энергии в электрических, тепловых, пневмогидравлических, механических инерционных аккумуляторах и ресиверах.

При передаче вращательного движения ротора ветродвигателя исполнительным органам машины при помощи механической передачи параметры движения могут быть преобразованы. Для этого преобразования используются редукторы. При помощи редукторов можно получить необходимую частоту вращения или необходимое значение вращающего момента. Но в условиях, когда двигатель работает с постоянно изменяющимися в широких пределах частотой вращения и вращающим моментом, механическая передача имеет низкое значение среднего эксплуатационного КПД. Это происходит из-за того, что при малой скорости ветра мощность ветродвигателя  $N$  падает. Происходит это из-за уменьшения вращающего момента  $M$  и частоты вращения  $n$  ротора ветродвигателя согласно формуле

$$N=2M\pi n$$

При этом мощность ветродвигателя становится меньше необходимой потребляемой мощности исполнительных органов машины  $N_n$ . В этом случае энергия ветра перестает использоваться и КПД механической передачи падает.

Однако, если исполнительным органом машины является регулируемый пластинчатый насос, то полезную мощность насоса  $N_n$  вычисляемую по формуле [1]

$$N_n = Q_n P_{нас}$$

где  $Q_n$  – подача насоса,  $P_{нас}$  – давление насоса, можно уменьшить уменьшением его рабочего объема  $V_{он}$  (сохранив давление  $P_{нас}$ ), т. к. [1]

$$Q_n = V_{он} n_n$$

где  $n_n$  – частота вращения вала насоса. При этом уменьшается подача  $Q_n$ , а, следовательно, полезная мощность насоса  $N_n$ . Так как полезная мощность насоса  $N_n$  и мощность  $N_n$ , потребляемая насосом связаны соотношением

$$N_n = \eta_n N_n [1],$$

где  $\eta_n$  – КПД насоса, то уменьшается и мощность, потребляемая насосом. Тогда мощности ветродвигателя будет достаточно для работы насоса. Таким образом регулированием объема насоса при малой скорости ветра можно уменьшить мощность, потребляемую насосом за счет уменьшения подачи насоса. Трубопровод, который обслуживается насосом нашей машины не может функционировать при такой маленькой подаче. Поэтому трубопровод начинает обслуживаться другим насосом с альтернативным источником энергии, а насос нашей машины начинает заряжать пневматические гидроаккумуляторы. Но пластинчатый насос может быть использован только для перекачивания чистой маслянистой жидкости.

Следовательно, если ветронасосная установка используется для перекачивания чистой маслянистой жидкости как, например, один из насосов существующего технологического процесса циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия, то можно использовать пластинчатый насос, движение которому передаётся от ветродвигателя при помощи механического привода (вертикального вала).

На рис. 1 приведена схема регулируемого пластинчатого насоса однократного действия. В пластинчатых насосах однократного действия две соседние пластины за один оборот совершают один рабочий цикл.

Рабочий объем данного насоса определяется формулой

$$V_{он} = 4\pi k e b_c R_{cp} [1], \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент уточнения (этот коэффициент зависит от числа пластин  $z$ );

$e$  – эксцентриситет;  $b_c$  – ширина статора;  $R_{cp}$  – средний радиус ( $R_{cp} = r_a + e$ ).

При изменении эксцентриситета  $e$  путем перемещения кольца статора в направляющих 11 и 4 изменяется согласно выражению (1) рабочий объем  $V_{он}$ . Переход центра  $O'$  статора через центр  $O$  вращения ротора изменяет знак  $e$  и ведет к изменению подачи. Статор перемещается в направляющих толкателями 7 и 13.

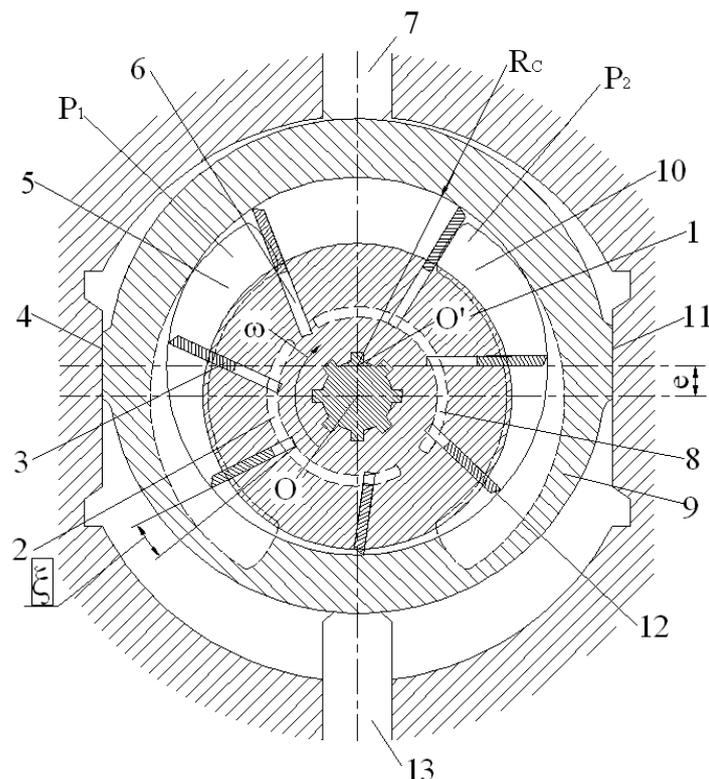


Рис. 1 – Схема регулируемого пластинчатого насоса однократного действия:  
 1 – ротор; 2, 8 – пазы; 3 – пластина; 4, 11 – на-правляющие; 5 – окно подвода жидкости;  
 6 – полости под плас-тинами; 7, 13 – толка-тели; 9 – кольцо статора;  
 10 – окно отвода жидкости; 12 – скошенные кромки пластин

Регулируемые пластинчатые насосы однократного действия используются при давлениях 10-12 Мпа [1].

Одним из способов борьбы с неравномерностью подачи в насосах однократного действия является применение пневматических гидроаккумуляторов. На рис. 2 изображены пневматические гидроаккумуляторы с разделителем сред.

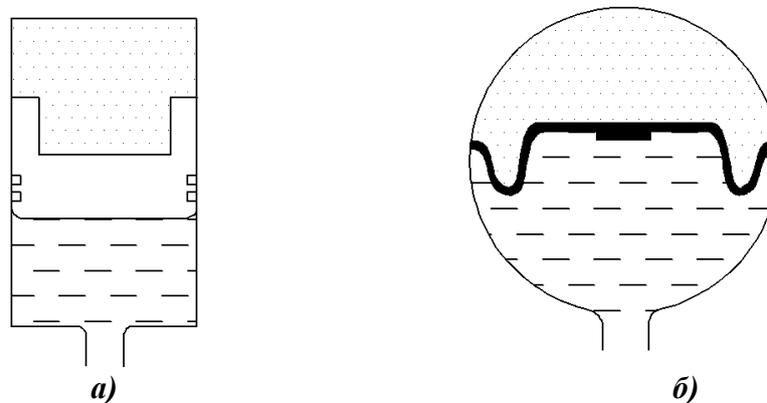


Рис. 2 – Пневматические гидроаккумуляторы с разделителем сред:  
а – поршневым; б – диафрагменным

Ветер дует с перерывами и с переменной скоростью, поэтому при использовании энергии ветра приходится применять и другие источники энергии, а также аккумулировать её с помощью различных аккумуляторов.

Если мощность, потребляемая исполнительными органами машины является нерегулируемой, то от механического привода придется отказаться, т.к. в этом случае средне-эксплуатационный КПД будет низким. Например, невозможно применить регулируемый пластинчатый насос для перекачивания сильно загрязненной жидкости в силу его конструктивных особенностей. Для перекачивания сильно загрязненной жидкости применяют центробежные насосы. Центробежный насос является динамическим насосом. Известно, что энергосообщитель динамического насоса должен быть достаточно быстроходным. В данном случае энергосообщителем является рабочее колесо с лопастями. То есть для работы центробежного насоса рабочее колесо должно иметь достаточно высокую частоту вращения. В данном случае для повышения частоты вращения рабочего колеса выгоднее использовать гидропривод, так как в гидроприводе возможно бесступенчатое регулирование передаточного отношения в широком диапазоне и создание больших передаточных отношений.

Для гидропривода с применением ветродвигателей более всего подходит регулируемый пластинчатый насос, т. к. регулированием рабочего объема насоса можно добиться постоянного соотношения между скоростью ветра и частотой вращения ротора ветродвигателя. Такой гидропривод был рассмотрен ранее [2].

#### Список литературы

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – С. 274-275, 334-336.
2. Фардеев, А.Р. Использование энергии ветра в гидравлических системах / А.Р. Фардеев // Научно-технический вестник Поволжья – 2019. – №12. – С. 136-138

05.13.06

<sup>1</sup>А.Р. Фардеев канд. техн. наук, <sup>2</sup>Р.Г. Марданшин канд. физ.-мат. наук

Набережночелнинский институт (филиал)  
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
<sup>1</sup>кафедра механики и конструирования,  
<sup>2</sup>кафедра системного анализа и информатики,  
Набережные Челны, albert.fardeev@mail.ru, mardanrif@mail.ru

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ**

*В данной статье рассмотрен ветродвигатель ветронасосной установки, работающей в составе системы циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия. Предложены различные способы управления ветродвигателями: в режиме ограничения мощности, в режиме максимальной снимаемой мощности, в режиме обеспечения работы исполнительных органов. Два последних способа управления выбраны для использования в системе, циркуляции смазочно-охлаждающих технологических средств машиностроительного предприятия.*

Ключевые слова: *ветродвигатель, технологический процесс, система циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости, машиностроительное предприятие, управление, исполнительные органы машины.*

При работе ветродвигателя происходит управление его работой. Это управление автоматизировано. Вручную происходит лишь запуск и остановка ветродвигателей. У роторных и барабанных ветродвигателей запуск и остановка может происходить открытием и закрытием доступа воздушного потока к лопастям ротора или барабана ветродвигателя, а также при помощи системы торможения ротора или барабана. Применение системы торможения в этих ветродвигателях возможно, т. к. они тихоходны. Но на случай штормового ветра лучше иметь систему ограничения воздушного потока.

Запуск и остановка крыльчатых ветродвигателей производятся двумя способами. Первый способ - это поворот лопасти или какой-то части лопасти относительно ее продольной оси или поворот тормозных открьлков, находящихся на лопастях. Если плоскость лопасти находится параллельно направлению ветра, то подъемной силы не возникает и ветроколесо не вращается. Второй способ - это изменение положения оси вращения ветроколеса. Если она параллельна направлению ветра, то ветроколесо вращается, если перпендикулярна - то ветроколесо останавливается.

Рассмотрим систему автоматического управления (САУ) работой крыльчатого ветродвигателя в режиме ограничения мощности путем поворота лопастей.

Пусть момент нагрузки постоянен, тогда для ограничения мощности ветродвигателя достаточно ограничить угловую скорость его ветроколеса. Обозначим заданную максимальную угловую скорость ветроколеса через  $\omega_m$ . При увеличении угловой скорости  $\omega$  ветроколеса центробежный регулятор поворачивает лопасти уменьшая угол атаки и угловая скорость вращения ветроколеса уменьшается.

Функциональная схема САУ работой крыльчатого ветродвигателя в режиме ограничения мощности показана на рис. 1 [1].

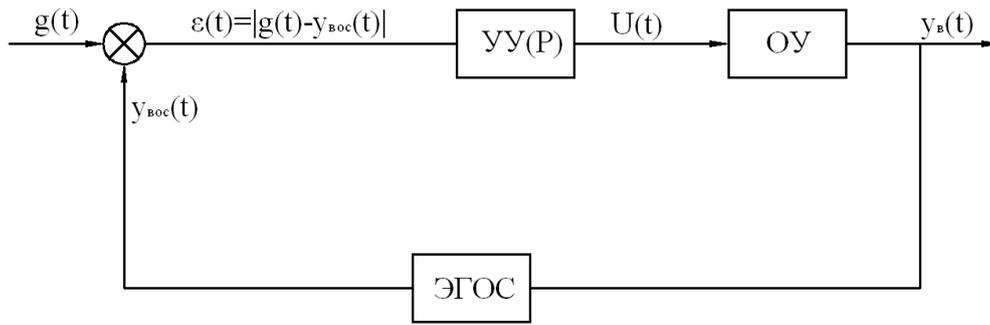


Рис. 1 - Функциональная схема САУ работой крыльчатого ветродвигателя в режиме ограничения мощности

В данном случае роль задающего воздействия  $g(t)$  выполняет расстояние, на которое перемещаются грузики центробежного регулятора под действием центробежных сил при  $\omega(t) = \omega_m$ . При угловой скорости, не превышающей  $\omega_m$  грузики прижаты пружинами соответствующей жесткости и это расстояние равно нулю, т. е.  $g(t) = 0$ . Переменная  $y_{вос}(t)$  - это текущая выходная величина ( $y_{\epsilon}(t) = \omega(t)$ ), преобразованная элементом главной обратной связи (ЭГОС). В нашем случае роль ЭГОС выполняет часть центробежного регулятора, обеспечивающая движение грузиков под действием центробежных сил. Тогда для рассматриваемого случая  $y_{вос}(t)$  - это перемещение  $\delta(t)$  грузиков от действия центробежных сил, действующих на них при  $\omega = \omega(t)$ . Следовательно, сигнал ошибки  $\epsilon(t)$  равен:

$$\epsilon(t) = |g(t) - y_{вос}(t)| = |0 - \delta(t)| = \delta(t)$$

Устройством управления УУ этот сигнал ошибки в виде перемещения  $\delta(t)$  преобразуется в управляющее воздействие  $U(t)$ , представляющее собой поворот лопастей ветродвигателя.

Устройством управления или регулятором в данном случае является часть центробежного регулятора, превращающая поступательное движение грузиков в поворот лопастей.

Рассмотрим САУ ветродвигателем роторного типа в режиме максимальной снимаемой мощности.

Известно, что максимальной мощности роторный ветродвигатель достигает при условии

$$\omega = \frac{\omega_a}{3} \quad [2] , \quad (1)$$

где  $\omega$  - угловая скорость ротора ветродвигателя,  $\omega_a$  - угловая скорость анемометра. Анемометром называется ветроколесо, вращающееся без нагрузки.

Если для ограничения мощности ветродвигателя производилась его регулировка, то для создания режима максимальной мощности необходимо регулировать нагрузку. Выберем в качестве нагрузки регулируемый пластинчатый насос.

Функциональная схема САУ в этом случае будет той же, что и в предыдущем случае (см. рис. 1). Но  $g(t)$ ,  $y_{\epsilon}(t)$ ,  $y_{вос}(t)$ ,  $\epsilon(t)$ ,  $U(t)$ , УУ(P), ОУ, ЭГОС обозначают уже другие величины и элементы системы. На этот раз

$$g(t) = \frac{\omega_a(t)}{3} , \text{ где } \omega_a(t) - \text{угловая скорость анемометра, } y_{\epsilon}(t) = \omega(t), \text{ где } \omega(t) - \text{угловая}$$

скорость ротора ветродвигателя,  $y_{вос}(t) = y_{\epsilon}(t)$ ,  $\epsilon(t) = \left| \frac{\omega_a(t)}{3} - \omega(t) \right|$ ,  $U(t)$  - изменение рабочего объема насоса, УУ(P) - сервомотор, ОУ - регулируемый пластинчатый насос, ЭГОС - отсутствует, т. к. преобразования выходной величины не происходит.

Элементом сравнения здесь является дифференциал, два вала которого вращаются со скоростями  $\omega_a$  и  $\omega$ , а водило находится в нейтральном положении при выполнении условия (1) и отклоняется от нейтрального положения при нарушении этого условия.

С учетом вышеизложенного функциональная схема САУ работой ветродвигателя роторного типа в режиме максимальной снимаемой мощности примет вид, показанный на рис. 2.



Рис. 2 - Функциональная схема САУ работой ветродвигателя роторного типа в режиме максимальной мощности

Объектом управления может быть не только ветродвигатель, но и ветроэнергетическая установка. При скорости ветра, достаточной для работы ветроэнергетической установки в режиме расчетной мощности она обеспечивает работу исполнительных органов машины. При малой скорости ветра работу исполнительных органов обеспечивает другой двигатель, например, электрический. Ветродвигатель в это время заряжает аккумулятор, который впоследствии, разряжаясь, обеспечивает работу исполнительных органов.

Рассмотрим ветронасосную установку, используемую в ветроэнергетической системе, обеспечивающей циркуляцию смазочно-охлаждающих технологических средств машиностроительного предприятия. Тогда исполнительным органом ветроэнергетической установки в случае использования ветродвигателя будет регулируемый пластинчатый насос, а в случае использования электродвигателя – центробежный насос. Переключение от одного двигателя к другому будет производиться согласно отклонению давления в гидроаккумуляторе  $P(t)$  от необходимого давления  $P_B$ . Функциональная схема САУ в этом случае имеет вид, показанный на рис. 3.

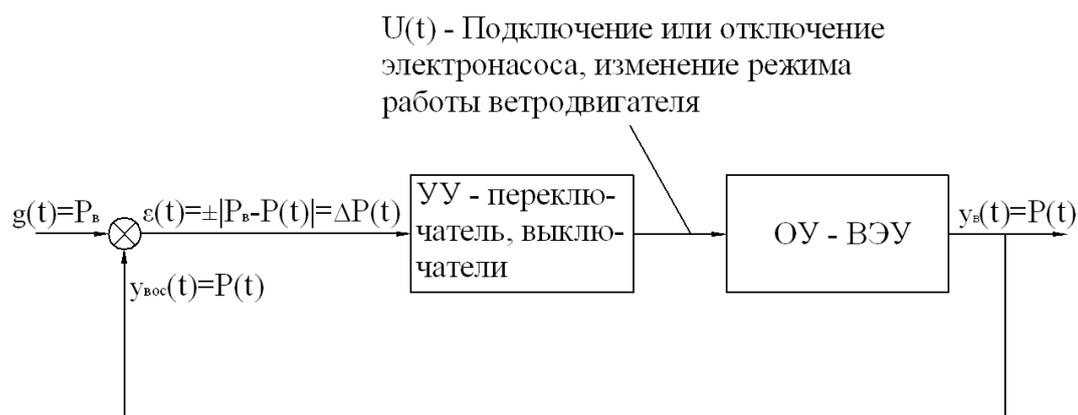


Рис. 3 - Функциональная схема САУ ветроэнергетической установкой в режиме обеспечения работы исполнительных органов

#### **Список литературы**

1. *Ерофеев, А.А.* Теория автоматического управления: Учебник для вузов / А. А. Ерофеев – СПб. : Политехника, 2001. – С. 12-14.
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. 147.

05.13.06

**А.Е. Шорников, С.Л. Сьянов канд. техн. наук**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
кафедра вычислительной математики, механики и биомеханики,  
Пермь, hydrolics@ya.ru

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК GSM МОДУЛЯ**

*В работе рассмотрены и систематизированы данные, а также оценены различные подходы по перспективам автоматизации процесса локализации параметров точки доступа GSM модуля мобильного устройства.*

Ключевые слова: *точка доступа, GSM модуль, мобильное устройство.*

Успешная экономическая деятельность производственной компании напрямую связана с объемом продаж её продукта. В свою очередь объемы продаж зависят от многих факторов. Среди этих факторов есть как рынки сбыта продукции, так и лояльность клиентов. Оба этих фактора напрямую зависят от автоматического конфигурирования настроек GSM модуля устройства под параметры страны нахождения оператора связи. Рассмотрим подходы к решению поставленной задачи.

#### **Создание базы параметров и поиск необходимых значений исходя из соответствия по IMSI сим карты**

Существует несколько путей реализации данного способа. Сим карта обладает IMSI(International Mobile Subscriber Identity) идентификатором, который можно получить при помощи соответствующей API функции. Первые 5 (6 для США) цифр код IMSI указывают на принадлежность сим карты к конкретному оператору конкретной страны. Проанализировав эти данные, можно обратиться к базе и получить соответствующие настройки для подключения GPRS и заполнения полей посредством API функции. Далее встает вопрос хранения базы параметров, который можно решить двумя путями.

Первый путь - хранить базу в памяти устройства. На этапе производства загружать файл, содержащий все необходимые параметры. Далее обновлять файл "по воздуху" при необходимости.

Плюсы:

- Универсальность - решение "из коробки" готово к применению с любым оператором.
- Полнота базы позволяет учесть вариант перемещения терминала на очень большие расстояния в обесточенном состоянии.

Минусы:

- Размер - существует риск превысить существующий в терминале предел пользовательской памяти.
- Скорость - перебор базы в поисках нужного соответствия может занять существенное время.

Второй путь - хранить базу на удаленном сервере. Сервер хранит базу и предоставляет её фрагменты по необходимости. Фрагментом является подборка параметров GPRS соединения для операторов той страны, в которой находится устройство, и стран соседей. В этом случае терминал одновременно обладает информацией об операторах в определенной окрестности, а актуальная информация предоставляется при существенном изменении местоположения. При таком подходе возникает проблема первого включения, когда терминал не обладает стартовой базой нужного региона и, в силу отсутствия настроек GPRS, не может обратиться к серверу. Эту проблему можно решить двумя способами:

Первый способ. С завода комплектовать терминал сим-картой с минимальным балансом, достаточным для отправки GPS координат на сервер и получения актуальных для конкретного региона параметров. Это увеличит стоимость устройства, но даст автономность в вопросе первичной настройки.

Второй способ. Осуществлять загрузку актуальных для конкретного региона параметров при подключении устройства к конфигуратору, установленному на ПК, по bluetooth. Этот способ не приносит никаких изменений в конструктив и комплектацию устройства, однако требует изменений логики работы с конфигуратором и наличие на компьютере интернет соединения.

Плюсы:

- Компактность - фрагмент базы содержит не так много информации и не займет много места в пользовательской памяти терминала.
- Скорость - с небольшим объемом информации процесс поиска не займет много времени.

Минусы:

- Сложность реализации логики взаимодействия терминала с сервером.
- Необходимость решать проблему первого включения посредством изменения комплектации терминала или внесения изменений в логику работы конфигулятора.
- Необходимость постоянно контролировать положение терминала и поддерживать актуальность информации, которой он обладает.

#### **Получение настроек интернета с помощью запросов**

Реализация этого способа опирается на устройство памяти смарт карт (рис.1). На SIM-карте содержится порядка 60 файлов, доступ к которым можно получить, подав, установленную производителем чипа AT команду и указав идентификатор файла, стартовый байт и размер блока, который будет прочитан (до 255 байт).

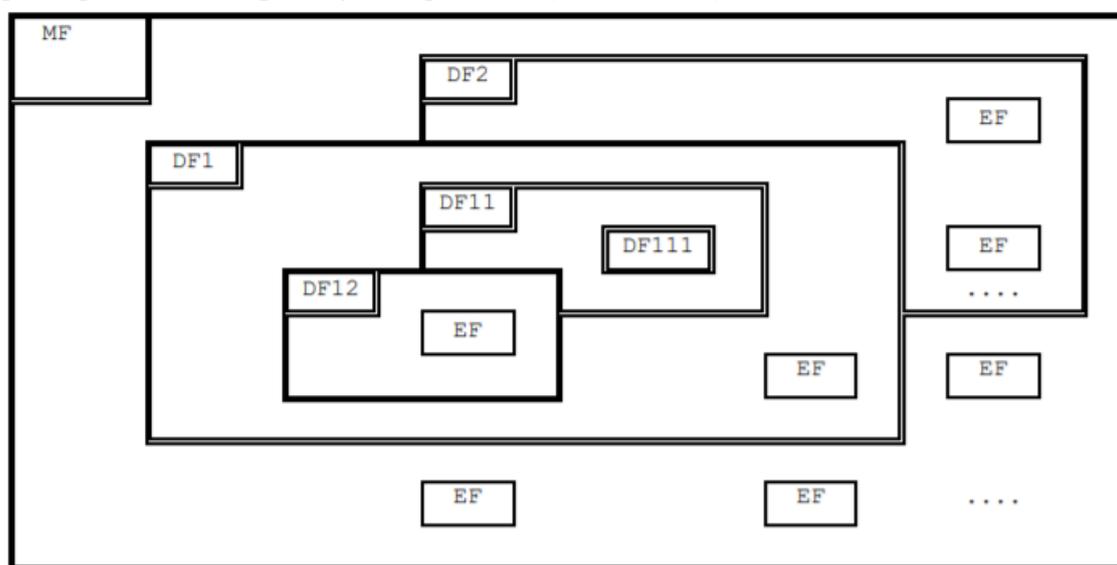


Рис. 1. Структура файловой системы SIM-карты

Elementary file(EF) в памяти организованы в иерархическую структуру и разбиты на профильные директории - Dedicated file (DF) [1]. В них храниться как системная, так и прикладная информация. Доступ к этим файлам может быть ограничен несколькими уровнями защиты. [2].

Наибольший интерес, в рамках поставленной задачи, вызывает файл EFADN (Elementary File Abbreviated dialling numbers).[3] Этот файл содержит номера телефонов, а также дополнительные сервисные коды (supplementary service codes) позволяющие управлять настройками телефона, а также параметрами звонков, переадресации и др. Особенностью этих кодов является стандартизованность для всех операторов, что позволяет организовать взаимодействие новых сим-карт со старыми телефонами.

Также, помимо SIM-карт, существуют универсальные SIM-карты (USIM), обладающие расширенным, относительно первых, функционалом, таким как:

- во внутреннюю память USIM теоретически можно записывать различные миниатюрные приложения;
- карты USIM лучше адаптированы для видеозвонков с телефона в 3G-сетях;
- поддержка более совершенных стандартов криптографической защиты;
- возможность записывать несколько тысяч контактов во внутреннюю телефонную книгу (в то время как в обычную SIM-карту — до 255);
- возможность фиксировать в контактах, вносимых во внутреннюю телефонную книгу, e-mail, а также дополнительные номера абонента.

Внешне SIM и USIM карты не отличаются, однако определить USIM можно по поддержке сетей высокоскоростного интернета 3G и 4G.

Файловая система USIM значительно богаче и имеет порядка 130 файлов, также разбитых по профильным директориям.

В этом случае, помимо EFADN, интерес вызывает файл EFACL (Elementare File Access Point Name Control Lis).[4] В этом файле содержится список разрешенных APN.

Несмотря на наличие потенциально полезных файлов, имеет смысл полностью отсмотреть содержимое сим-карты. В этом могут помочь сторонние приложения, такие как «Dekart sim manager».[5].

В ходе изучения файловой системы сим-карт было установлено, что интересующие нас файлы, в общем случае, закрыты системой защиты, заключающейся в административном коде (ADM), PIN2 и PUK2. Хотя PIN2 и PUK2 и печатаются на некоторых картах, ADM код известен только оператору и производителю сим-карт.

#### **Обзор подходов к получению настроек точки доступа в терминалах**

Выводы о принципах реализации будем делать на основе сопроводительной документации по установке и настройке терминалов. **Автофон**

Линейка трекеров компании Автофон представлена тремя основными моделями: "АвтоФон SE-Маяк", "АвтоФон D-Маяк" и "АвтоФон Альфа-Маяк", а также рядом их модификаций. Первые два устройства оснащаются классическим GSM модулем и разъемом под сим-карту. Согласно инструкции настройка параметров точки доступа происходит при помощи заполнения нескольких форм на сайте control.autofon.ru или в мобильном приложении. Так как прямого подключения терминала не требуется, можно сделать вывод, что передача параметров происходит по смс [6].

На фоне других терминалов особый интерес вызывает "АвтоФон Альфа-Маяк". В описании товара указано следующее: "... Вместо сим-карты в устройстве применяется передовой миниатюрный M2M сим-чип, который обеспечивает надежную работу устройства на протяжении многих лет, даже при экстремальных температурных и вибро нагрузках."

#### **StarLine**

Настройка APN в терминалах реализованы как базы APN, так и USSD запросов для проверки баланса [7]. Если найти совпадения не удастся, то устанавливаются настройки по умолчанию (для баланса это \*100#). Также все параметры могут быть установлены вручную посредством смс команд.

Таким образом можно сделать вывод о невозможности автоподбора параметров APN в обход обращения к заранее сконфигурированной базе APN интересующей нас территории.

**Список литературы**

1. Smart cards; Vocabulary for Smart Card Platform specification [Электронный ресурс] URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/102200\\_102299/102216/03.00.00\\_60/tr\\_102216v030000p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102200_102299/102216/03.00.00_60/tr_102216v030000p.pdf) (дата обращения: 20.08.19).
2. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Specification of the Subscriber Identity Module - Mobile Equipment (SIM-ME) interface (3GPP TS 51.011 version 4.15.0 Release 4) [Электронный ресурс] URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/151000\\_151099/151011/04.15.00\\_60/ts\\_151011v041500p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/151000_151099/151011/04.15.00_60/ts_151011v041500p.pdf) (дата обращения: 20.08.19).
3. ETSI TS 151 011 V4.15.0. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Specification of the Subscriber Identity Module - Mobile Equipment (SIM-ME) interface (3GPP TS 51.011 version 4.15.0 Release 4) [Электронный ресурс] URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/151000\\_151099/151011/04.15.00\\_60/ts\\_151011v041500p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/151000_151099/151011/04.15.00_60/ts_151011v041500p.pdf) (дата обращения: 22.08.19).
4. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) application (3GPP TS 31.102 version 8.4.0 Release 8) [Электронный ресурс] URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/131100\\_131199/131102/08.04.00\\_60/ts\\_131102v080400p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/131100_131199/131102/08.04.00_60/ts_131102v080400p.pdf). (дата обращения: 22.08.19).
5. Dekart knowledge base [Электронный ресурс] URL: <https://www.dekart.com/howto> (дата обращения: 23.08.19).
6. АвтоФон-маяк техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс] URL: <http://www.autofon.ru/images/documents/AutofonSEusermanual.pdf> (дата обращения: 23.08.19).
7. StarLine M17 ГЛОНАСС/GPS инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс] URL: [https://store.starline.ru/upload/iblock/c93/StarLine\\_M17.pdf](https://store.starline.ru/upload/iblock/c93/StarLine_M17.pdf) (дата обращения: 24.08.19).

05.13.06

**А.А. Южаков д-р техн. наук, О.А. Андриевский**

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,  
 Электротехнический факультет,  
 кафедра Автоматики и телемеханики,  
 Пермь, uz@at.pstu.ru,  
 Национальный исследовательский университет ИТМО,  
 Мегафакультет компьютерных технологий и управления,  
 Факультет систем управления и робототехники,  
 Санкт-Петербург, andrievsky@niuitmo.ru

## РАЗРАБОТКА ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Рассмотрена модель линейного двигателя. Сформулированы требования к системе управления линейным двигателем. Представлены экспериментальные данные. Построены идентификационные модели. Проведена линеаризация нелинейной модели. Исследованы различные виды моделей на участках линеаризации. Проведена адекватность идентификационной модели.*

Ключевые слова: *линейный двигатель, система автоматического управления, идентификация, адекватность.*

Линейные асинхронные двигатели (ЛАД) широко и успешно применяются в различных областях современного производства, а именно: в станкостроении, конвейерном производстве, в транспорте и так далее. Сравнительно недавно линейные двигатели стали применяться в 3D-принтерах. Одним из главных критериев при оценке изделия 3D-печати является качественная система управления. Точная печать контуров 3D-моделей должна быть очень высокой, что формирует повышенные требования к системам управления линейными двигателями в 3D-принтерах по основным показателям качества: ошибке в установившемся режиме, перерегулированию и времени переходного процесса. При проектировании систем управления линейными двигателями основную сложность представляет математическое описание линейных асинхронных двигателей. [1, 2]. Поэтому в данной статье предложен идентификационный подход для разработки модели линейного двигателя.

Динамика линейного электромагнитного привода с однообмоточным двигателем может быть следующей системой уравнений [2]:

$$\begin{cases} U = \frac{dL}{dt} L(h, I) + IR + E \\ m \frac{d^2 h}{dt^2} = F(h) \\ F = \frac{I^2}{2} \frac{dL(h, I)}{dh} \end{cases}$$

где  $U$  – напряжение на обмотке ЛАД;  $I$  – ток, протекающий через обмотку;  $R$  – сопротивление обмотки;  $L(h, I)$  – индуктивность обмотки;  $F$  и  $m$  – суммарная сила и суммарная масса, приведённые к якорю ЛД;  $h$  – линейная координата якоря ЛАД;  $E$  – ЭДС движения при перемещении якоря-  $E = k_E I \frac{dh}{dt}$ .

При построении модели ЛАД принято использовать переменный коэффициент:

$$k_F(h, I) = \frac{1}{2} \frac{dL(h, I)}{dh} = \frac{k_E(h, I)}{2}.$$

Очевидно, что модель линейного двигателя носит нелинейный и нестационарный характер.

Для идентификации модели линейного двигателя в качестве основных входных данных были использованы ток и напряжение в обмотке якоря (рис. 1 и рис. 2).

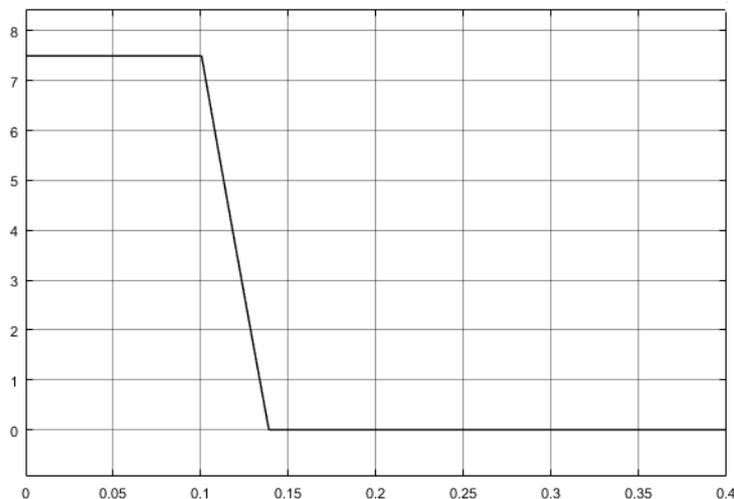


Рис. 1 - График входного сигнала - напряжения  $U$  на обмотке якоря

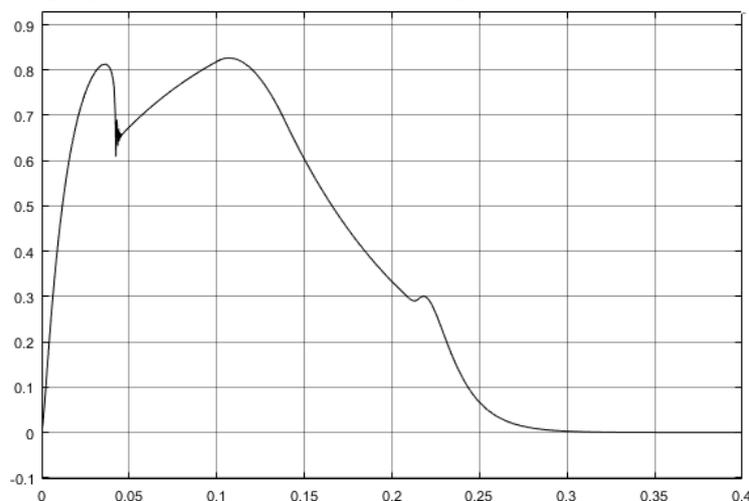


Рис. 2 - График выходного сигнала - тока  $I$  обмотки якоря

Таким образом, идентификационная модель должна отразить функциональные зависимости между напряжением и током в обмотке якоря. Идентификация была проведена с помощью пакета System Identification Toolbox Matlab. [3].

Адекватность модели оценивалась с помощью критерия fit [3, 4]:

$$fit = 100 \frac{(1 - norm(y_m - y))}{norm(y - mean(y))},$$

где  $y$  – измеряемые выходные данные;  $y_m$  – данные, полученные в результате моделирования;  $norm(y_m - y)$  – функция расчета нормы векторов измеряемых выходных данных и выхода модели;  $mean(y)$  – среднее значение измеряемых выходных данных.

Оценка с помощью линейных моделей, дала неудовлетворительный результат (рис. 3.). (адекватность 67.22%)

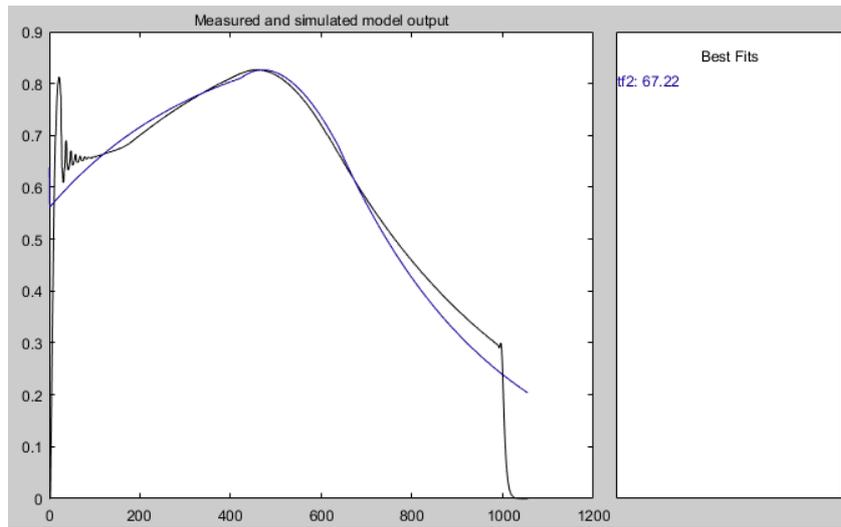


Рис. 3 - Переходные процессы реальной и идентифицированной моделей

Поэтому был предложен метод припасовывания, когда для отдельных участков переходного процесса рассчитываются линейные модели. С точки зрения функциональности процессов был предложен алгоритм разбиения экспериментальных данных на следующие участки по входному сигналу - [0;0.1]; [0.1;0.14]; [0.14;0.4] (рис. 4).

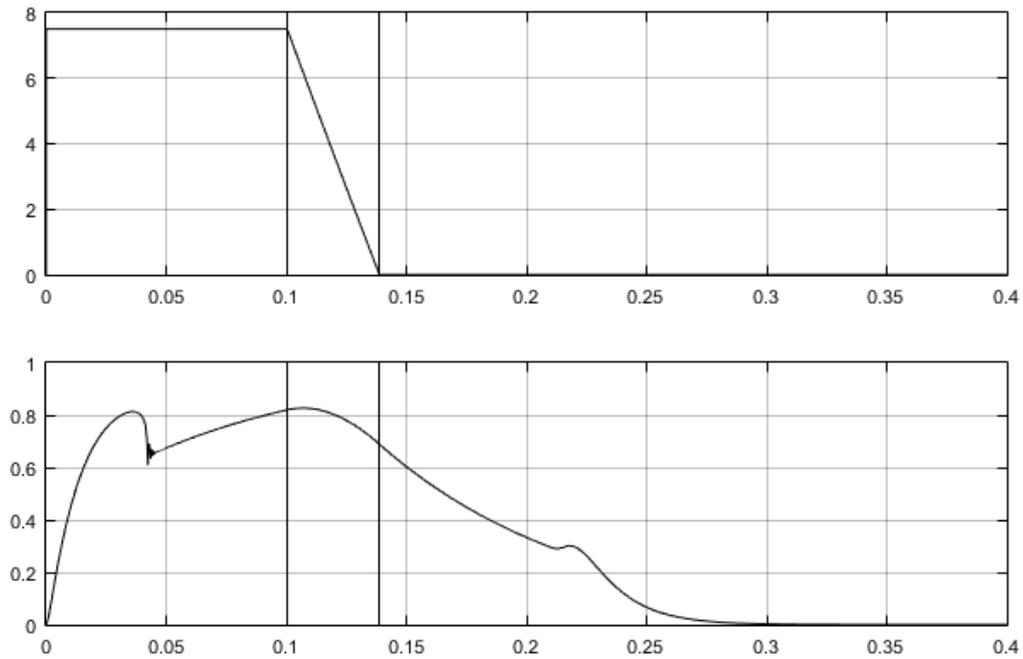


Рис. 4 - Определение участков линеаризации

В качестве линейных моделей были выбраны модели в виде передаточных функций и в пространстве состояний [3]. Результаты идентификации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты идентификации

Участок	Модель	Адекватность
1	$W(p) = \frac{-0.02621p + 0.01666}{p + 0.1724}$	82.29%
	$W(p) = \frac{-0.007514p + 0.004599}{p^2 + 0.247p + 0.04777}$	65.87%
	$A = \begin{bmatrix} -0.08021 & 0.1232 \\ -0.05286 & -0.009309 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0.001149 \\ 0.002112 \end{bmatrix};$ $C = [2.577 \quad 0.04459]; D = [0].$	40.44%

2	$W(p) = \frac{0.08077p - 5.88e - 05}{p + 6.902e - 13}$	78.22%
	$W(p) = \frac{24.28p + 0.07746}{p^2 + 302.9p + 0.9844}$	80.47%
	$A = \begin{bmatrix} 0.0001837 & 0.01101 \\ 4.677 & 53.04 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} -2.066 \\ -9949 \end{bmatrix};$ $C = [1.613 \quad -0.001632]; D = [0].$	50.66%
3	$W(p) = \frac{2.837p + 2.451}{p + 0.003076}$	90.55%
	$W(p) = \frac{3.422p - 0.0754}{p^2 + 0.04371p + 0.000103}$	75.44%
	$A = \begin{bmatrix} -0.002819 & -0.009116 \\ 0.009127 & -0.1176 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} -0.001276 \\ 0.03315 \end{bmatrix};$ $C = [14.04 \quad -0.0233]; D = [0].$	67.02%

Анализ исследований показал предпочтительность моделей в виде передаточных функций. Поэтому при разработке моделей линейных двигателей ограничиться моделями данного класса, а для повышения адекватности моделей увеличить количество участков линеаризации.

Так же была проведена идентификация нелинейной с помощью модели Гаммерштейна-Винера [3]. Адекватность модели – 93%. Данную модель целесообразно использовать в задачах имитации линейного асинхронного двигателя. Недостаток нелинейной модели заключается в том, что данная модель не отражает физическую природу объекта исследования, то есть она не пригодна для обратной конструкторской задачи [3].

Таким образом, в данной статье представлены идентификационный подход к построению модели линейного двигателя, проведена идентификация модели ЛАД; проведен анализ адекватности моделей. С точки зрения управления линейным двигателем рекомендуется применять линейные модели на участках линеаризации и осуществить расчет регулятора для каждого участка линеаризации. В качестве оценки качества управления линейным двигателем рекомендуется применить модель Гаммерштейна-Винера.

#### **Список литературы**

1. Вунна, Шве. Линейный асинхронный двигатель быстродействующих механизмов / ШвеВунна. – М., 2008. – 17 с.
2. Денисов В.А., Бочкарев А.В. Управление линейным электроприводом малых перемещений // Электротехника. 2011. № 2. С. 16-19.
3. Андриевская Н.В. Проектирование и исследование идентификационных моделей управляющих систем реального времени: учеб. пособие - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013 - 202 с.
4. Андриевская Н.В., Андриевский О.А. Разработка алгоритма исследования адекватности идентификационных моделей. Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 4. С. 66-68.

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

05.13.11

**А.М. Дергачев канд. техн. наук, Д.С. Садырин, А.Г. Ильина канд. техн. наук,  
И.П. Логинов, Ю.Д. Кореньков**

Университет ИТМО,  
Факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
Санкт-Петербург, dam600@gmail.com, cyberguru007@yandex.ru, agilina@itmo.ru,  
ivan.p.loginov@gmail.com, ged.yuko@gmail.com

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ АЛЛОКАТОРОВ  
ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ БИБЛИОТЕКИ GLIBC**

*Работа посвящена проблеме эксплуатации уязвимостей аллокаторов динамической памяти в библиотеке glibc. В работе рассмотрены современные способы обнаружения таких уязвимостей и представлен комплексный подход для решения проблемы автоматического выявления уязвимостей на разных стадиях жизненного цикла разработки программного обеспечения. Данный подход применим для верификации аналогичных реализаций аллокаторов динамической памяти, таких как ptmalloc, dlmalloc, tcmalloc, jemalloc, musl.*

Ключевые слова: *верификация, ошибки в ПО, символьное выполнение, проверка моделей, динамическая память, язык C.*

**Введение**

В настоящее время программные системы различного уровня и назначения используются практически во всех областях человеческой деятельности. Ошибки в системном программном обеспечении (ПО) могут привести к потерям данных, финансовому ущербу, нарушению производственных процессов, физическому уничтожению критически важных объектов [1]. Одним из важных этапов поиска ошибок является процесс верификации ПО, в том числе системного ПО, реализованного средствами языка C. В частности, можно выделить отдельную группу ошибок, связанных с реализацией аллокаторов (англ. allocator), занимающихся выделением динамической памяти и являющихся одной из причин уязвимости ПО. Для обнаружения такого рода ошибок необходимо проводить формальную верификацию в рамках жизненного цикла ПО.

В первой части статьи рассматриваются дефекты безопасности, относящиеся к использованию динамической памяти в языке C, а также методы и средства обнаружения связанных с этими дефектами уязвимостей. Во второй части предлагается комплексный подход, учитывающий недостатки существующих решений, который представляется перспективным в рамках решения задачи обнаружения рассматриваемых в статье уязвимостей ПО.

**Методы и средства обнаружения уязвимостей аллокаторов динамической памяти**

Для выявления дефектов допустимо применять как методы тестирования ПО, так и методы верификации. Среди них фаззинг [2,3], динамический анализ [4], верификация с использованием моделей [5,6], символьное выполнение [7], применение бинарных решающих деревьев – BDD (англ. Binary Decision Diagrams) [8], решение задачи пропозициональной выполнимости (англ. вариант – SATISFIABILITY, или SAT). Следует отметить, что применение каждого из методов подразумевают значительные накладные расходы на выполнение программы.

При верификации программ на языках C/C++ возможны нижеследующие варианты.

1. Эмуляция выполнения кода на виртуальной машине. Существенными недостатками этого метода являются высокие затраты при эмуляции больших программ и сложность эмуляции окружения и некоторых системных вызовов операционной системы. К эмуляторам, например, относится фреймворк Angr. В нем кроме символьного выполнения кода приложения производится символьное выполнение кода из разделяемых библиотек. К эмуляторам также относится фреймворк S2E (англ. Selective Symbolic Execution). Фреймворк S2E использует символьное выполнение на эмуляторе аппаратного обеспечения QEMU, исполняемом в KVM-режиме (англ. Kernel-based Virtual Machine).

2. Инструментация исполняемого файла после сборки и выполнение его на реальном процессоре. Примером фреймворка динамической инструментации является фреймворк Triton.

3. Инструментация исходного кода программы во время компиляции и последующее выполнение исполняемого файла. Данный подход представлен в работе [9].

4. Выполнение изменения исходных кодов программы отдельно перед компиляцией, например, средствами языка TXL (англ. Turing eXtender Language). Данный подход используется на работе [10].

5. Символьное выполнение внутреннего представления кода во время компиляции. Данный подход представлен в работе [11].

6. Выполнение с помощью отладчика после сборки.

На сегодняшний день существует ряд инструментальных средств, таких как CBMC, HAIT, HeapHopper, ArcHeap, MOPS, посвященных поиску ошибок распределения динамической памяти следующих типов: Heap-based Buffer Overflow, Double Free, Use after free и NULL Pointer Dereference [12], но ни один из них не лишен недостатков.

#### **CBMC**

CBMC (англ. C Bounded Model Checker) [13] представляет собой верификатор, который обеспечивает возможность ограниченной проверки моделей для языков ANSI-C и C++. CBMC позволяет верифицировать уязвимости переполнения буфера, безопасность указателей, исключения и пользовательские утверждения (англ. user-specified assertions).

#### **HAIT**

HAIT (англ. Heap Analyzer with Input Tracing) [14] реализует подход автоматического сбора и визуализации информации о состоянии кучи и операциях, которые над ней выполняются. Прототип инструмента построен на основе фреймворка Triton для динамического бинарного анализа программ. С целью отслеживания операций кучи (англ. heap) используется динамический подход. Для анализа трассировки используется библиотека динамической бинарной инструментации Pintools от компании Intel, которая осуществляет интеграцию с Triton – обеспечивается привязка Python для непосредственного взаимодействия с трейсером и использования всех его функций, прежде всего механизмов перехвата событий.

На настоящий момент HAIT не является конечным продуктом [14]. Достоинствами HAIT являются быстрое прототипирование, качественная визуализация процессов выделения памяти, простая отладка. Требуется доработка для повышения эффективности и уменьшения накладных расходов, которые могут достигать до 500%.

#### **Heap Hopper**

В работе [15] на примере решения Heap Hopper, основанного на фреймворке Angr, демонстрируется применение символьного выполнения программного кода для поиска уязвимостей переполнения буфера [16]. На каждом шаге выполнения программы создается объект класса SimState, в котором хранится состояние регистров и памяти программы в данный момент. Регистры и память могут иметь конкретное, либо символьное значение. Каждая символьная переменная представляется в виде класса BitVectorSymbol. Также существует возможность вручную пометить необходимые входные данные как символьные – это может быть символьная память, представляемая в виде класса SimSymbolicMemory, или символьный файл, представляемый классом SimFile.

При достижении инструкции условного перехода, добавляется ограничение на символьную переменную. При вызове оператора `malloc` с символьным параметром размера выделяемой памяти, создается чанк (англ. `chunk`) памяти с символьными метаданными. На каждом шаге в классе `SimState` сохраняется состояние кучи.

При анализе алгоритмов `Heap Hopper` было выяснено, что при вызове `malloc` с символьным параметром возвращается символьный адрес памяти. Символьные адреса сохраняются в поля `malloc_dict`, `free_dict` объекта класса `HeapConditionTracker`. После каждого вызова `malloc` производится проверка условий для разных типов уязвимостей, таких как `arbitrary write`, `overlapped allocations`, `non-heap address allocation`, `non-heap address free`, `double free` [17]. При выполнении `malloc` не учитывается внутреннее состояние кучи, представленное структурой `malloc_state` (состояние полей `bins`, `fastbins`, `bitmap`), что говорит о приближенном варианте модели кучи.

### **ArcHeap**

`ArcHeap` [18] – автоматический инструмент для обнаружения неисследованных техник эксплуатации кучи, независимо от их реализации. Для его работы необходимо описать параметры аллокатора памяти, а также задать возможные действия над кучей. Во время исследования `ArcHeap` проверяет, могут ли комбинации этих действий потенциально использоваться в качестве техник эксплуатации, таких как произвольная запись в память или перекрывающиеся чанки, и генерирует `PoC` (англ. `Proof of concept`) – доказательство осуществимости концепции, которое демонстрирует обнаруженную технику эксплуатации. В сравнении с `Heap Hopper` техника поиска уязвимостей в `ArcHeap` не позволяет проанализировать весь спектр их нежелательных эксплуатаций. В работе [18] авторы признают, что `ArcHeap` является “фундаментально неполным”.

### **Modelchecking Programs for Security properties (MOPS)**

`MOPS` [19] - верификатор моделей, извлечённых из кода программ, написанных на языке C. Требования корректности задаются в специальном виде и соответствуют утверждениям так называемого «защитного» программирования (англ. `defensive programming`). Верификатор содержит готовую базу таких утверждений, планируется написание графического пользовательского интерфейса.

Во время компиляции производится анализ всех возможных путей исполнения без учета условий. Собираются все возможные трассы. Из них выделяются важные для безопасности операторы. Имея контекстно-свободную грамматику языка C, программа представляется в виде автомата с магазинной памятью. Модель безопасности представляется в виде конечного автомата, принимающего последовательность операций безопасности. Последовательность операторов безопасности является «подходящей», если принимается на вход конечным автоматом и переводит его в «безопасное» состояние.

### **Предлагаемое решение**

Несмотря на достоинства существующих инструментов, нельзя считать работу по реализации верификатора для поиска уязвимостей аллокаторов памяти завершённой. Верификатор должен находить все возможные уязвимости, иметь низкие накладные расходы и не должен изменять код анализируемой программы. В настоящий момент инструмента, соответствующего таким требованиям, не существует.

В качестве решения предлагается осуществлять обнаружение уязвимостей, совмещая реальное исполнение программы с символьным исполнением. Динамическое символьное исполнение позволит применять техники исследования путей программы и, добавляя предикаты безопасности к ограничениям пути (англ. `path constraint`), проверять потенциально опасные операции на наличие реальных ошибок в программах.

Для построения более точного представления кучи (в сравнении с `Heap Hopper`) в процессе символьного выполнения предлагается работать напрямую со структурой `malloc_state`. Для каждого состояния символьного выполнения потребуется проверять возможность перезаписи `top` чанка или полей `prev_size`, `size`, `fd`, `bk` [20], возможность создания специального «подложного» чанка – участка памяти на стеке или куче, наличие

уязвимости double free, возможность высвобождения указателя по произвольному адресу (Arbitrary free).

Данный подход позволит выявить на стадии разработки ПО потенциальную возможность эксплуатации уязвимостей, вызванных ошибками работы с динамической памятью. С целью снижения накладных расходов вместо эмуляции планируется выполнение тестируемого приложения с использованием специального отладчика, находящегося в стадии разработки.

### **Заключение**

В работе рассмотрены существующие методы и средства обнаружения уязвимостей аллокаторов динамической памяти, их достоинства и недостатки. Предложен подход к поиску ошибок в аллокаторах памяти на основе динамического символьного выполнения, который предполагает устранение указанных недостатков. По завершении реализации данного подхода после проведения качественного и количественного сравнения с существующими решениями предложенный подход может быть применен для верификации других видов аллокаторов динамической памяти. В дальнейшем также планируется исследовать методы поиска ошибок в программах с интерактивным вводом.

### **Список литературы**

1. Андреев Ю.С., Дергачев А.М., Жаров Ф.А., Садырин Д.С. Информационная безопасность автоматизированных систем управления технологическими процессами // Известия высших учебных заведений. Приборостроение - 2019. - Т. 62. - № 4. - С. 331-339
2. Bhardwaj, M., Bawa, S. Fuzz testing in stack-based buffer overflow. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, 759, pp. 23-36
3. Mouzarani, M., Sadeghiyan, B., Zolfaghari, M. A. Smart Fuzzing Method for Detecting Heap-Based Buffer Overflow in Executable Codes. *Proceedings - 2015 IEEE 21st Pacific Rim International Symposium on Dependable*, 2016
4. Program analysis. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Program\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Program_analysis) (дата обращения 15.12.2019).
5. Кларк Э. М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ. *Model Checking*. М.: МЦНМО. 2002.
6. Karna, A.K., Chen, Y., Yu, H., Zhong, H., Zhao, J. The role of model checking in software engineering. *Frontiers of Computer Science*, 12 (4), 2018, pp. 642-668.
7. Dudina, I.A., Belevantsev, A.A. Using static symbolic execution to detect buffer overflows. *Programming and Computer Software*, 43 (5), 2017, pp. 277-288
8. Ebdet R., Fey G., Drechsler R. *Advanced BDD optimization*. Springer. 2005.
9. Jang, Y.-S., Choi, J.-Y. Automatic prevention of buffer overflow vulnerability using candidate code generation. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E101D (12), 2018 pp. 3005-3018
10. Dahn, C., Mancoridis, S. Using program transformation to secure C programs against buffer overflows. *Proceedings - Working Conference on Reverse Engineering, WCRE*, 2003-January.
11. Loding H., Peleska J. Symbolic and Abstract Interpretation for C/C++ Programs / *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 217, 2008. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1571066108003885>. (дата обращения 15.12.2019).
12. Common Weakness Enumeration. URL: <https://cwe.mitre.org/index.html>. (дата обращения 15.12.2019).
13. CCBMC Homepage. URL: <http://www.cs.cmu.edu/~modelcheck/cbmc/>, (дата обращения 15.12.2019)
14. Atzeni, A., Marcelli, A., Muroli, F., Squillero, G. HAIT: Heap analyzer with input tracing ICETE 2017 - *Proceedings of the 14th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications*, 4, 2017, pp. 327-334.
15. Eckert M, Bianchi A, Wang R, Shoshitaishvili Y, Kruegel C, Vigna G. Heap Hopper: Bringing Bounded Model Checking to Heap Implementation Security, *27th USENIX Security Symposium*, 2018

16. Dudina, I.A., Belevantsev, A.A. Using static symbolic execution to detect buffer overflows. *Programming and Computer Software*, 43 (5), 2017, pp. 277-288
17. A repository for learning various heap exploitation techniques [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/shellphish/how2heap> Яз. англ. (дата обращения 15.12.2019).
18. Automatic Techniques to Systematically Discover New Heap Exploitation Primitives. URL: <https://arxiv.org/pdf/1903.00503.pdf>. (дата обращения 15.12.2019).
19. MOPS: an Infrastructure for Examining Security Properties of Software. URL: <http://web.cs.iastate.edu/~hridesh/teaching/610/06/02/papers/mops-ccs02.pdf> (дата обращения 15.12.2019).
20. Understanding glibc malloc. URL: <https://sploitfun.wordpress.com/2015/02/10/understanding-glibc-malloc/comment-page-1/> (дата обращения 15.12.2019).

05.13.11

**М.С. Еремкина, Г.Д. Кожевников, И.А. Николаев, А.А. Пожидаев**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»,  
кафедра «Технология производства двигателей летательных аппаратов»,  
Москва, zg.kozhevnikov@gmail.com

### **СИСТЕМА ТРИБОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕТТИНГ-ИЗНАШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ**

*В работе рассматривается разработанное программное обеспечение для системы трибомониторинга и управления машиной трения для проведения испытаний образцов на фреттинг-изнашивание при возвратно-поступательном скольжении. Особенность системы заключается в одновременной регистрации мгновенных значений силы трения и перемещения, что позволяет определять энергию диссипации в контакте, а также режимы изнашивания трущихся тел.*

Ключевые слова: *фреттинг-износ, ПО, трибомониторинг.*

#### **1. Введение:**

Газотурбинные установки (ГТУ) широко применяются в различных областях: авиации, энергетике, судостроении и на транспорте. Из-за этого повышается значимость всех технико-экономических характеристик, определяющих надежность и ресурс ГТУ, которые в том числе определяются уровнем вибрационной напряженности двигателя. Вибрация, в ходе работы газотурбинных двигателей (ГТД), возникает из-за газодинамического возбуждения рабочих элементов в проточной части двигателя, дисбаланса вращающихся частей, возникающего в результате теплового расширения элементов конструкции и несовершенства технологического процесса сборки и т.д.

Исходя из данных [1,2], среди основных эксплуатационных дефектов в ГТД износ от фреттинга составляет до 60% от всех видов износа. Основываясь на условиях контакта (температуры, нагрузки, частоты, вибрации) принято выделять две группы деталей узлов трения. Первую группу составляют детали, находящиеся в неподвижном контакте и испытывающие небольшие (до 100 мкм) периодические относительные перемещения., такие как втулки с прессовой посадкой, заклепочные, резьбовые и болтовые соединения, замки лопаток и др. Ко второй группе относятся детали, которые находятся в покое лишь в течение некоторого времени и среди них подшипниковые опоры, зубчатые пары, золотниковые пары гидроагрегатов, шпоночные соединения и др. Исходя из данных [3], для первой группы деталей основными причинами снижения ресурса являются усталостные разрушения в результате фреттинга, для второй - схватывание и заедание пар трения.

Таким образом, для адекватной оценки стойкости различных материалов к фреттингу необходимо разрабатывать методы и оборудование моделирующие процессы, происходящие в зоне контакта при фреттинге, а также разрабатывать системы позволяющие всесторонне оценивать процессы разрушения. Поэтому целью данной работы является разработка программного обеспечения для исследования процесса фреттинг-изнашивания при возвратно-поступательном скольжении на лабораторной машине трения.

#### **2. Основная часть:**

Как говорилось ранее, фреттинг-изнашивание возникает при контакте поверхностей двух тел при малых амплитудах относительного перемещения (1-100 мкм). Такие условия в контакте могут являться причиной возникновения локального износа или появления усталостных трещин, которые могут значительно уменьшить предел выносливости материала [4].

В первую очередь, сложность изучения процесса фреттинга связана с изменением механизмов разрушения материалов в контакте при изменении условий фреттинга. В настоящее время, физическое моделирование и диагностика механизмов разрушения производится с помощью построения карт фреттинга, графические зависимости прикладываемой нагрузки от перемещения. [5-6]

**2.1 Описание схемы машины трения**

Для исследования механизма фреттинга использовалась лабораторная машина трения [7] (рисунок 1), в которой реализовалось относительное возвратно-поступательное скольжение образцов.

Она состоит из электромагнитного вибратора 7, который обеспечивает возвратно-поступательные перемещения одного из образцов. Системы нагружения в виде уравновешиваемого балансом 1 рычага 2, передающего в место контакта 5 нормальную нагрузку 4, которая регулируется грузами различной массы; и системы регистрации и контроля параметров эксперимента, которая включает; систему контроля: пьезоэлектрический датчик силы 6 ( $F_{max} = \pm 200Н$ ) и контроллер сигнала РСВ Piezotronic 482A22, лазерный датчик перемещения 3 Keyence LC2420 ( $D_{max} = \pm 250мкм$ ,  $\Delta = 0,01мкм$ ) с контроллером NI MyRIO;

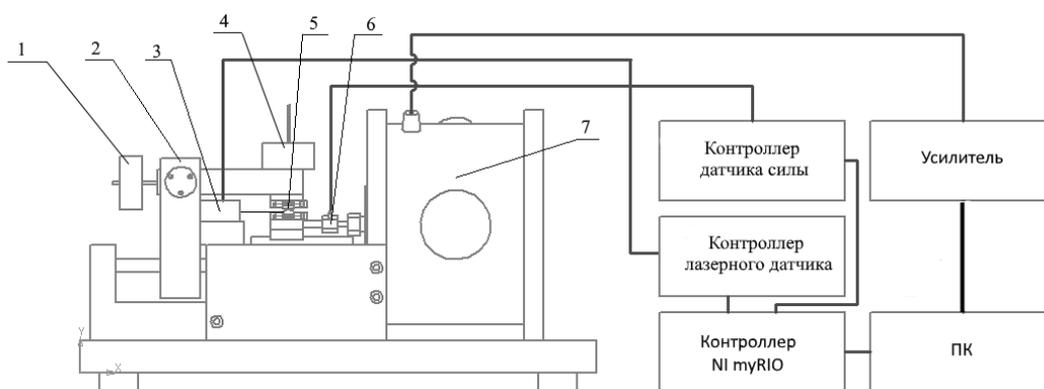


Рис. 1 – Схема машины трения

**2.2 Расчет переходных критериев фреттинга**

Для определения механизмов разрушения трущихся тел при фреттинге необходимо знать условия их взаимодействия. Видами взаимодействия трущихся тел могут быть:

- упругий механизм, при котором поверхности практически не разрушаются;
- упругопластический механизм, при котором происходит многоцикловое усталостное разрушение материала;
- механизм полного скольжения, сопровождающийся коррозионно-абразивным разрушением;
- также возможно появление смешанного режима, при котором происходит малоцикловое усталостное разрушение материала.

Определение механизма взаимодействия тел заключается в регистрации петель гистерезиса (рисунок 2) и расчете их энергетических показателей, через которые возможно определение режимов взаимодействия во время эксперимента.

Виды петель при увеличении амплитуды фреттинга (т.е. увеличение  $F_T$ ):

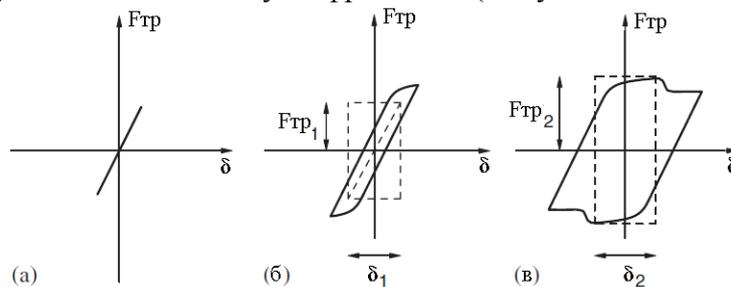


Рис. 2 – Петли гистерезиса

а – упругий механизм, б – упруго-пластичный механизм, в – полного скольжения

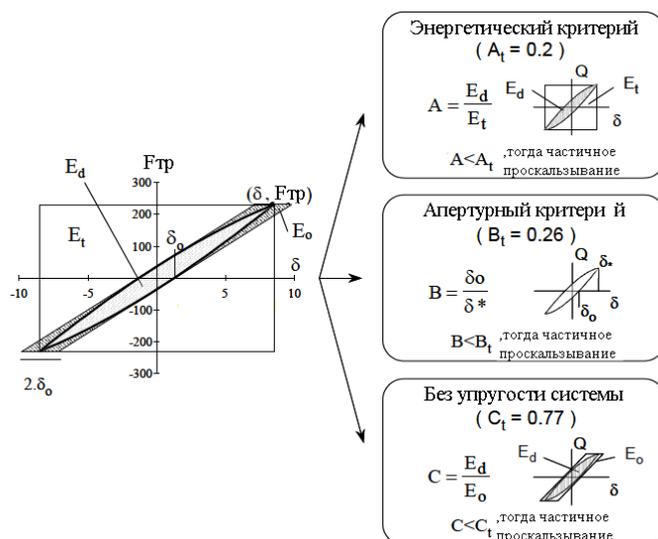


Рис. 3 – Критерии для определения перехода из режима частичного проскальзывания в режиме полного скольжения

### 2.3 Описание алгоритма расчета фреттинг-изнашивания

На рисунке 4 представлена упрощенная блок-схема расчета основных параметров фреттинг-изнашивания.

Первоначально, задаются параметры: тип контакта - сфера/плоскость или цилиндр/цилиндр;  $E_1, E_2$  - модуль упругости трущихся материалов;  $\nu_1, \nu_2$  - коэффициенты Пуассона;  $F_n$  - нормальная нагрузка;  $\xi$  - число осредняемых точек;  $D$  - относительное перемещение трущихся тел;  $f$  - частота перемещений;  $n$  - количество циклов;  $R_1, R_2$  - радиусы контактирующих тел;  $\Delta$  - доверительный интервал перемещения, где 1 – образец, 2 – контрообразец. Далее в контроллере NI myRIO формируется сигнал,  $U_{зад} = f(D)$ , который передается на электромагнитный вибратор, осуществляющий возвратно-поступательные движения, реализуя при этом процесс фреттинг-изнашивания. Данные процесса, считываются пьезоэлектрическим датчиком силы и лазерным датчиком перемещения, создавая сигналы  $U_1(F_{тi})$  и  $U_2(D_i)$ , и передают информацию обратно на контроллер NI myRIO, в котором происходит расчет основных параметров процесса фреттинг-изнашивания:

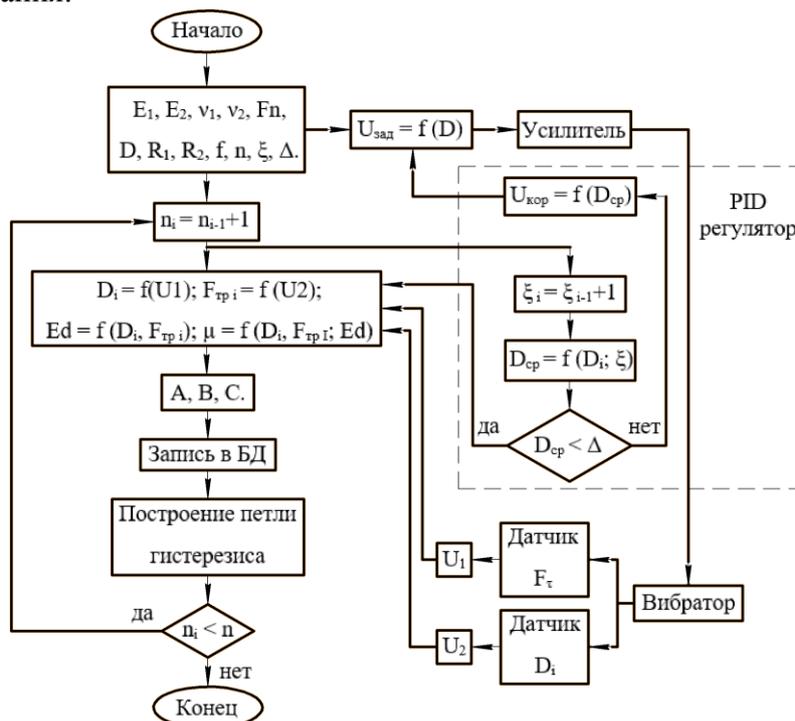


Рис. 4 – Блок-схема расчета основных параметров фреттинг-изнашивания.

Значения силы трения и перемещения регистрируются с датчиков силы и перемещения, установленных на лабораторной машине трения.

Расчет рассеянной энергии при трении:

$$Ed_i = \frac{(F_{\text{тр}i} - F_{\text{тр}i+1})(D_{i+1} - D_i)}{2}$$

где  $Ed_i$  – значение рассеянной энергии между ближайшими регистрируемыми параметрами силы трения и перемещения.

Расчет коэффициента трения:

$$\bar{\mu} = \frac{Ed}{4DFn},$$

или для дискретных значений:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{Ed_i}{4DiFn},$$

Полученные величины записываются в базу данных и строятся петли гистерезиса.

Расчет и запись значений трибологических параметров ведутся непрерывно до момента окончания эксперимента при достижении количества циклов, значения заданного в начале эксперимента. Корректировка перемещения процесса фреттинг-изнашивания производится с помощью PID-регулятора.

Разработанное программное обеспечение может быть использовано для адекватной оценки стойкости различных материалов к фреттинг-изнашиванию, а также все стороны оценивать и моделировать процессы разрушения на реальных объектах.

#### Список литературы

1. Ключников И.П., Крюков М.А., Восстановление ответственных деталей и узлов ГТД методами высокотемпературной пайки и сварки // Материалы 3-й Всероссийской практической конференции- выставки «Технология ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций». СПб, Изд-во СПбГТУ, 2001. - С.73-78
2. Елисеев Ю.С. и др. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей / Ю.С. Елисеев, В.В. Крылов, К.А. Малиновский, В.Г. Попов. - М.: Высшая школа, 2002. -355 с.
3. Горюнов В.Н., Гринберг П., Тарасов Е.Е., Полеценко К.Н. Влияние поверхностной модификации на фреттингостойкость материалов энергоустановок и газотурбинных двигателей // Вестник Омского университета, 2012. №2. - С.241-244.
4. Гаркунов Д.Н. Триботехника: Учебник для студентов вузов. - 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1989. - 328с.
5. Odfalk M., Vingsbo O., An elastic-plastic model for fretting contact//Wear, 1992. V. 157. – pp. 435-444
6. Zhou Z.R., Fayeulle S., Vincent L., Cracking behavior of various aluminum alloys during fretting wear //Wear, 1992. №155. - pp. 317-330
7. Лесневский Л.Н., Ляховецкий М.А., Савушкина С.В. Фреттинг-износ композиционного керамического покрытия, полученного методом микродугового оксидирования на алюминиевом сплаве Д16. // Трение и износ, Том 37, №3, 2016. – С.345-351.

05.13.11

<sup>1</sup>А.О. Ступин, <sup>1</sup>Ю.В. Фомина, <sup>1</sup>Е.Л. Вайтекунене канд. техн. наук,  
<sup>2</sup>С.Н. Ежеманская канд. техн. наук

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева,  
инженерно-экономический институт,  
кафедра информационных экономических систем,  
<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет,  
институт управления бизнес-процессами и экономики,  
кафедра экономики и информационных технологий менеджмента,  
Красноярск, lost2338@mail.ru

### **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛА БОЛЕЗНИ ЛЕСОВ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТА ANYLOGIC**

*В статье рассматривается цикл болезней деревьев или период заражения их насекомыми, анализируются исследования специалистов. В процессе моделирования, с помощью инструмента Anylogic, используются методы ситуационного моделирования. В результате, с помощью программы Anylogic University, создается модель и график визуализации модели процесса.*

Ключевые слова: *имитационное моделирование, лесные экосистемы, AnyLogic, автоматизация.*

Глобальное воздействие климата и антропогенное воздействие на ландшафтную территорию, появление ГЭС (Саяно-Шушенская, Богучанская) и высотных сооружений меняют розу ветров [1], от чего меняется климат и состав биоты на территории Красноярск и Красноярского края. Экология окружающего пространства подвержена пагубному влиянию промышленности. Леса, в свою очередь, являются очистителями воздуха, поглощая углекислый газ и выделяя кислород, а растения также предпочитают постоянное наличие света, что не всегда является возможным из-за загрязнений в слоях атмосферы. Деревья могут заболеть, быть испорчены вредителями, а впоследствии чахнуть и погибать. Актуальность темы выражается в необходимости существенного увеличения площади и повышения качества российских лесов за счет создания условий для естественного возобновления леса и усиления искусственного лесовосстановления [2], для чего необходимо прогнозирование.

Исходя из актуальности, целью статьи является создание модели болезни лесов на основе научных данных. Для этого используется средство имитационного моделирования AnyLogic версии 8.3.3. В результате работы создается модель заражения и учета лечебного эффекта. Важными избираются факторы времени, скорость заражения и лечения, количество испытываемых деревьев.

На территории России находятся запасы 1/4 части мирового запаса древесины. Основную долю лесообразующую составляют хвойные деревья, которые располагаются в Сибири. Сибирские леса - одни из самых больших в мире, их площадь составляет 3 900 000 км<sup>2</sup>. Деревья поддерживают экологию в окрестностях городов, фильтруют воздушные массы.

В этой работе рассматривается сибирский шелкопряд, который особо выделяется в ряду хвое-листогрызущих вредителей. Насекомые для выживания питаются жизненной силой деревьев, которая через время иссякает, что приводит к гибели деревьев от чахлости. Площади ежегодно действующих в России очагов насекомых вредителей и болезней составляют в среднем 2,5-3,0 млн. га. Почти 70 % этой площади приходится на сибирского шелкопряда [3].

По статистике на 2018 год зона поражения шелкопрядом по Красноярскому краю составила 1200000 гектаров, а увеличение численности шелкопряда возросло в 118 раз. Каждый год распространение эпидемии разрастается на 150-200 км от прошлогоднего очага, что по теоретическим данным будет уже поражено около 4 миллионов гектаров леса, если не обрабатывать старые и новые участки. Очень теплые зимы способствуют раннему размножению насекомого и появлению гусениц, которые и питаются хвойными деревьями, а зимой выдерживают до -50 градусов мороза и не погибают. По мнению А.В. Селиховкина, [4] вопросы влияния сибирского шелкопряда на биосферу требуют отдельного обсуждения, но именно в специфических экосистемах роль насекомых-дендрофагов будет возрастать. Они могут являться существенным фактором эволюции антропогенных биоценозов, оказывать влияние на будущий облик биосферы.

Для борьбы с шелкопрядом используют опыления территорий с воздуха. Для победы над насекомыми с вероятностью 95% требуется 40 л. химического средства КЛОНРИН на 1 ГА земли, период защитного действия составляет 3-4 недели. Механизм действия Клотиаинидин подавляет активность ацетилхолинэстеразы, блокирует передачу нервного импульса. Зета – циперметрин действует на нервную систему насекомых, нарушает проницаемость клеточных мембран, блокирует натриевые каналы.

Теперь из всех вышеописанных фактов о лесной эпидемии создадим ее модель с помощью программы AnyLogic University. За начальные данные были взяты:

Total Population = 240000000 деревьев (из расчета наличия на 1гектар земли 200 хвойных деревьев).

Contact rate infection - распространение личинок на ближайшие территории в день = 0,05

Infectivity - вероятность распространения шелкопряда = 0,7

Average Incubation Time - время инкубационного периода шелкопряда = 30 дней.

Average Illness Direction – длительность инкубационного периода периода дерева (для вероятности заражения соседних деревьев) = 20 дней.

Время исчисления модели выбираем в днях. Создаем накопители для наших данных под названиями (Susceptible, Exposed, Infectious и Recovered). Между накопителями создаем потоки данных с описанием действий между накопителями.

Susceptible – Восприимчивые к заражению деревья, которые еще не были заражены.

Exposed – Деревья, находящиеся в латентной стадия заражения (они уже заражены, но еще не могут заражать других).

Infectious – Деревья в активной стадии заражения (они могут заражать другие деревья).

Recovered – Излечившиеся деревья.

После создания связей с их описанием создаются параметры элементов с указанием их значения. По итогу получаем следующую модель (рисунок 1).

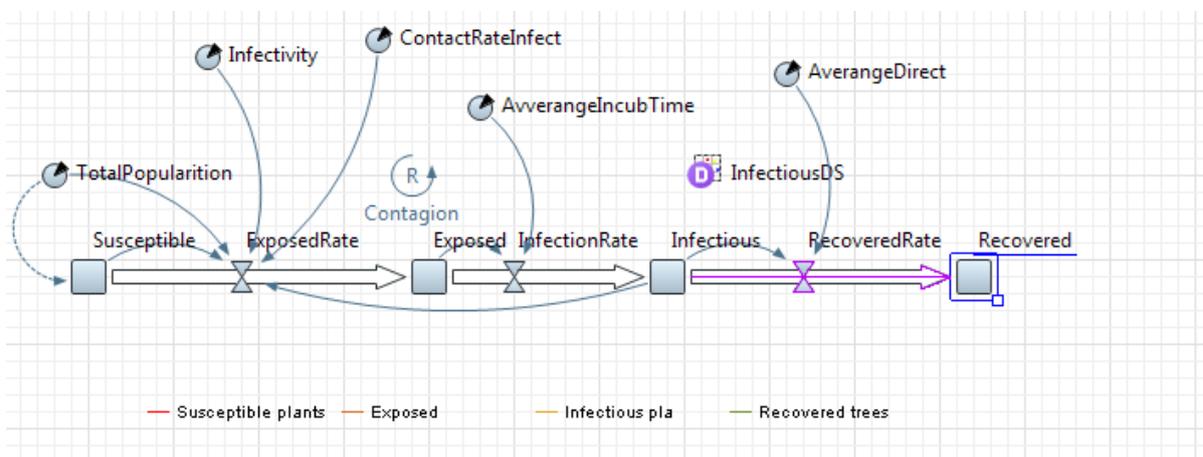


Рис. 1 - Модель заражения и излечения леса от паразитов

Для наглядного отображения создается график визуализации модели процесса (рис. 2).

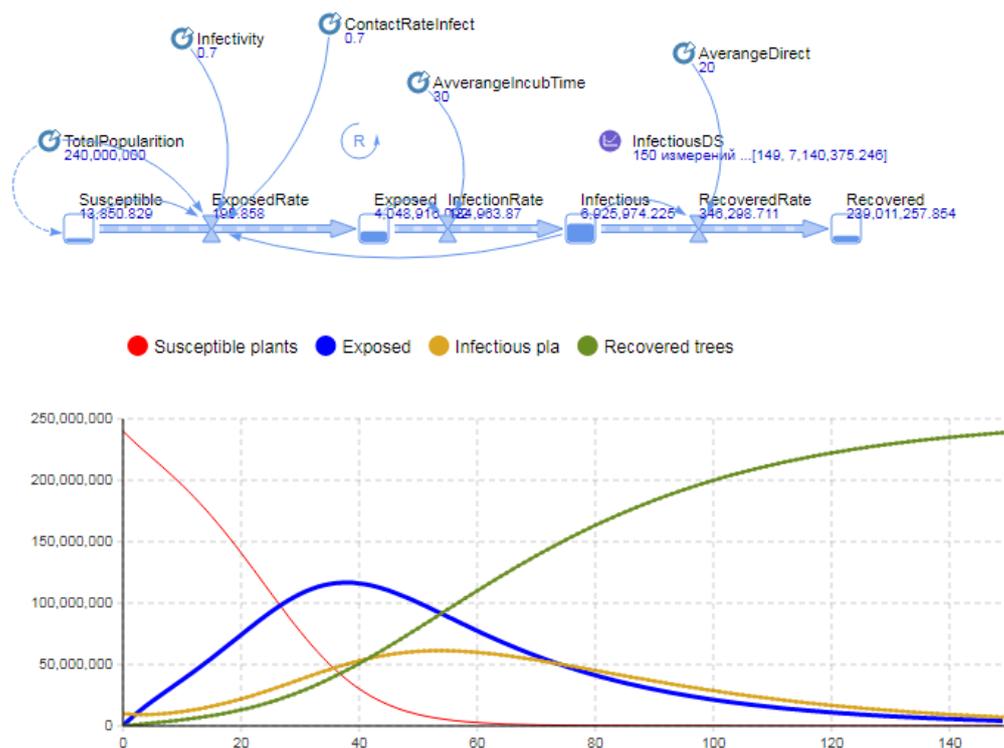


Рис. 2 - Взаимодействие между накопителями, а также их графики по оси X обозначены кол-ва дней, по оси Y кол-во деревьев

Основой прогнозирования вспышек численности может служить мониторинг существующих очагов и математическое моделирование процессов с учетом соответствующих погодных условий и специфики биологии вида.

Исходя из полученного графика зависимостей, можно сделать вывод о том, что в следующем сезоне обработанная территория перестанет распространять новые эпидемии увеличения численности насекомых. Данный цикл укладывается в 150 дней, т. е. время максимальной жизнедеятельности сибирского шелкопряда. Используемая модель может быть применен и для будущих расчетов в прогнозированиях других явлений и результатов.

#### **Список литературы**

1. Сарченко В.И., Михайлюта С.В., Хиревич С.А. Влияние жилой застройки на ветровые потоки в городе Красноярске. Региональные рынки потребительских товаров: качество, экологичность, ответственность бизнеса/ Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. под общ. ред. Ю.Ю. Суловой// 2019. – с. 63-68
2. Пыжжев А.И., Ваганов Е.А. Роль российских лесов в реализации Парижского климатического соглашения: возможности или риски? //ЭКО. – 2019. – №. 11. – С. 27-44. doi: 10.30680/ЕСО0131-7652-2019-11-27-44
3. Леонтьев Д.Ф. Распространение и прогнозирование численности сибирского шелкопряда (научный обзор) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11-5. – с. 705-709; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7867> (дата обращения: 15.01.2020)
4. Селиховкин А.В. Могут ли вспышки массового размножения насекомых-дендрофагов оказать существенное влияние на состояние биосферы // Биосфера. – 2009. – Т. 1. – №1. – с. 72-81

05.13.11

Ю.А. Ушаков канд. техн. наук, М.В. Ушакова, А.Л. Коннов канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,  
факультет математики и информационных технологий,  
кафедра геометрии и компьютерных наук,  
Оренбург, andrey\_konnov@mail.ru

**МАРШРУТИЗАЦИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ  
ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ  
НА ОСНОВЕ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА**

Работа направлена на изучение особенностей упрощенной реализации стека протоколов, эффективности маршрутизации и производительности в режиме транзитной передачи данных устройств, с приоритетом на максимально долгое время работы от аккумуляторов.

Ключевые слова: самоорганизующиеся сети, программно-конфигурируемые сети, маршрутизация.

В настоящее время создание сетей с большим количеством активного промежуточного оборудования связано с трудностями настройки при использовании маршрутизации. Отдельного внимания заслуживают самоорганизующиеся частично-связанные сети. Несмотря на существенные различия этих сетей, все они требуют альтернативных подходов к маршрутизации [1]. Исторически используемые протоколы для MESH сетей в условиях произвольной топологии используют реактивный принцип маршрутизации по запросу. Программно-конфигурируемые сети требуют наличие контроллера, в котором будет происходить расчет маршрутов и взаимодействие с узлами. Протоколы децентрализованной реактивной маршрутизации работают по принципу запроса маршрута. Основной сложностью всех этих протоколов является то, что они ориентированы на дальнейшее использование IP протокола (IPv4/IPv6), что увеличивает сложность реализации.

При включении любого устройства или сервиса в сеть, требуется указать ему способ достижения других узлов или сервисов и предоставить канал передачи. Большинство способов заключается в использовании существующего стека TCP/IP и предоставлении протоколу IP и маршрутизирующим устройствам прав на самостоятельный поиск маршрута назначения. При этом требуется знать адрес получателя и его протокол и порт, шлюз для достижения получателя, адрес второго уровня для достижения шлюза (рис. 1).

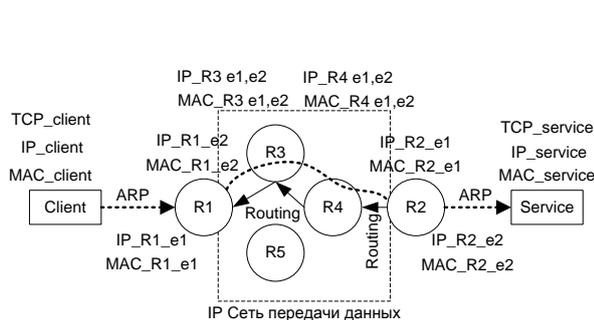


Рис. 1 – Схема работы IP сервисов

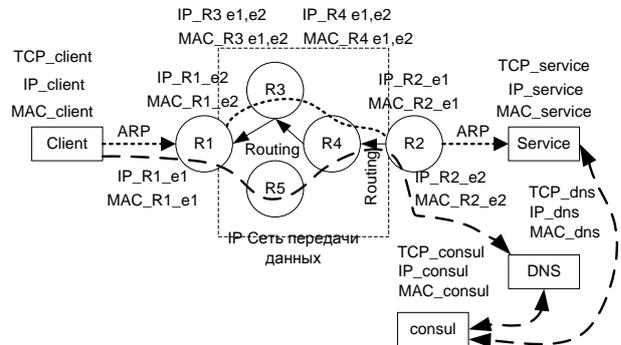


Рис. 2 – Обнаружение IP сервисов

Большое количество отдельных сетей для каждого интерфейса маршрутизатора, информация для маршрутизации, постоянная переинкапсуляция и замена L2 адресов, наличие неэффективных протоколов для соединения L2 и L3 адресов, требуют больших ресурсов на поддержание инфраструктуры. Если клиент не знает, где располагается сервис, то требуется обнаружить его через классические протоколы DNS A/AAAA, DNS SRV, DNS

RR, через сервисы обнаружения, такие как etcd, consul, zookeeper, через ручную настройку или скачивание конфигурации с заранее определенных ресурсов [2].

Поэтому модель усложняется несколькими посторонними сервисами обнаружения, которые должны осуществлять мониторинг работоспособности сервисов и балансировщиков, а также поддерживать инфраструктуру сервисов обнаружения (рис. 2).

Протоколы типа В.А.Т.М.А.Н. позволяют несколько упростить эту модель за счет обнаружения соседей и маршрутизации только на уровне L2. Но для большинства сервисов все равно нужны IP адреса и порты транспортного уровня, а также информация об этих данных сервиса для клиента (рис. 3).

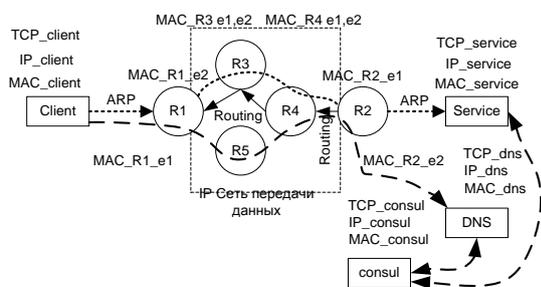


Рис. 3 – Обнаружение сервисов без IP

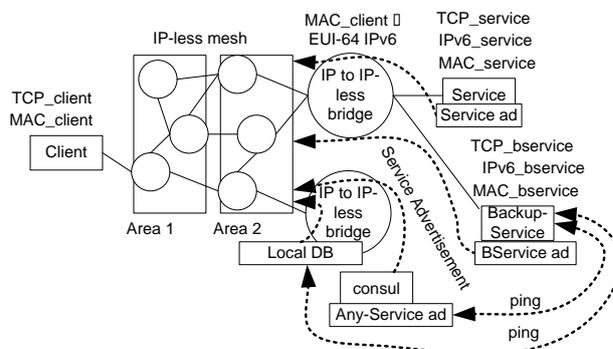


Рис. 4 – Обнаружение сервисов без адреса

Требуется разработать решение, которое бы позволяло не вносить излишние накладные расходы и эффективно работало бы в условиях меняющейся топологии в виртуальных инфраструктурах NFV и беспроводных MESH. Наиболее актуальным это было бы для интернета-вещей IoT. Решение основано на удалении уровня IP из самоорганизующейся сети и присутствии его только в шлюзах до IP сети (рис. 4). В числе особенностей также стоит отметить наличие механизма самоорганизации в группы по принципу ближайшего соседства, обмен сообщениями в режиме точка-точка, а не широковещательными, отражение внешних IPv6 адресов во внутренние узлы на основе физического адреса. Главной особенностью является переход от парадигмы маршрутизации по адресам или каналам к маршрутизации по сервисам.

Сервисы самостоятельно или через системы обнаружения (consul) поставляют информацию о себе в виде поддерживаемого протокола, который используется в IP сети шлюза (UPnP, SSDP, Zeroconf, mDNS). Если внешняя сеть непосредственно подключена только к провайдеру Интернет и все сервисы находятся в Интернет, возникает необходимость формирования списка сервисов на шлюзах вручную.

За счет небольшого усложнения шлюзов достигается значительное упрощение работы клиента и гибкость сети. Информация о сервисах распространяется в сети по запросу о доступе конкретным клиентам. Кроме того, возможна реализация Anycast технологии.

Каждый сервис должен обладать типом, о котором должно знать клиентское ПО, и идентификатором, который может быть как пустым, так и содержать имя удаленного сервера (api.mqtt-service.com). Шлюзы могут как брать информацию аутентификации от клиентов, так и заменять ее на требуемую для конкретных сервисов. Клиент обращается к сервису по имени и идентификатору.

Подобные решения существуют в виде 6LoWPAN/Thread Edge router, многопротокольных шлюзов, но обращение к сервису, как к части инфраструктуры, которая автоматически найдет ближайший путь и может предоставить любой из найденных сервисов, не встречается в сетях без поддержки IP.

Отказ от IP ведет к необходимости маршрутизации по MAC адресам или по синтетическим признакам. В ZigBee используются как таблицы физических адресов соседей, так и зоны для их группировки и балансировки, наложенные сети VXLAN используют как протоколы распространения информации о MAC, так и внешнее программно-конфигурируемое управление.

Использование программного управления и таблиц коммутации на основе внешних признаков отмечалось гибкостью первых протоколов MESH, но в то же время сложностью как для реализации, так и для поддержки. Принцип проактивной маршрутизации, при котором маршруты заполняются заранее, хорошо зарекомендовал себя в статических сетях, также как и реактивный принцип – в быстроменяющихся динамических сетях. Основной проблемой остается большое количество информации, требуемой для маршрутизации.

Предлагается реализовать маршрутизацию по принципам Link-state, при этом узлы должны объединяться в группы, каждая из которых будет иметь идентификатор. Объединение в группы должно осуществляться по признакам максимальной силы/качества/скорости сигнала до соседа и одинакового диапазона Hop-count до ближайшего шлюза.

В проводных сетях понятие «сосед» однозначно, а в беспроводных сетях возможно множество вариантов из-за того, что на разном уровне порога чувствительности связность между узлами будет разная. Например, при RSSI threshold=79dBm будут напрямую доступны только ближайшие соседи с наивысшим уровнем сигнала, а при -82 dBm – уже и соседи соседей, при -85dBm такая сеть станет полносвязной. При этом гистерезис чувствительности в большинстве случаев установлен в 6dBm и делает рамки обнаружения соседа несколько размытыми (рис. 5).

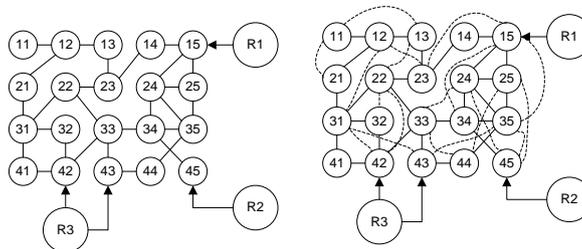


Рис. 5 – Связность на разных уровнях RSSI threshold: слева 79dBm; справа -82 dBm.

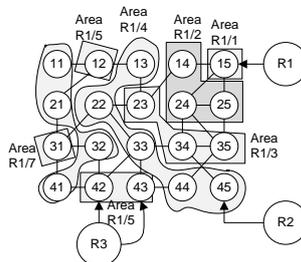


Рис. 6 – Разделение на зоны по принципу Hop-count для конкретного шлюза для R1

Задача разделения на зоны с одинаковым Hop-count для каждого шлюза нужна для маршрутизации по имени шлюза, а не по адресу (рис. 6,7).

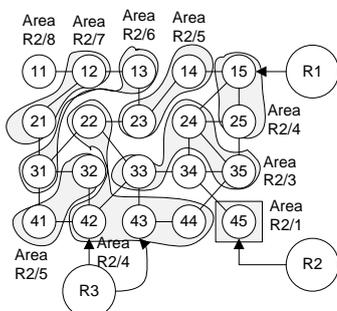


Рис. 7 – Разделение на зоны до конкретного шлюза для R2

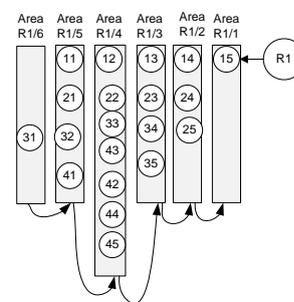


Рис. 8 – Прямой путь к маршрутизатору

В результате маршрутизация сводится к списку зон в порядке убывания, каждый узел должен иметь хотя бы один путь в соседнюю зону, иначе он будет недоступен. Такая

концепция существенно упрощает доставку пакетов от узлов к маршрутизатору по принципу маршрута по умолчанию, только для нескольких направлений. Направлением может служить как шлюз, так и сервис, путь к которому обслуживается шлюзом (рис. 8). Обратный путь основывается или на кэше пути по принципу TCAM таблицы коммутации, или на знании зоны, а уже внутри предыдущей для получателя зоны будет произведен запрос на конкретное местоположение и связность конечного узла (рис. 9).

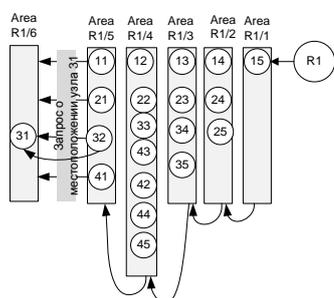


Рис. 9 – Обратный путь к устройству

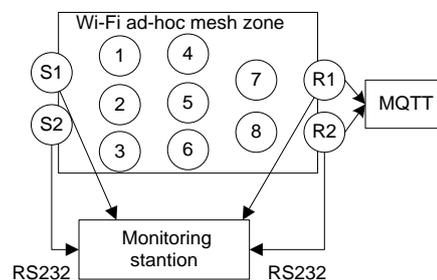


Рис. 10 – Схема стенда

Для достижения шлюза необходимо передавать пакеты на следующую зону с  $\text{Hop\_count}-1$ , но конкретный узел внутри зоны может быть выбран исходя из других признаков – загрузка, задержка, сила сигнала, пропускная способность, остаток аккумуляторного питания, расписание включения и выключения. Данный механизм похож на алгоритм Беллмана-Форда, но имеет преимущества в виде разделения по уровням и отсутствия колец между уровнями, а также в более оперативной реакции на изменения.

Если обратный маршрут в случае такого подхода к маршрутизации еще не был построен при прямом прохождении запроса, то требуется рассылка с запросом местоположения узла. Для этого используется аналог широковещательного запроса, когда каждый узел рассылает запрос только по своему нижестоящему дереву. При этом могут возникнуть несколько параллельных маршрутов, что в данном случае является только преимуществом.

Структурная модель представлена в виде ориентированного мультиграфа  $G = (V, L)$ , где  $V$  – множество вершин, представляющих собой сетевые устройства, клиенты IoT.  $L$  – множество беспроводных сетевых связей между вершинами. Каждая дуга инцидента двум вершинам выходит из некоторого сетевого интерфейса первой вершины и входит в сетевой интерфейс второй. Между вершинами-устройствами возможно наличие нескольких параллельных дуг. Каждая вершина имеет веса, характеризующие статические и динамические параметры устройств, включая тип устройства, протокол, относительную производительность, актуальную версию расписания (для центральных точек доступа) и т.п. Беспроводные сетевые связи характеризуются используемым стандартом беспроводной передачи соответствующих интерфейсов, номером канала, текущей пропускной способностью, текущей задержкой пакета в очереди устройства, уровнем RSSI и RSSI threshold. Каждый беспроводной интерфейс также характеризуется текущей потребляемой мощностью.

Для апробации выбран протокол Wi-Fi IEEE802.11g/n в качестве физического и канального уровней, для реализации сетевого уровня выбран фреймворк `rainlessMesh` для IoT устройств ESP. Он не имеет встроенных механизмов маршрутизации, обнаружения сервисов и прочего – он только обеспечивает Ad-Нос связность для заданного уровня RSSI threshold и обнаружение соседей. Рассылка реализована как последовательная передача данных всем зарегистрированным соседям, соседи далее одного уровня связности не видны. При адаптивной установке уровня RSSI threshold, например как в [3], постоянно будет изменяться наполнение зон узлами, поэтому выбран механизм подстройки по верхней границе чувствительности, при которой соседние узлы не мешают друг другу при обнаружении CCA.

В работе реализован алгоритм маршрутизации на основе алгоритма Беллмана-Форда с дополнительным полем «зона» и ограничениями рассылки только в другие зоны. Первичная рассылка доступна от шлюзов и сервисов, информацию достижимости которых и собирают узлы. Конечные узлы должны заявлять себя как внутренние сервисы, только если требуется постоянная прямая связь с ними. Отдельно формируется таблица обратных маршрутов до запрашивающих сервисы узлов.

Весь функционал реализован в виде нескольких библиотек для фреймворка и использует доработанный модуль библиотеки ESP для программной настройки параметра «conf.threshold.rssi». Маршрутизация использует память для хранения сведений о направлении на сервис и на клиента, причем существует таймаут удаления информации. Хранится только список сервисов, которые может достичь точка через соседний уровень. Отдельно реализована возможность обнаружения маршрутов внутри уровня, но исследования стабильности и сходимости еще не проводились.

Шлюз должен принимать сведения о сервисах через внешние протоколы или от внутренней службы обнаружения. Эти сведения должны распространяться по сети по принципу многоадресного запроса/ответа при максимальной экономии ресурсов или рассылки при наилучшей производительности.

Сделано две реализации шлюза – на одном из узлов и на базе роутера. Шлюз на базе роутера с OpenWRT и модуля на python позволяет использовать стандартный UPnP и имеет возможность использования «nc» и «wget» для проверки доступности сервисов, которые были добавлены вручную. Шлюз на базе узла реализован на основе слияния стандартных модулей rainlessMesh Bridge и mqttBridge. Первый используется для одновременной работы в сети Wi-Fi и внутренней сети, второй – как основа шлюза для сервисов. Поскольку узел имеет существенные ресурсные ограничения, список сервисов поставляется с внешнего сервера JSON массивом. Информация о сервисах передается на ближайшие узлы в виде структуры, содержащей идентификатор роутера (MAC), тип сервиса в виде строки, идентификатор сервиса в виде строки.

Для эксперимента были использованы 8 устройств esp8266-nodemcu с прошивкой rainless mesh и модулями маршрутизации, два шлюза в IP сеть на базе TP-Link 1043ND с прошивкой OpenWRT и модулем маршрутизации (рис. 10). В качестве датчиков были использованы устройства ESP32 с датчиками температуры, влажности и освещенности. Для эксперимента предполагалось, что батарейное питание есть только у датчиков, остальные питаются от сети. Оба датчика будут просыпаться один раз в 1 и 2 минуты соответственно, считывать показания и передавать на MQTT сервер.

Эксперимент проводился в течении суток. При этом измерялись задержки от момента включения модуля Wi-Fi до получения подтверждения со шлюза о приемке пакета. В алгоритме маршрутизации механизм кеширования был ограничен 30 секундами. Станция мониторинга получала данные о событиях с конечных точек маршрутизации через последовательный порт. Маршрутизаторы будут случайным образом перезагружаться около 5 раз каждый.

Задержка распространения маршрута представлена на рис.11. В некотором количестве случаев было попадание в кеш. Высокая задержка маршрутизации была при попадании события маршрутизации на перезагрузку маршрутизатора и повторную прокладку пути. Скорость передачи информации для MQTT была от 20 до 70 Кбит/с.

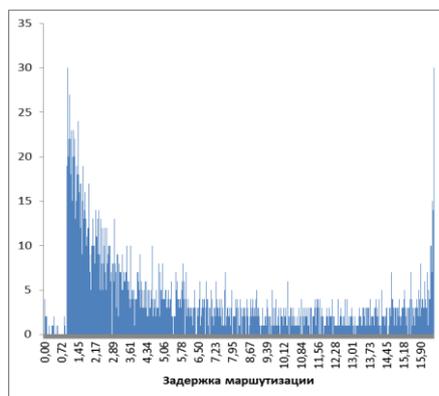


Рис. 11 – Распределение задержки маршрутизации

Было выявлено, что многопротокольные устройства могут работать более эффективно, поддерживая необходимую производительность сети передачи данных.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научных проектов №18-37-00485 и №16-29-09639.*

#### **Список литературы**

1. *Винокуров В.М., Пуговкин А.В., Пшенников А.А., Ушарова Д.Н., Филатов А.С.* Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях. Управление, вычислительная техника и информатика. Доклады ТУСУРа, № 2 (22), часть 1. 2010. Режим доступа: <http://old.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2010-2-1/288.pdf> (Дата обращения: 15.12.2019).
2. *Syed Mushhad M. Gilani, Tang Hong, Wenqiang Jin, Guofeng Zhao, H. Meng Heang, Chuan Xu.* Mobility management in IEEE 802.11 WLAN using SDN/NFV technologies. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2017. Режим доступа: <http://paperity.org/p/79485813/mobility-management-in-ieee-802-11-wlan-using-sdn-nfv-technologies> (Дата обращения: 15.12.2019).
3. *Mardini, W., Khamayseh, Y., Almodawar, A.A. et al.* Adaptive RSSI-based localization scheme for wireless sensor networks. Peer-to-Peer Networking and Applications (2016) 9:991. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12083-015-0370-y> (Дата обращения: 15.12.2019).

05.13.11

**<sup>1</sup>Е.О. Ямашкина, <sup>2</sup>С.А. Ямашкин канд. техн. наук, <sup>3</sup>С.М. Коваленко**<sup>1</sup>Московский технологический университет (МИРЭА)

Москва, eoladanova@yandex.ru,

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева»,

Саранск, yamashkinsa@mail.ru,

<sup>3</sup>Российский технологический университет (МИРЭА),

Москва, kovalenko@mirea.ru

## **ТЕСТИРОВАНИЕ И ВЫБОР ГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

*В данной статье рассматриваются особенности конфигурации рабочей станции, используемой для машинного обучения с целью анализа пространственных данных. В ходе работы проведено тестирование нейронной сети с применением технологии Nvidia CUDA на различных графических процессорах. На основе тестов приводятся рекомендации по выбору графического процессора для машинного обучения.*

Ключевые слова: *машинное обучение, нейронные сети, графический процессор, конфигурация, инфраструктура пространственных данных, пространственные данные.*

В условиях динамичного развития цифровой экономики России инфраструктуры пространственных данных (ИПД) играют ключевую роль в решении фундаментальной научной проблемы поиска средств эффективного анализа, систематизации и использования больших объемов разнородных пространственных данных, их визуализации и распространения для поддержки принятия управленческих решений в области оптимизации функционирования территориальных систем [1]. Подсистема анализа больших пространственных данных цифровой ИПД используется для исследования и актуализации накопленной информации с целью принятия управленческих решений в рамках проектных задач.

Решение проблемы повышения точности и быстродействия методического, алгоритмического и программного обеспечения процесса анализа пространственных данных и прогнозирования пространственно-временных процессов возможно посредством разработки и использования новых алгоритмов глубокого машинного анализа для комплексной интерпретации данных ДЗЗ, цифровых синтетических ландшафтных карт и вспомогательной пространственно-временной информации с целью осуществления высокоточного автоматизированного мониторинга состояния эколого-социально-экономических систем и прогнозирования природно-техногенных чрезвычайных ситуаций. Важное влияние на ресурсоемкость выполнения операций анализа пространственных данных оказывает мощность аппаратного обеспечения.

Для ускорения обучения нейронных сетей при анализе пространственных данных целесообразно использование параллельной обработки данных. Такие вычисления проводятся на персональном компьютере, который имеет достаточно производительный графический процессор (GPU). В отличие от вычислений на центральном процессоре (CPU), GPU имеют более быструю память и высокую пропускную способность, что существенно влияет на время обработки данных и дает прирост производительности в десятки раз.

Для обучения нейронных сетей с помощью графического процессора эффективно применять технологию Nvidia CUDA. На сегодняшний день графические процессоры от компании Nvidia являются самыми производительными, также существует большой выбор GPU в зависимости от параметров, влияющих на производительность.

Основные характеристики GPU, которые являются значимыми для эффективности машинного обучения:

1) Пропускная способность памяти – способность GPU обрабатывать большие объемы данных.

2) Мощность обработки – показывает, насколько быстро графический процессор может обрабатывать данные. Данный показатель вычисляется как количество ядер CUDA, умноженное на тактовую частоту каждого ядра.

3) Размер видеопамати – объем данных, который может одновременно находиться в GPU.

Также при выборе конфигурации персонального компьютера (ПК) необходимо учитывать и другие характеристики: рекомендуется использовать в качестве накопителя SSD, оперативной памяти требуется не менее 2 GB. Для вычислений подходят современные центральные процессоры (CPU) среднего класса производительности.

Так как графический процессор является самым значимым элементом в конфигурации ПК для обучения нейронных сетей, для определения лучших вариантов было проведено тестирование. На вход нейронной сети подавались изображения, для обработки которых использовалась открытая программная библиотека TensorFlow (version 1.15).

Также для тестирования было установлено программное обеспечение Nvidia CUDA (version 10.0) и библиотека cuDNN v.7.5. Тестирование нейронной сети проводилось в двух режимах – без обучения (inference) и с обучением (training). Финальное значение определяется как сумма результатов, полученных в данных режимах. На рисунке 1 приведен тест производительности различных графических процессоров, результат вычислений определяется как количество изображений, обработанных в секунду (images/sec).

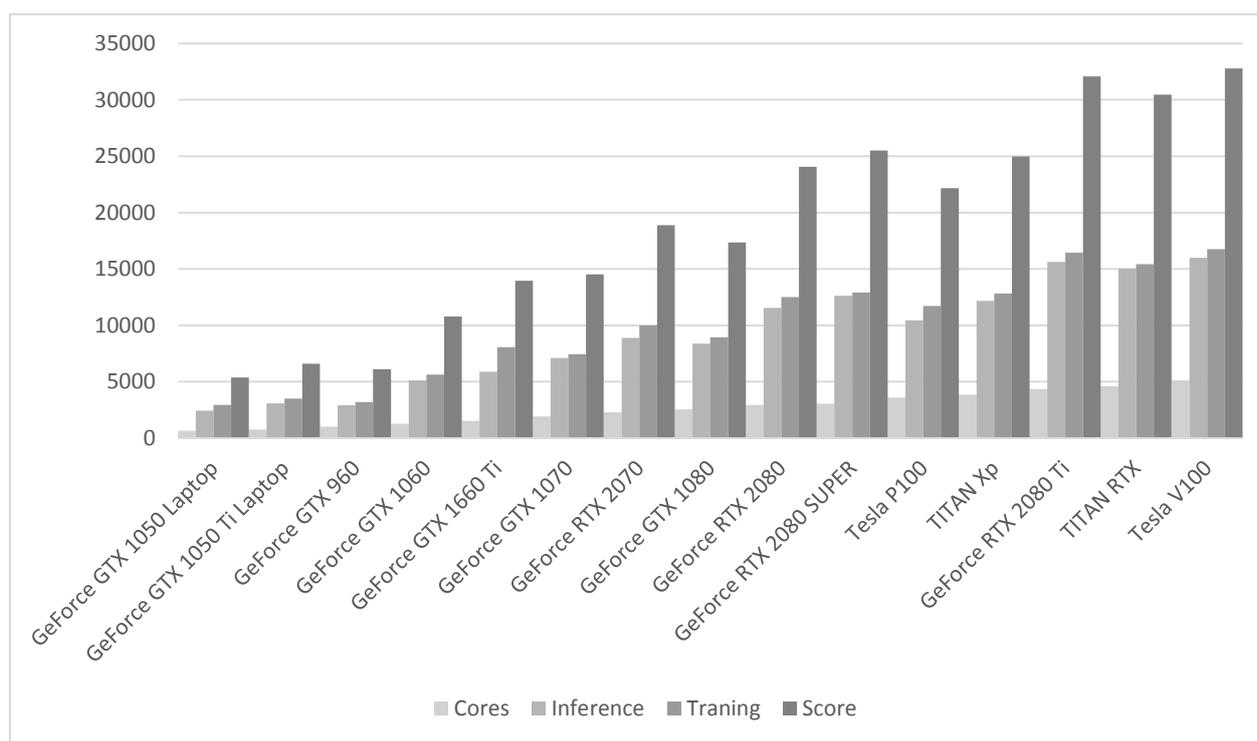


Рис. 1 – тестирование производительности нейронной сети на различных графических процессорах

Модели GPU расположены в порядке увеличения количества ядер CUDA, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – количество ядер CUDA для моделей тестируемых GPU

Модель GPU	Количество ядер CUDA	Режим без обучения	Режим обучения	Общий результат
GeForce GTX 1050 Laptop	640	2429	2944	5373
GeForce GTX 1050 Ti Laptop	768	3076	3522	6598
GeForce GTX 960	1024	2926	3203	6129
GeForce GTX 1060	1280	5138	5642	10780
GeForce GTX 1660 Ti	1536	5900	8059	13959
GeForce GTX 1070	1920	7097	7439	14536
GeForce RTX 2070	2304	8893	9992	18885
GeForce GTX 1080	2560	8391	8954	17345
GeForce RTX 2080	2944	11540	12527	24067
GeForce RTX 2080 SUPER	3072	12617	12897	25514
Tesla P100	3584	10446	11716	22163
TITAN Xp	3840	12162	12813	24975
GeForce RTX 2080 Ti	4352	15628	16439	32067
TITAN RTX	4608	15033	15420	30453
Tesla V100	5120	16004	16770	32774

Лучший результат показали графические процессоры RTX 1080 Ti и Tesla V100. Количество тензорных ядер данных GPU равно 4352 и 5120 соответственно. Параметры графических процессор прямо пропорционально определяют их ценовой диапазон, поэтому для выбора оптимального решения, необходимо определить спектр задач, для которого будет использоваться GPU. Так, для простых вычислений можно использовать персональный компьютер без графического процессора, в первой половине тестируемых GPU находятся модели, которые справятся с современным игровым ПО, но не подойдут для глубокого машинного обучения. Таким образом, начальным вариантом для работы с нейронными сетями является графический процессор Nvidia GTX 1080. Если вычисления являются масштабными, в таком случае могут потребоваться несколько GPU. В ближайшем будущем для данных задач будут доступны совершенно новые технологии, такие как TPU от Google, использующая процессорные блоки Tensorflow, результат работы с которыми будет превышать скорость работы на GPU, что обеспечит еще более быстрое и эффективное обучение нейронных сетей с целью глубокого машинного анализа больших объемов пространственных данных.

#### **Благодарности.**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70055.*

#### **Список литературы**

1. Ямашкин, А.А. Разработка проектно-ориентированной инфраструктуры пространственных данных с применением облачных технологий / А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин, С. А. Федосин // Радиопромышленность. – 2019. – № 3. – С. 79-90.
2. NVIDIA CUDA Programming Guide Version 2.3.1 // NVIDIA – World Leader in Visual Computing Technologies. 2011. URL: [http://www.nvidia.com/object/cuda\\_develop.html](http://www.nvidia.com/object/cuda_develop.html) (дата обращения: 22.12.2019)

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)**

05.13.18

**В.В. Андреев д-р техн. наук, М.М. Африн**

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е.Алексеева,  
институт ядерной энергетики и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова,  
кафедра ЯРиЭУ,  
Нижний Новгород, afrin96@mail.com

**ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ РАСЧЕТНЫХ КОДОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙ С  
ОТКАЗОМ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БЫСТРЫМ  
РЕАКТОРАМ С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ**

*В работе представлен краткий обзор расчетных кодов, используемых для моделирования аварийных ситуаций на АЭС. В данном исследовании в качестве объекта моделирования расчетными программами были выбраны два типа аварий UTOP и ULOF. Моделирование указанных аварий позволит качественно оценить возможности программных продуктов, представленных за рубежом. В качестве реакторной установки был выбран быстрый реактор с натриевым теплоносителем.*

*Ключевые слова: расчетные коды, моделирование аварий, быстрые реакторы, аварии типа UTOP, аварии типа ULOF.*

На международном форуме GENERATION IV [1] были определены наиболее перспективные пути развития реакторных установок, удовлетворяющих современным требованиям безопасности, экономичности и менеджменту отходов. Быстрые реакторы с натриевым теплоносителем были выделены как одни из наиболее перспективных, ввиду апробированности, которая продемонстрировала состоятельность данной концепции.

Современные требования к безопасности в части аварий с повреждением активной зоны привели к созданию множества расчетных кодов, моделирующих процессы, происходящие в активной зоне в ходе таких аварий.

Целью данной работы является обзор характеристик зарубежных расчетных кодов, моделирующих аварии на быстрых реакторах с натриевым теплоносителем, подразумевающих несанкционированный ввод реактивности (UTOP - The Unprotected Transient OverPower) и аварии с потерей напора насосов первого контура (ULOF - The Unprotected Loss of Flow). Особенностью сценария данных аварий является наличие отказа систем аварийной защиты, что может привести к повреждению активной зоны и выбросу радиоактивных веществ за пределы атомной станции.

**Модульный программный комплекс DSNP.** Расчетный код модульного исполнения DSNP (The Dynamic Simulator for Nuclear Power Plants) [2] является модульным расчетным кодом. Модульное исполнение обеспечивает гибкость моделирования. Отдельные модули позволяют моделировать теплогидравлику основных и вспомогательных контуров циркуляции жидкометаллического теплоносителя, паровой контур, элементы системы управления реактором, нейтронно-физические процессы. После ввода основных параметров с указанием необходимых модулей (библиотек) происходит компиляция файла на языке FORTRAN, который содержит исходные данные заданной модели. Код позволяет описывать стационарные и динамические режимы работы реакторов на быстрых нейтронах.

DSNP был валидирован [3] на экспериментальных данных, полученных в ходе теста SHRT-45R [4], проведенного на реакторе EBR-II с натриевым теплоносителем мощностью 62.5 МВт. В ходе теста были отключены насосы основного и промежуточного контуров

охлаждения, а так же, система аварийной защиты реактора. Целью теста SHRT-45R была проверка выхода на уровень остаточных тепловыделений с помощью пассивной защиты, основанной на эффектах реактивности и отвода тепла от активной зоны в режиме естественной циркуляции. Сравнение экспериментальных данных, полученных в ходе моделирования кодом DSNP и полученных непосредственно с установки, показало достаточно хорошую сходимость.

В дальнейшем было выполнено еще несколько validations и cross-верификаций на тестах типа SHRT.

**Семейство кодов SAS.** Семейство расчетных кодов SAS [5] включает в себя следующие коды: SAS4A, SASSYS-1, SAS-SFR, SAS-3D.

Краткое описание каждого из перечисленных выше кодов группы SAS:

SAS4A – моделирует кипение теплоносителя и перемещение расплава топлива вплоть до момента разрушения ТВС;

SASSYS-1 – необходим для анализа и обоснования проектных и запроектных пределов.

SAS-SFR – является модифицированной версией SAS4A, созданной для расчетов установок с MOX-топливом;

SAS3D – предназначен для расчетов в R-Z геометрии.

Коды SAS позволяют описывать стационарные и динамические режимы работы установок, включая аварийные режимы до разрушения ТВС. Программа моделирует все контуры, элементы и основные системы атомной станции. Теплогидравлика задается в одномерном приближении.

В зарубежной практике наибольшее распространение получила связка кодов SAS4A/SASSYS-1 с последующей передачей исходных данных коду SIMMER-III/ SIMMER-IV для корректного моделирования перемещения кориума по активной зоне в результате разрушения чехла ТВС.

Верификация расчетных кодов происходила на данных, полученных при эксплуатации реактора ЕВ-II в ходе тестов SHRT (SHRT-45R). Согласно отчету, представленному в [6], код демонстрирует хорошую согласованность данных в зоне больших расходов, однако присутствуют некоторые расхождения в зоне низких расходов. Средняя температура на выходе и входе зоны моделируются корректно, однако температура в промежуточном теплообменнике отличается от экспериментальных данных. Кривая мощности от времени совпадает с экспериментальной.

Верификация отдельных модулей была проведена на серии экспериментов TREAT.

**Семейство кодов SIMMER.** Семейство кодов SIMMER (Sn Implicit Multifield Multicomponent Eulerian Recriticality) [7] – совместный международный проект. Расчетный код изначально предназначался для моделирования второй фазы тяжелой аварии (перемещение расплава по активной зоне), однако последние модификации позволяют использовать данный код и для моделирования начальной фазы.

SIMMER является Эйлеровым 2-D(SIMMER-III)/3-D(SIMMER-IV) многоскоростным, многокомпонентным и многофазным гидродинамическим кодом. Мульти-скоростная модель позволяет рассчитывать многофазные потоки. Модуль нейтронной физики ERANOS использует метод дискретных ординат ( $S_n$ -метод) для решения уравнения Больцмана. Программное средство может быть использовано для моделирования реакторов с разным спектром нейтронов.

Ввиду комплексности расчетного кода и сложности проведения тестов, верифицирующих сразу несколько явлений, моделируемых модулями кода, процесс верификации [8] был разбит на несколько фаз, при этом, каждая фаза включала в себя несколько тестов на каждую категорию задач кода. Например, категория 3 включала в себя тесты, связанные с взаимодействием жидкого теплоносителя с топливом, в свою очередь этот раздел подразумевал несколько тестов, выполненных для отдельных явлений, к примеру, попадание и взаимодействие расплава алюминия с натрием (тест THINA) или взаимодействие большого количества расплава топлива с теплоносителем (тест FARO-LWR L06 – для взаимодействия

с водой, тест FARO-TERMOS T1- для взаимодействия с натрием). В ходе различных тестов программное средство показало удовлетворительное согласование с экспериментальными данными.

В результате обзорного исследования были описаны характеристики наиболее подходящих для моделирования аварий типа UTOP и ULOF были рассмотрены зарубежные расчетные коды и выделены 3 наиболее подходящих для расчетных исследований этих аварий. Все представленные в работе коды имеют модульную схему, прошли верификацию с использованием экспериментальных данных и способны моделировать теплогидравлические и нейтронно-физические процессы, происходящие в ходе данных аварий применительно к быстрым реакторам с натриевым теплоносителем. Однако, можно отдельно выделить семейство кодов SIMMER как программный продукт способный к моделированию процессов, происходящих при разрушении активной зоны (перемещение расплавов, взаимодействие натрия с расплавом), так же, данный код прошел множественные валидации, что позволяет говорить о адекватности моделирования этим кодом физических процессов.

#### **Список литературы**

1. Электронный ресурс: GIF (2009), R&D Outlook for Generation IV Nuclear Energy Systems [www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/201310/gif\\_rd\\_outlook\\_for\\_generation\\_iv\\_nuclear\\_energy\\_systems\\_2013-09-30\\_15-49-21\\_599.pdf](http://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/201310/gif_rd_outlook_for_generation_iv_nuclear_energy_systems_2013-09-30_15-49-21_599.pdf)
2. *Saphier D.*, «The DSNP User Manual, Dynamic Simulator for Nuclear Power Plants, Vol. II», Rev. 4.3, RASG-112–85, Soreq Nuclear Research Center, Yavne (1990).
3. *Lehto W.K., Dean E.M., Larson H.A., Koenig J.F.*, «Experimental Breeder Reactor-II Dynamic Modeling and Code Verification» Trans. Am. Nucl. Soc. 44 (1983).
4. *Dean E.M., Kenedy J.F.*, «Simulation of LMFBR Pump Transients and Comparison to LOF that occurred at EBR-II» International topical meeting on fast reactor safety, Knoxville, Tennessee (1985)
5. *Tentner A., Kang S., Karahan A.* «Advances in the development of the SAS4A code metallic fuel models for the analysis of PGSFR postulated severe accidents», International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles (FR-17), Yekaterinburg, Russian Federation, June, (2017)
6. *Sumner T. and Moisseytsev A.*, «Simulations of the EBR-II Tests SHRT-17 and SHRT-45R», Argonne National Laboratory, January 1, (2015).
7. *Kondo Sa, Yamano H., Tobita Y., Fujita S., Morita K., Mizuno M., Hosono S., Kondo T.*, «SIMMER-IV, A Three-Dimensional Computer Program for LMFR Core Disruptive Accident Analysis», JNC TN9400 2001-003 (2000)
8. *Morita K., Matsumoto T., Akasaka R., Fukuda K., Suzuki T., Tobita Y., Yamano H., Kondo S.*, «Development of multicomponent vaporization/condensation model for a reactor safety analysis code SIMMER-III: theoretical modeling and basic verification», Nucl. Eng. Des., 220, 224 (2003).

05.13.18

**В.Ю. Артамонов, Н.В. Дубов, П.С. Зубков, Н.А. Кулаев**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,  
Институт электроники и светотехники,  
кафедра электроники и электротехники,  
Саранск, chembaroval@mail.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Приведены результаты моделирования встраиваемого фильтра тока для светодиодных ламп с неидеальной питающей сетью. Выполнены расчеты параметров и обоснованы принципы работы фильтра. Произведено исследование фильтра тока для светодиодных ламп на подавление высших гармоник.

Ключевые слова: Светодиодная лампа, система фильтрации, электрическая сеть, помехи, электромагнитная совместимость, PSIM.

Существует необходимость использовать качественную бытовую сеть, которая не оказывать пагубных воздействий. К сожалению, гармоники тока, создаваемые нелинейными нагрузками, могут представлять собой серьезные проблемы для систем электропитания.

С введением в России Федерального закона от 23.11.2009. № 261-ФЗ (ред. от 18.07.2011) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который стимулирует потребителей к применению энергосберегающих технологий и устройств с нелинейными вольт-амперными характеристиками, проблема качества электроэнергии в сетях общего назначения продолжает усложняться. В современных электроосветительных сетях все больше используются энергоэкономичные световые приборы, к которым, прежде всего, относятся светодиодные лампы. Для распределительных сетей они служат нелинейной нагрузкой [1].

Использование встраиваемой системы фильтрации, рисунок 1, решит проблему электромагнитной совместимости, тем самым не только увеличит срок службы светодиодной лампы за счет более качественного питания, но и исключит возможность искажения сети паразитными гармониками [2].

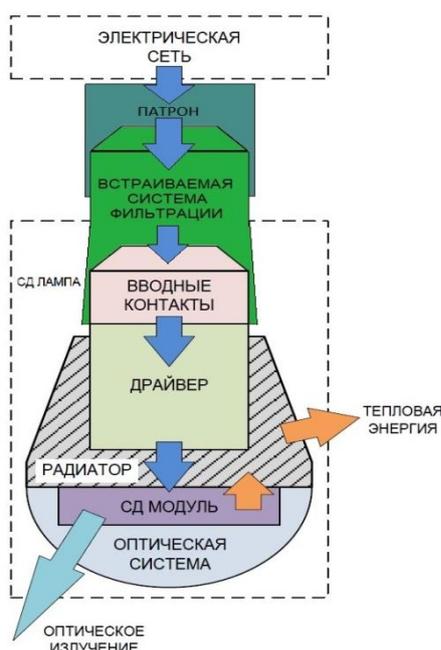


Рис. 1 – Структурная схема светодиодной лампы со встроенной системой фильтрации

Уменьшение пагубных влияний паразитных гармоник на драйвер светодиодной лампы получится достичь с помощью пассивного фильтра, который обладает свойством двунаправленного помехоподавления, то есть предотвращает проникновение высокочастотных импульсных помех как из сети в драйвер лампы, так и наоборот – из драйвера в сеть [3]. Электромагнитные помехи, создаваемые драйвером, подразделяются на два типа: симметричная и синфазная.

Фильтр тока для светодиодной лампы со встроенным дросселем и двумя конденсаторами для подавления симметричной помехи, которые шунтируют шину питания, представлены на рисунке 2.

Конденсатор C1 представляет собой очень большое сопротивление для питающего тока сетевой частоты, а для импульсного высокочастотного тока этот конденсатор имеет очень малое сопротивление и поэтому большая часть тока помехи замыкается через него.

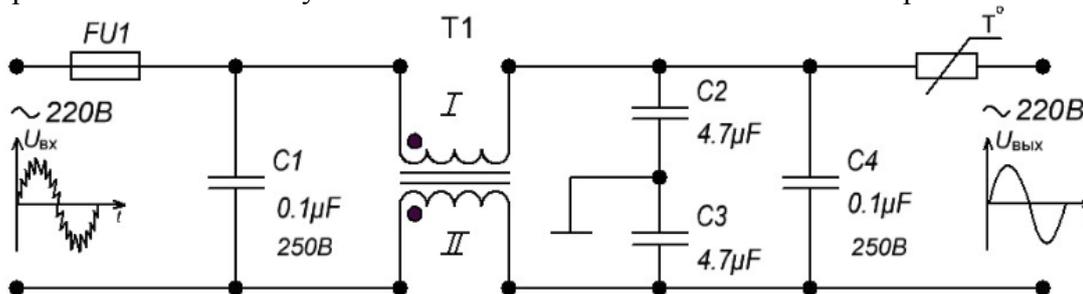


Рис. 2 – Схема пассивного фильтра тока для светодиодной лампы

Так же включается двухобмоточный дроссель T1, обмотки которого имеют одинаковое число витков и намотаны на одном сердечнике согласно. Из этого следует, что полезный ток сетевой частоты, протекающий по обмоткам I и II в противоположных направлениях, будет создавать в сердечнике T1 два равных встречно-направленных магнитных потока, взаимно компенсирующих друг друга. Конденсатор C4 фильтрует помехи, создаваемые диодным мостом.

Так же следует учесть, что выпрямителем в драйвере светодиодной лампы выступает диодный мост, с подключенным конденсатором, поэтому в сеть необходимо включить термистор. Этот элемент имеет сопротивление порядка нескольких Ом во время заряда конденсатора и, следовательно, ограничивает импульсный ток через диодный мост [4].

Для расчета терморезистора выбираем по закону Ома минимальное сопротивление при температуре в 25 °С по формуле 1.

$$R = 1,414 \times \frac{V_{вх}}{I_{max}}, \quad (1)$$

где  $V_{вх}$  - входное переменное напряжение,  $I_{max}$  - максимальный ток диодного моста.

Далее определяется максимальная энергия, которую должен поглотить терморезистор в момент включения по формуле 2.

$$E = C \times \frac{U^2}{2}, \quad (2)$$

где C - емкость входного конденсатора, U – выпрямленное напряжение, которое находится по формуле 3.

$$U_{выпр} = \sqrt{2} \times U_{вх}. \quad (3)$$

Исследования работы фильтра тока для светодиодной лампы проводилась на имитационной модели в программе PSIM, рисунок 3 [5].

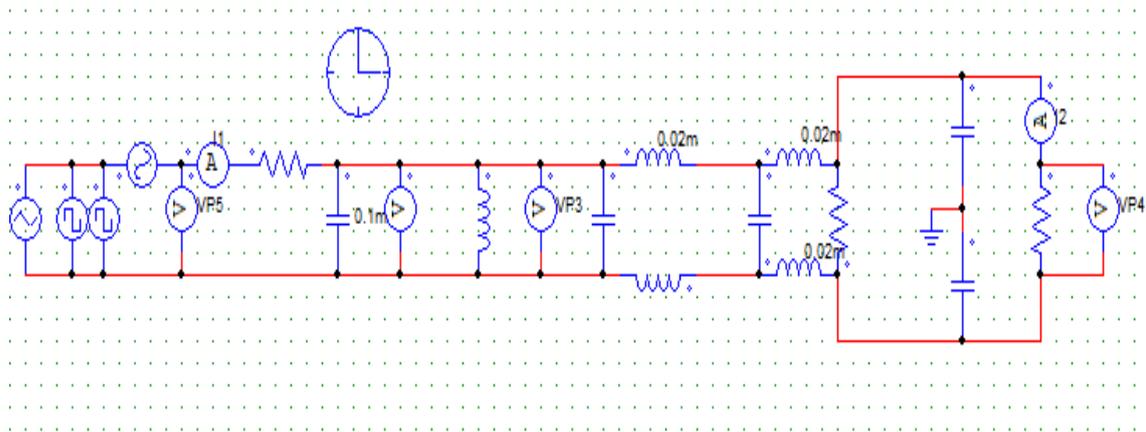


Рис. 3 – Модель фильтра тока для светодиодной лампы в среде моделирования PSIM

Слева на схеме смоделирован источник тока с искажениями, который эмитирует неидеальную питающую сеть. В результате моделирования на рисунке 4 а видно, что фильтр тока для светодиодной лампы мощностью 60 ватт подавляет колебания входного тока, тем самым на драйвер приходит выходной ток с коэффициентом нелинейных искажений (THD) равный 1,17%, рисунок 4 б, что является допустимым по ГОСТу IEC 61000-3-2-2017.

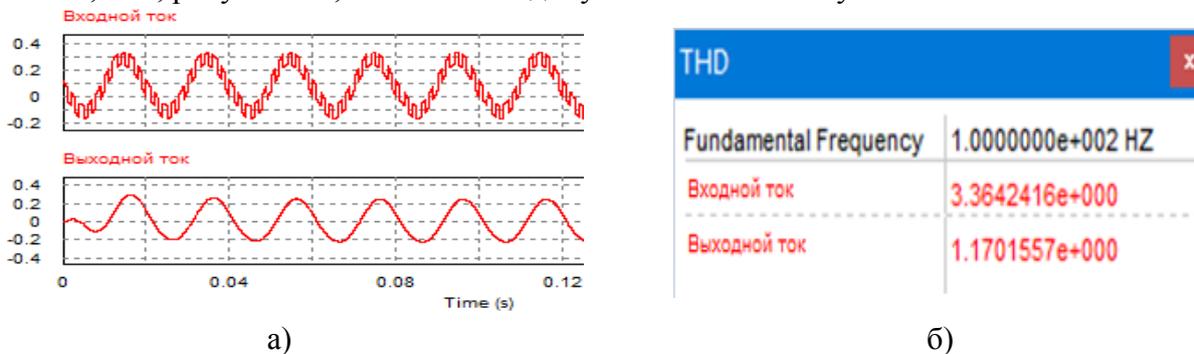


Рис. 4 – Графики входного и выходного тока до и после использования фильтра (а), THD до и после использования фильтра (б)

Произведено исследование фильтра тока для светодиодных ламп на подавление высших гармоник, кратной основной частоты питания 50 Гц с помощью ряда Фурье, рисунок 5.

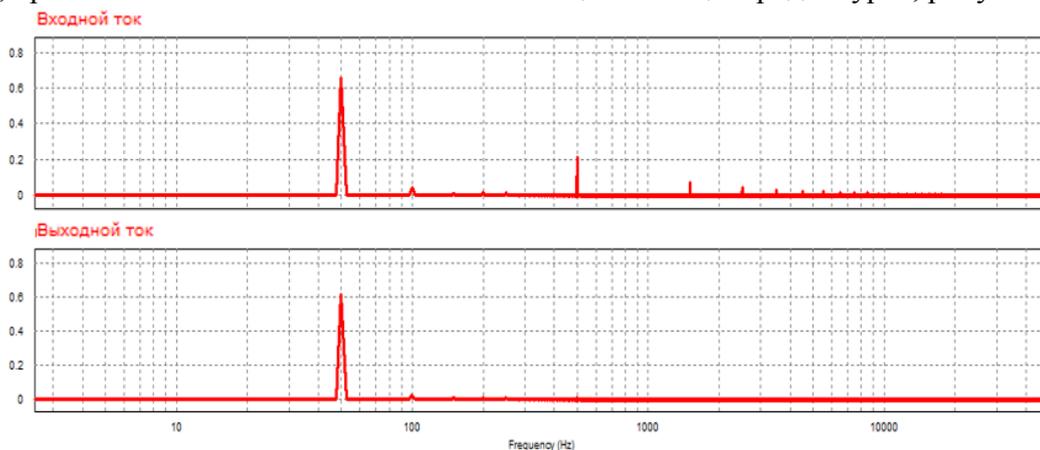


Рис. 5 – Графики высших гармоник тока до и после использования фильтра

На графике видно, что высшие гармоники тока с фильтром для светодиодных ламп успешно подавляются вплоть до 10 кГц.

Полученные результаты показывают, что встраиваемый фильтр тока для светодиодных ламп успешно устраняет искажения неидеальной питающей сети и обеспечивает электромагнитную совместимость, тем самым не только способен увеличить срок службы светодиодной лампы за счет более качественной сети приходящей на драйвер, но и предотвращает попадание колебаний в сеть генерируемых самой лампой.

**Список литературы**

1. *Ошурков И.А.* К вопросу о пульсациях выходного напряжения (тока) драйверов для светодиодного освещения / И.А. Ошурков, А.В. Лукин // Практическая силовая электроника. –2012. –№ 4. –С. 2-5
2. *Николаев Д.* Электромагнитная совместимость светодиодных светильников: соблюдать или не соблюдать? / Д. Николаев // Полупроводниковая светотехника. –2009. –№ 2. – С. 32-33.
3. *Боярская, Н.П.* Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения: монография / Н. П. Боярская, В. П. Довгун, Д. Э. Егоров. – Красноярск: СФУ, 2014. –192 с.
4. *Вагин Г.Я.* Исследование высших гармоник тока, генерируемых энергосберегающими источниками света / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов, Е.Б. Солнцев, П.В. Терентьев, А.С. Шевченко // Промышленная энергетика. –2014. –№ 6. –С. 51-55.6.
5. *Сидоренко В.Н.* Системно-динамическое моделирование в среде POWERSIM: Справочник по интерфейсу и функциям. – М.: МАКС-ПРЕСС, 2001. – 159 с.

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

## **СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

*В статье рассматривается возможность применения статистического анализа данных временных рядов для контроля выходных параметров натриевых ламп высокого давления. В качестве метода статистического анализа применен критерий Уилкоксона.*

Ключевые слова: *анализ, контроль, статистические методы, архивные данные.*

Важную роль в обеспечении качества продукции играют статистические методы. Целью методов статистического контроля является исключение случайных изменений качества продукции. Такие изменения вызваны конкретными причинами, которые необходимо установить и устранить.

В настоящее время эти методы используются не только в производстве, но и при планировании, проектировании, маркетинге, поставке материалов и техники и т. д.

При анализе дискретных переменных большая часть статистического анализа в научных исследованиях, включает анализ непрерывных переменных, которые могут принимать бесконечный диапазон значений. Как и с дискретными переменными, статистический анализ непрерывных переменных требует применения специализированных тестов. В общем, эти тесты сравнивают средства двух (или более) наборов данных, чтобы определить, существенно ли отличаются наборы данных друг от друга. Например, в статистике есть четыре ситуации, в которых мы можем сравнить средства двух или более наборов данных. Каждая ситуация требует отдельного статистического теста в зависимости от того, являются ли данные нормальными или они не распределяются по среднему значению.

1. Когда мы хотим сравнить наблюдаемое среднее значение набора данных со стандартным или нормальным значением, мы используем тест гипотезы или тест знака.

2. Когда мы хотим определить, изменилось ли среднее значение в одной группе или уместен однократный, парный t-критерий или критерий Уилкоксона.

3. Когда мы оцениваем средние значения для двух разных групп, мы используем двойную выборку, непарный t-критерий или критерий суммы рангов Уилкоксона.

4. Когда требуется многократное сравнение, чтобы определить, как одна группа отличается от нескольких других, мы используем дисперсионный анализ (ANOVA).

Как уже отмечалось, алгоритм контроля параметров ламп основывается на анализе параметров временных рядов, генерируемых системой контроля и заключается в сглаживании временного ряда, построении моделей временного ряда, определении параметров этих моделей, установлении допусков (доверительных интервалов) для определяемых параметров моделей, допусковый контроль. Разработанный алгоритм контроля параметров натриевых ламп высокого давления включает в себя оперативный и долговременный контроль. Оперативный контроль осуществляется непосредственно на испытательном стенде по результатам измерений. Долговременный контроль производится по историческим трендам, полученным со станции архивирования.

Полученные параметры подвергаем допусковому контролю с границами поля допуска, равного  $[+b -b]$ , где  $b$  среднеквадратичное отклонение.

В таблице В1, приведённой ниже, представлены порядковые номера контролируемых объектов, при которых происходил выход параметров за границы поля допуска.

Таблица В1 – Порядковые номера контролируемых объектов

<b>U</b>	<b>I</b>	<b>G</b>	<b>k</b>	<b>b</b>	<b>sko</b>
2	2	2	2	2	2
5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	-
8	8	8	8	8	-
12	12	12	12	12	-
15	-	-	-	-	-
17	17	17	17	17	17
20	20	20	20	20	-
-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	27
28	28	28	28	28	28
-	-	-	-	-	29
-	-	-	-	-	30
31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	33
33	33	33	33	33	34
38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39
-	-	-	-	-	41

Анализ данных таблицы показывает, что практически для контроля достаточно использовать один параметр, а именно напряжение на лампе.

Практика контроля по данному параметру показала недостаточную достоверность результатов контроля. С целью повышения достоверности контроля было предложено проверку статистической гипотезы – относятся ли измеряемые значения падения напряжения двух рядов ламп, установленных на испытательном стенде, к одной и той же генеральной совокупности.

$$T_1 + T_2 = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

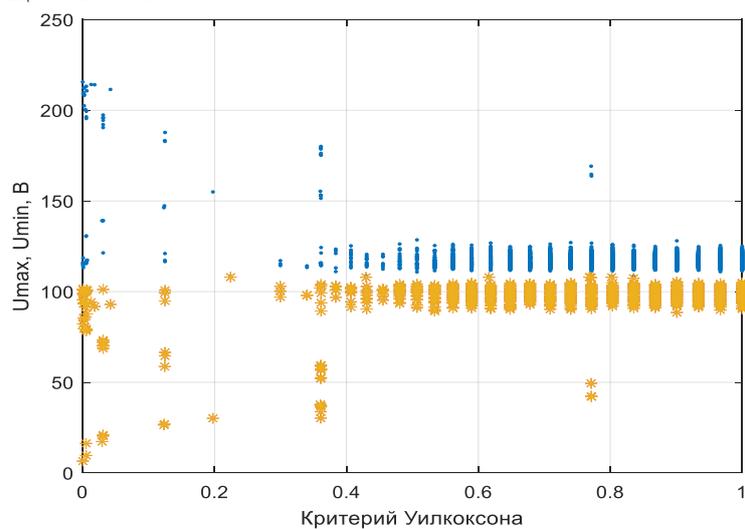
Для такой проверки использовался критерий Уилкоксона (1). Где  $T_1$  равна сумме первых  $n_1$  рангов и, если объемы выборок равны, в качестве этой статистики можно взять сумму рангов в любой группе. Напомним, что сумма первых  $n$  последовательных натуральных чисел равна  $\frac{n(n-1)}{2}$ . Этот непараметрический статистический критерий, используемый для оценки различий между двумя небольшими выборками, взятыми из закона распределения, отличного от нормального, что «идеально» подходит для рассматриваемой системы контроля, поскольку контролируются две выборки каждая объемом в 15 единиц, с законом распределения отличным от нормального.

С целью проверки критерия были сформированы две экспериментальные выборки измеренных падений напряжений на лампе, каждая объемом в 101047 единиц. Из выборки последовательно формировались две подвыборки, каждая объемом в 15 единиц, что соответствует числу ламп, устанавливаемых на испытательном стенде. Осуществлялась проверка статистической гипотезы о принадлежности этих подвыборок к одной генеральной совокупности по критерию Уилкоксона.

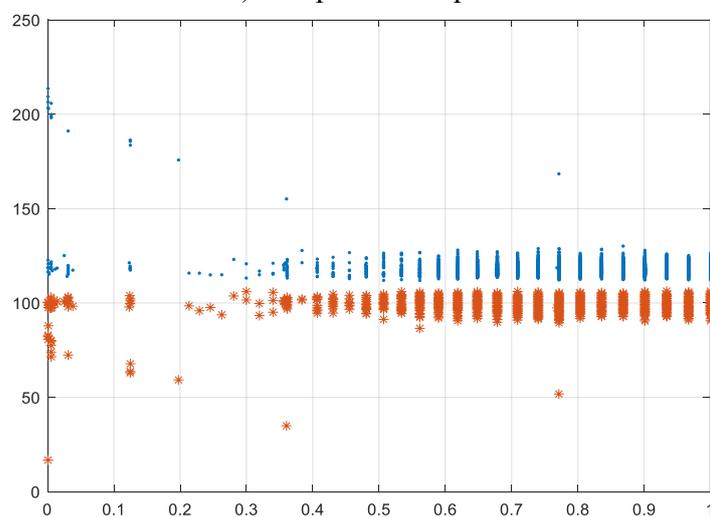
Одновременно регистрировались максимальные и минимальные значения в подвыборках. Результаты расчётов приведены на рисунках 1 а и б.

Если принять, что проверяемая статистическая гипотеза принимается при значении критерия больше 0,5, а границы поля допуска равны  $U_{\max}=130$  В ,  $U_{\min}=95$  В, то из рисунков видно, имеют место случаи, когда допусковый контроль положителен, а тест Уилкоксона отрицателен и наоборот допусковый контроль отрицателен, а тест Уилкоксона

положителен. Однако число таких случаев для первого варианта не превышает нескольких сотен, а для второго варианта равно 6 и ими можно пренебречь с учетом общего объема выборки, превышающим 200 тысяч.



а) – первая выборка



б) – вторая выборка

Рис. 1 – Оценка эффективности критерия Уилкоксона

Если принять, что проверяемая статистическая гипотеза принимается при значении критерия больше 0,5, а границы поля допуска равны  $U_{\max}=130$  В,  $U_{\min}=95$  В, то из рисунков видно, что имеют место случаи, когда допусковый контроль положителен, а тест Уилкоксона отрицателен, и наоборот – допусковый контроль отрицателен, а тест Уилкоксона положителен. Однако число таких случаев для первого варианта не превышает нескольких сотен, а для второго варианта равно 6, и ими можно пренебречь с учетом общего объема выборки, превышающим 200 тысяч.

### Список литературы

1. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М. : Мир, 1984. – 541 с.
2. Математические основы теории автоматического управления: в 3 т. Т. 3 [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.А. Иванов, В.С. Медведев, Б.К. Чемоданов, А.Е. Ющенко. – Электрон. дан. – М., 2009. – 352 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/106311> (дата обращения: 7.04.2019).
3. Маркелов В.В. Автоматизация методов входного статистического контроля при управлении качеством изделий электронной техники в среде MATLAB / В.В. Маркелов, А.И. Власов, Д.Е. Зотьева // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3. – С. 38–44.

05.13.18

**Д.С. Грибач**

Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет,  
Учебно-научно-производственная лаборатория по аэродинамическим и  
аэроакустическим испытаниям строительных конструкций,  
Москва, GribachDS@mgsu.ru

### **К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ КОРРЕКТИРОВОК В АРХИТЕКТУРНУЮ КОНЦЕПЦИЮ**

*В работе представлена проблема учета ветрового воздействия на строительные объекты. В статье подчеркнута важность проведения повторных исследований при изменении формы объекта или его элементов. Описано проведение экспериментального исследования ветрового воздействия в аэродинамической трубе для двух конфигураций жилого комплекса. Результатом работы является сравнительный анализ полученных в ходе выполнения работ данных о ветровом воздействии.*

Ключевые слова: *аэродинамика, аэродинамические коэффициенты, аэродинамическая труба, ветровое воздействие, строительная аэродинамика.*

Вопросы взаимодействия природных явлений со строительными конструкциями занимают одну из лидирующих позиций в системном представлении строительной индустрии [1]. В свою очередь, проблема учета влияния природных компонентов на здания и сооружения, в том числе ветрового воздействия, является актуальной в мировой практике изучения строительной аэродинамики.

В настоящее время вопросам исследования ветрового воздействия на здания и сооружения высотой более 100 м уделяется особое внимание [2]. Данное воздействие проявляется как движение воздушных потоков, оказывающее различное влияние на каждом уровне: скорость ветрового воздействия на конструкции сооружений нарастает с увеличением высоты [3, 4]. Опираясь на этот факт, можно сделать вывод о необходимости тщательного изучения ветрового воздействия на строительные конструкции, которое возможно на основании выполнения расчетных исследований и при проведении испытаний макетов объектов в аэродинамических трубах архитектурно-строительного типа [2,].

Также важно отметить, что любые изменения формы объекта, к которым можно отнести изменения высоты, геометрических размеров в плане, или изменения формы элементов фасадных конструкций и покрытий зданий влекут за собой изменения ветрового воздействия [1, 3, 5]. Для получения актуальных данных требуется повторное выполнение эксперимента. Рассмотрим это на примере проектируемого жилого комплекса в городе Москве.

Жилой комплекс представляет собой три высотных корпуса со стилобатной частью. На рисунке 1 видны различия конфигураций зданий: изменилась форма и высоты корпусов и стилобатной части, добавлены элементы фасадных конструкций по всей высоте строительных объектов.

Таблица 1- Общие габариты исследуемого объекта

Наименование	Значение (конфигурация 1)	Значение (конфигурация 2)
Размеры башни 1	Высота: 188,5 м Габариты: 23*28*42*24 м	Высота: 178,5 м Габариты: 26*29*44*24 м
Размеры башни 2	Высота: 188,5 м Габариты: 32*28*38*19 м	Высота: 195,05 м Габариты: 33*31*40*21 м
Размеры башни 3	Высота: 188,5 м Габариты: 38*28*31*19 м	Высота: 188,5 м Габариты: 39*31*32*22 м
Высота стилобата	4,5 м	9,85 м

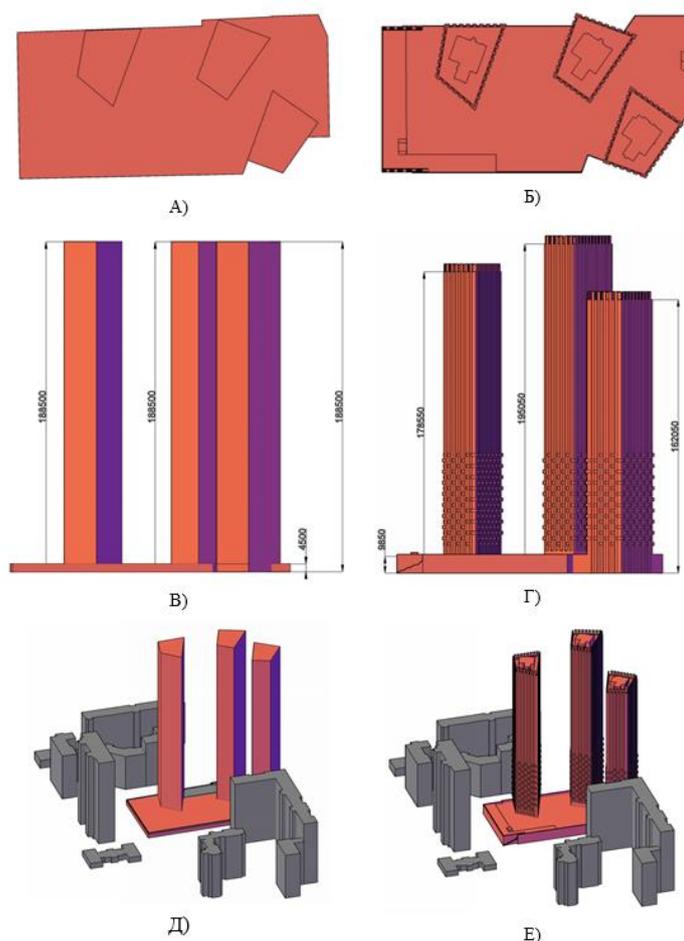


Рис. 1- Исследуемый жилой комплекс (а – вид сверху (конф. 1); б – вид сверху (конф. 2); в – вид спереди (конф. 1); г – вид спереди (конф. 2); д – трехмерная модель (конф.1); е – трехмерная модель (конф.2))

Экспериментальные исследования были выполнены по методике, разработанной научным звеном Учебно-научно-производственной лаборатории по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций [5, 6] на базе Уникальной научной установки Большой исследовательской градиентной аэродинамической трубы архитектурно-строительного типа (БИГАТ НИУ МГСУ) [5, 7].

На первом этапе, который является общим для двух конфигураций объекта, был проведен климатический анализ: на основании данных метеорологической станции были определены среднегодовая скорость ветра, составляющая 1,5 м/с, и преобладающие направления ветра – для района строительства западные и северо-западные направления.

На следующем этапе была разработана и изготовлена модель в уменьшенном масштабе (1:150). Модели изготовлены из фанеры и листового пластика [5, 7].



Рис. 2- Модель исследуемого объекта в рабочей зоне БИГАТ НИУ МГСУ  
(а – конфигурация 1; б – конфигурация 2)

Для выполнения эксперимента на поверхности моделей установлены точки сбора давления. От каждого отверстия давление по медным, а затем по силиконовым трубкам передается на дифференциальные датчики давления. Измеренное с помощью тензо-датчиков давление в последствие пересчитывается в средние значения безразмерного коэффициента  $C_p$  в контрольных точках на поверхностях моделей [5, 6]. В таблице 2 представлены средние значения безразмерного коэффициента  $C_p$  в контрольной точке на поверхности моделей двух конфигураций (рис.3).

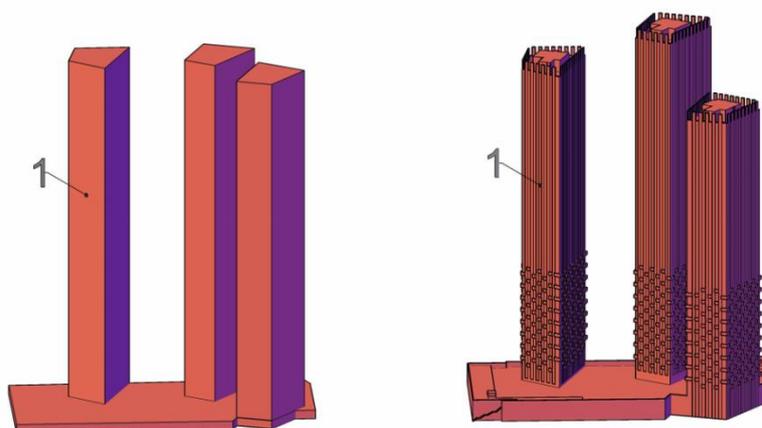


Рис.3– Расположение контрольной точки на поверхности модели

Таблица 2. Средние значения коэффициента  $C_p$  в контрольной точке на поверхности модели (а – для конфигурации 1; б – для конфигурации 2)

	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
А	-0,906	-1,083	-0,806	-0,126	0,350	0,926	0,498	-1,762	-0,938	-1,263	-1,330	-0,945
Б	-0,756	-0,786	-0,895	0,092	0,792	0,941	0,862	-1,000	-0,917	-0,575	-0,710	-0,862

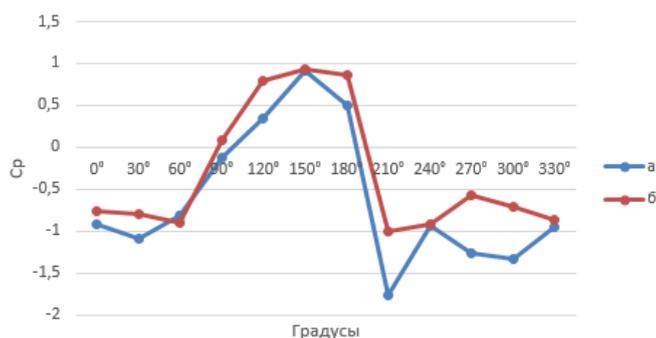


Рис.4– График распределения среднего значения коэффициента  $C_p$

Из таблицы 2 и рисунка 4 видно, что внесенные в модель изменения для некоторых углов атаки оказали значительное влияние на значение аэродинамического коэффициента  $C_p$ : на углах  $210^\circ$ ,  $270^\circ$  и  $300^\circ$  для точки разницы в показателях равна единице. В связи с этим расчеты ветровой нагрузки на здание должны быть скорректированы.

Необходимо отметить, что тема ветрового воздействия на строительные объекты - многогранная и трудоёмкая: ветровое воздействие на конструкции зданий для каждого случая всегда будет различно. При внесении изменений в архитектурную форму объекта должно быть выполнено расчетное и/или экспериментальное исследования с целью уточнения аэродинамических характеристик зданий и сооружений.

#### Список литературы

1. Казакевич М.И. Актуальные проблемы аэродинамики высотных зданий, Металлические конструкции, Т. 13, № 3, С. 151-161, 2007
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия, Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями N 1, 2)
3. Поддаева О.И., Дубинский С.И., Федосова А.Н. Численное моделирование ветровой аэродинамики высотного здания, Промышленное и гражданское строительство, № 9, С. 23-27, 2014
4. Yi Liu, Gregory A. Kopp, Shui-fu Chen Effects of plan dimensions on gust wind loads for high-rise buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 194, 103980, 2019
5. Poddaeva, O.I., Fedosova, A.N., Churin, P.S., Gribach, J.S. Conducting experimental investigations of wind influence on high-rise constructions, E3S Web of Conferences, Vol. 33, 02067, 2018, [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/08/e3sconf\\_hrc2018\\_02067/e3sconf\\_hrc2018\\_02067.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/08/e3sconf_hrc2018_02067/e3sconf_hrc2018_02067.html)
6. Егорычев О.О., Чуринов П.С. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на высотные здания, Жилищное строительство, № 6, С. 20-22, 2015
7. Помелов В.Ю., Грибач Д.С., Чуринов П.С. Методы макетирования высотных и уникальных зданий и сооружений для проведения аэродинамических испытаний, Строительство и реконструкция, № 3 (65), С. 56-60, 2016

05.13.18

**Е.Н. Журавлева канд. техн. наук**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
кафедра строительной и теоретической механики,  
Москва, zhuravlevaen@mgsu.ru

### **РЕШЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ БАЛОК МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛИЗИРУЮЩИХ ЯДЕР**

*В работе рассматривается гибкая балка единичной ширины, свободно лежащая на упругом основании под действием нагрузки. Построено эффективное решение пространственной задачи для балки конечной длины, взаимодействующей с упругим основанием. Получены функциональные характеристики ядра для упругого однородного полупространства и упругого слоя. С помощью линейных интегральных уравнений типа Вольтерра парные уравнения приводятся к уравнению Фредгольма второго рода. Приведён анализ полученных результатов для различных показателей гибкости, соотношения сторон балки, а также различных значений толщины упругого слоя и в пределе полупространства.*

Ключевые слова: *интегральные уравнения, метод ортогонализирующих ядер, упругое полупространство, упругая полуплоскость и упругий слой.*

Практически все инженерные сооружения в той или иной степени взаимодействуют с подстилающим их основанием, причём эффект этого взаимодействия может быть весьма значительным. Исследование работы конструкций, работающих совместно с линейно-деформируемым основанием [1-3], и проблема дальнейшего создания новых методов расчёта, учитывающих особенности реальных сооружений, являются важными и актуальными [4-6]. Среди этих методов особенно выделяются методы интегральных уравнений [7]. Хорошие результаты, полученные при численном решении задач этими методами, являются основанием для их дальнейшей разработки и применения в инженерных задачах.

Цель данной работы заключается в разработке и применении теории парных интегральных уравнений в качестве основного математического аппарата к решению контактных задач о штампах, гибких балках и полосах на линейно-деформируемом основании, свойства которого описываются лишь ядром соответствующего уравнения для осадок его поверхности на действие статических нагрузок.

В работе рассматривается балка единичной ширины, свободно лежащая на упругом основании, и балка длиной  $2l$ , для которой реактивное давление равномерно распределено по ширине балки  $2b$ . Трением между грунтом и балкой пренебрегаем.

Наибольший интерес с практической точки зрения представляет разработка методов расчёта конструкций, лежащих на линейно-деформируемом основании общего типа. Такие методы обладают максимальной универсальностью и могут быть использованы для любых линейных моделей упругого основания.

Указанные выше задачи сводятся к решению парных интегральных уравнений [7]

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} P(\xi)C(\xi)\cos\xi x d\xi &= \omega(x), \quad 0 < x < l \\ \int_0^{\infty} P(\xi)C(\xi)\cos\xi x d\xi &= 0, \quad l < x < \infty \end{aligned} \quad (1)$$

$C(\xi)$  – функциональная характеристика ядра.

Для основных моделей её поведение на бесконечности подчиняется следующему соотношению:

$$C(\xi) = B\xi^{-2\mu}[1+o(1)]; \quad 0 < \mu \leq \frac{1}{2}; \quad B - \text{const.} \quad (2)$$

Если предположить, что прогиб балки шириной  $2b$  равен прогибу основания по оси балки, то

$$C(\xi) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} C(\xi, \beta) \frac{\sin b\beta}{\beta} d\beta. \quad (3)$$

Если прогиб балки равен среднему значению прогиба основания по ширине, то

$$C(\xi) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty C(\xi, \beta) \frac{(1+\cos\beta)\sin b\beta}{\beta} d\beta. \tag{4}$$

Величина  $C(\xi, \beta)$ , входящая в выражения (3) и (4) – функциональная характеристика ядра в случае пространственной задачи.

Если модель основания – упругое полупространство, то  $C(\xi, \beta)$  удовлетворяет на бесконечности условию

$$C(\xi, \beta) = \frac{B}{\sqrt{\xi^2 + \beta^2}} (1 + o(1)); \tag{5}$$

$$\xi \rightarrow \infty, \beta \rightarrow \infty, B = \text{const},$$

и тогда для функции  $C(\xi)$ , определяемой соотношением (3), после преобразований получим

$$C(u) = \frac{Bb}{u} \left( 1 - \frac{2}{\pi} \int_0^\infty K_0(u) du \right), \tag{6}$$

где  $u = b\xi$ ,  $K_0(u)$  – функция Макдональда нулевого порядка.

Если модель основания – упругий слой, для которой

$$C(\xi, \beta) = \frac{B}{f} \frac{\text{sh}^2(fh)}{fh + \text{sh}(fh)\text{ch}(fh)}, \tag{7}$$

то на основании зависимости (3) имеем

$$C(u) = \frac{Bb}{u} \left( 1 - \frac{2}{\pi} \int_u^\infty K_0(u) du \right) - \frac{2Bb}{\pi u} \int_0^\infty \frac{\sin u\tau}{\tau d} \left( \frac{d u \alpha + e^{-d u \alpha} \text{sh}(d u \alpha)}{d u \alpha + \text{sh}(d u \alpha) \text{ch}(d u \alpha)} \right) d\tau \tag{8}$$

где  $u = b\xi$ ,  $\tau = \frac{\beta}{\xi}$ ,  $\alpha = \frac{h}{b}$ ,  $f = \sqrt{\xi^2 + \beta^2}$ ,  $d = \sqrt{1 + \tau^2}$ ,  $h$  – глубина слоя.

Непосредственное применение метода ортогонализирующих ядер не даёт решения поставленной задачи, так как в правой части уравнения Фредгольма второго рода получаются расходящиеся интегралы. Чтобы избежать этого, представим косинус-преобразование Фурье в форме, данной Планшерелем, как это было сделано при решении задачи о штампе.

Разложим функции  $\omega(x)$ ,  $g(x)$  и  $P(x)$  в ряды по формам собственных колебаний балки со свободными концами и сведём решение задачи к интегральному уравнению Фредгольма второго рода

$$\sigma(\bar{\eta}) + \int_0^1 \sigma(\bar{\eta}_1) \bar{\eta}_1 K(\bar{\eta}, \bar{\eta}_1) d\bar{\eta}_1 = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{3/2} t \sum_{m=0}^\infty \frac{g_m l \omega_m(\bar{\eta})}{k_m^4}, \tag{9}$$

где  $\bar{\eta} = \frac{\eta}{l}$ ,  $\bar{\eta}_1 = \frac{\eta_1}{l}$  – безразмерные координаты и  $0 < \bar{\eta} < 1$ .

В уравнение (9) входит параметр  $t$ , величина которого для балки единичной ширины определяется выражением

$$2t = \frac{\pi l^3 E_0 (1 - \mu_1^2)}{2(1 - \mu_0^2) E J}, \tag{10}$$

где  $E_0$  – модуль упругости основания;  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона основания;  $\mu_1$  – коэффициент Пуассона балки.

Для балки шириной  $2b$  величина  $t$  может быть определена из следующей зависимости:

$$t = \frac{\pi l^3 b}{B E J}. \tag{11}$$

В выражении (9)  $K(\bar{\eta}, \bar{\eta}_1)$  – ядро интегрального уравнения. Для балки единичной ширины получим

$$K(\bar{\eta}, \bar{\eta}_1) = \int_0^\infty \xi [\xi^{2\mu} B^{-1} c(\xi) - 1] J_0(\xi \bar{\eta}) J_0(\xi \bar{\eta}_1) d\xi + \frac{2}{\pi} t \sum_{m=0}^\infty \frac{\omega(\bar{\eta}) \omega_m(\bar{\eta}_1)}{k_m^4}, \tag{12}$$

$\omega(\bar{\eta})$  и  $\omega(\bar{\eta}_1)$  определяются зависимостями

$$\begin{aligned} \omega_m(\bar{\eta}) &= \sqrt{\frac{\pi}{2}} A_m \left[ J_0(k_m \bar{\eta}) + \frac{\cos k_m}{\text{ch} k_m} I_0(k_m \bar{\eta}) \right] \\ \omega_m(\bar{\eta}_1) &= \sqrt{\frac{\pi}{2}} A_m \frac{k_m}{l} \left[ J_0(k_m \bar{\eta}_1) + \frac{\cos k_m}{\text{ch} k_m} I_0(k_m \bar{\eta}_1) \right], \end{aligned} \tag{13}$$

где  $J_0(k_m \bar{\eta})$  и  $J_0(k_m \bar{\eta}_1)$  – цилиндрические функции первого рода нулевого порядка;  $I_0(k_m \bar{\eta})$  и  $I_0(k_m \bar{\eta}_1)$  – модифицированные цилиндрические функции.

В выражение (12) входит ряд. Доказана равномерная сходимость ряда относительно  $\eta$  и  $\eta_1$  на всем интервале  $0 < \eta$  и  $\eta_1 < 1$  при  $\mu = \frac{1}{2}$  и больших значениях  $m$ .

Для балки шириной  $2b$ , лежащей на слое, ядро уравнения (9) примет вид

$$K(\bar{\eta}, \bar{\eta}_1) = \frac{2}{\pi} z^2 \int_0^\infty u \left( \int_0^\infty K_0(u) du \right) J_0(u\bar{\eta}z) J_0(u\bar{\eta}_1z) du - \frac{2}{\pi} z^2 \int_0^\infty u \left( \int_0^\infty \frac{\sin u\tau}{\tau d} \left( \frac{du\alpha + e^{-du\alpha} \operatorname{sh}(du\alpha)}{du\alpha + \operatorname{sh}(du\alpha) \operatorname{ch}(du\alpha)} \right) d\tau \right) J_0(u\bar{\eta}z) J_0(u\bar{\eta}_1z) du + \frac{2}{\pi} t \sum_{m=0}^\infty \frac{\omega_m(\bar{\eta}) \omega_m(\bar{\eta}_1)}{lk_m^4}, \quad (14)$$

где  $J_0(u\bar{\eta}z)$  и  $J_0(u\bar{\eta}_1z)$  – цилиндрические функции первого рода нулевого порядка;  $z = \frac{l}{b}$ .

Если  $h \rightarrow \infty$ , второе слагаемое обращается в ноль, то есть получим выражения для ядра, когда модуль основания – полупространство.

В методе, который использован при решении данных задач, все расчётные величины определяются с помощью решения интегрального уравнения (9)  $\sigma(\bar{\eta})$ , которое зависит от ядра уравнения  $K(\bar{\eta}, \bar{\eta}_1)$ . Определив  $\sigma(\bar{\eta})$ , найдём прогибы балки, контактные напряжения и возникающие в ней внутренние усилия.

На основании составленного алгоритма расчёта решена задача о балке единичной ширины на полуплоскости и слое, а также задача о балке шириной  $2b$ , лежащей на упругом полупространстве и упругом слое  $h=l$  и  $h=0,25l$  при  $t=2$  и  $t=5$ . Для сравнения результатов расчёта вычисления проводились от сосредоточенной силы, приложенной в начале координат.

Анализ полученных вычислений показывает, что с увеличением жёсткости балки происходит перераспределение контактных напряжений и величин максимальных изгибающих моментов в балке: контактные напряжения под приложенной силой уменьшаются, а максимальные значения моментов увеличиваются. Причём с изменением  $t$  эпюры реактивных давлений изменяются значительно сильнее, чем эпюры моментов.

Сравнивая результаты решения пространственной задачи с результатами решения плоской задачи, получаем, что отличие в эпюрах давлений при  $t=5$ ,  $h=\infty$  составляет 46%, в эпюрах моментов – 28%. Для балки, лежащей на слое  $h=l$  при  $t=5$ , эта разница несколько меньше.

Полученный алгоритм расчёта может быть использован при расчёте фундаментных и подкрановых балок, ленточных фундаментов и других конструкций, опирающихся на грунтовое основание.

### **Список литературы**

1. *Соболев Д.Н.* Расчёт балочных плит на упругом основании, при помощи модели с двумя коэффициентами постели. – Строительная механика и расчёт сооружений. – 1975 – №3 – с. 27-31.
2. *Проценко В.С., Соловьёв А.И.* Об одной контактной задаче для составной полосы. – Доклад Академии наук. – Сер. А. – 1980 – №6 – с. 57-62.
3. *Босаков С.Б.* Плоская контактная задача для полубесконечной пластинки на упругом основании. – Строительная механика и расчёт сооружений. – 2015 – №1 – с. 2-5.
4. *Потапов В.Д.* Статический расчёт плит, лежащих на сплошном нелокально упругом основании. – Строительная механика и расчёт сооружений. – 2015 – №1 – с. 15-20.
5. *Александров В.М., Чебаков М.И.* Аналитические методы в контактных задачах теории упругости. – М.: Физматлит, 2004. – 302 с.
6. *Сапожников А.И.* Особенности расчёта балок на упругом основании. – Известия вузов. Строительство. – 2011. – №10. – с. 99-107.
7. *Цейтлин А.И.* Прикладные методы решения краевых задач строительной механики. – М.: Стройиздат, 1984. – 334 с.
8. *Журавлёва Е.Н.* Решение интегральных уравнений методом ортогоназирующих ядер. Задача о штампе. – Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №6. – с. 154-157.

05.13.18

**В.А. Карпычев д-р техн. наук, Д.В. Ковин**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский университет транспорта»,  
Институт транспортной техники и систем управления, ИТТСУ,  
кафедра «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация»,  
kv119@yandex.ru, kodv28@mail.ru

### **К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА РЫЧАЖНЫХ ПЕРЕДАЧ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

*В статье рассмотрен вопрос проведения структурного анализа тормозной рычажной передачи грузового вагона. В частности, получение нескольких вариантов разбиения механизма на структурные группы на основе применения общих рекомендаций. Освещена проблема обоснования выбора обобщённых координат механизма.*

Ключевые слова: *Тормозная рычажная передача, структурный анализ, обобщённая координата.*

Для изучения особенностей работы сложных механизмов проводится структурный анализ. Он необходим также для дальнейшего проведения кинематического и кинетостатического (силового) анализа. Задачей структурного анализа является определение числа звеньев и структурных групп, числа и вида кинематических пар, числа подвижностей, контуров и избыточных связей.

Структурный анализ проводится в несколько этапов: разработка структуры – переход от реального механизма к его структурной схеме, подсчёт числа звеньев, кинематических пар, определение их вида, числа подвижностей, контуров, избыточных связей. После этого проводится разбиение механизма на структурные группы, целью которого является определение класса механизма и начальных звеньев – звеньев, которым принадлежит одна или несколько обобщённых координат. Это означает, что, зная положение всех начальных звеньев в определённый момент времени, можно однозначно определить положение всех остальных звеньев механизма.

Структурный анализ для рычажных передач представляет определённые трудности как на этапе разработки структуры, так и на этапах разбиения на структурные группы, определения начальных звеньев и класса механизма. Трудности связаны с наличием общих рекомендаций при решении указанных задач.

В статье рассматриваются вопросы особенностей использования рекомендаций применительно к структурному анализу рычажной передачи тормозной системы грузового вагона.

Для разбиения механизма на структурные группы, И.И. Артоболевский даёт рекомендации, заключающиеся в минимизации числа сложных групп: если возможно отсоединить диаду, следует отсоединять именно её. Так же в ряде источников [1, с.50], [2, с.45] указывается, что начальные звенья, как правило, имеют связь со стойкой, однако в некоторых случаях более удобно принять начальным какое-либо другое звено [2, с.45].

Также имеется основной принцип образования механизма [2, с.55]. Он заключается в присоединении первой группы к начальному звену и стойке и последующем присоединении структурных групп к любым звеньям полученного механизма таким образом, чтобы звенья группы обладали подвижностью друг относительно друга.

Выполним структурный анализ типовой тормозной рычажной передачи четырёхосного грузового вагона. При разработке структурной схемы (Рисунок 1) для упрощения примем три допущения:

- 1) Все элементы передачи - абсолютно жёсткие стержни. В реальности же элементы передачи могут деформироваться под воздействием возникающих усилий;
- 2) Тормозная рычажная передача является плоским механизмом. В реальности же она является пространственным механизмом.
- 3) Зазоры в шарнирах при решении данной задачи не учитываются.

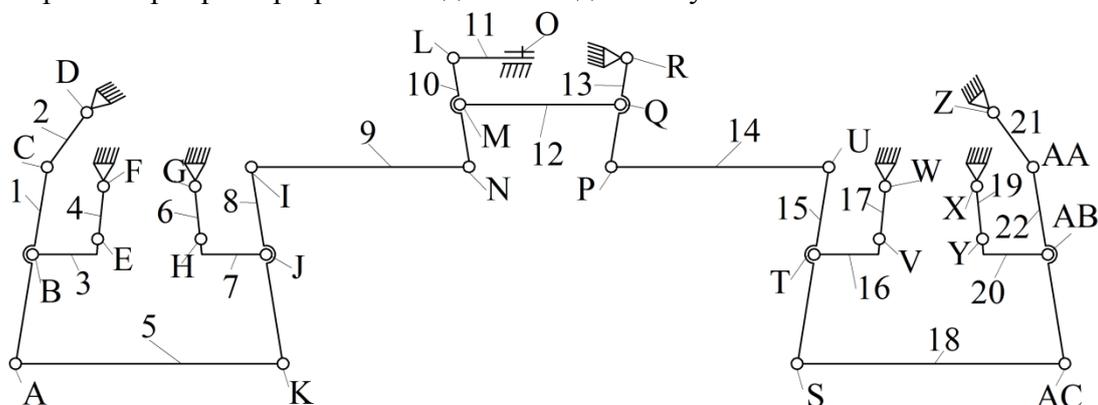


Рис. 1- Структурная схема тормозной рычажной передачи грузового вагона

На рис. 1 цифрами 1, 8, 15, 22 обозначены вертикальные рычаги; серьги представлены звеньями 2 и 21; 3, 7, 16, 20 – триангели; 4, 6, 17, 19 – подвески тормозных башмаков (далее – подвески); 5, 18 – подосные тяги; 9 и 14 – тяги; 10 и 13 – головной и тыловой горизонтальные рычаги соответственно; 11 – шток поршня тормозного цилиндра (далее – шток); 12 – затяжка горизонтальных рычагов. Кинематические пары имеют буквенные обозначения.

Таким образом, механизм состоит из 22 подвижных звеньев, содержит 28 вращательных и 1 поступательную кинематическую пару. Все кинематические пары V класса. По структурной формуле для плоских механизмов можно посчитать число степеней свободы [2, с.38]:

$$W=3n-2p_5-p_4$$

где  $W$  – степень свободы механизма;

$n$  – число подвижных звеньев механизма;

$p_5$  – количество кинематических пар V класса;

$p_4$  – количество кинематических пар IV класса. Такие пары отсутствуют в структуре механизма, поэтому  $p_4=0$ .

Для полученной схемы число степеней свободы будет равно:

$$W=3 \cdot 22 - 2 \cdot 29 = 8$$

Полученное число также равняется количеству начальных звеньев, входящих в механизм. Далее с целью выявления начальных звеньев было разработано три варианта разбиения механизма на структурные группы.

Первый вариант основан на предположении, согласно которому начальные звенья, как правило, крепятся к стойке [1, с.50], и их одновременном отсоединении. Оставшаяся кинематическая цепь разбивается на 3 структурные группы II класса, и 2 группы III класса. Начальными звеньями при таком варианте разбиения являются серьги, подвески, шток и тыловой горизонтальный рычаг (Рис. 2).

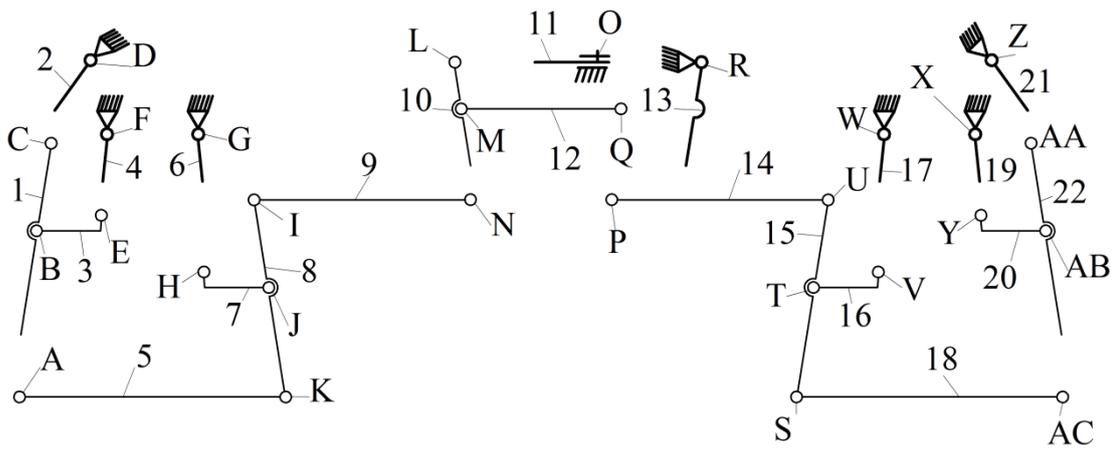


Рис. 2- Первый вариант разбиения на структурные группы

Использование рекомендации по минимизации сложных групп приводит к другим результатам. Второй вариант разбиения основан на последовательном отсоединении предполагаемых начальных звеньев. При этом механизм разбивается на 7 групп II класса, а начальными звеньями являются: на одной тележке – подвески и триангели, на другой – подвеска и триангель со стороны тормозного цилиндра и серьга, а также шток. Ещё одним начальным звеном является шток (Рис. 3).

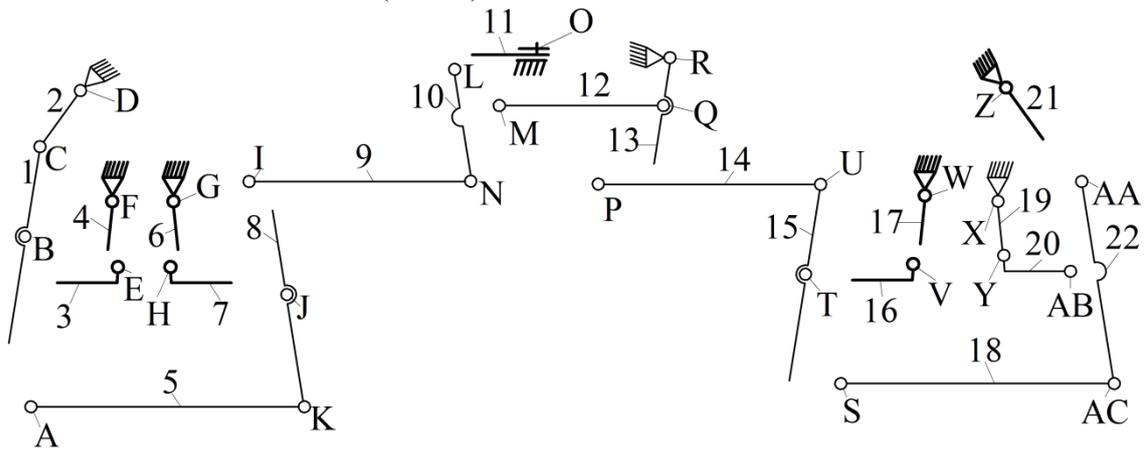


Рис. 3- Второй вариант разбиения на структурные группы

Несмотря на отсутствие трёхповодковых групп, этот вариант разбиения неудачен с точки зрения реальной технологии сборки механизма: на вагоноремонтных предприятиях порядок подразумевает сборку рычажной передачи тележек отдельно от элементов передачи, расположенных на раме вагона. В данном варианте сборка тележки, расположенной справа, невозможна без присоединения тяги. Тяга же не входит в кинематическую цепь тележки.

С учётом всего вышесказанного, получен третий вариант, который предусматривает последовательное отсоединение начальных звеньев на уровне тележки, и параллельное на уровне всего механизма. В данном варианте расположение начальных звеньев на тележках симметрично, а разбиение цепи на структурные группы не противоречит реальной технологии сборки. Таким образом, кинематическая цепь разбивается на 5 групп II класса и одну группу III класса. Начальными звеньями являются подвески и триангели обеих тележек (Рисунок 4).

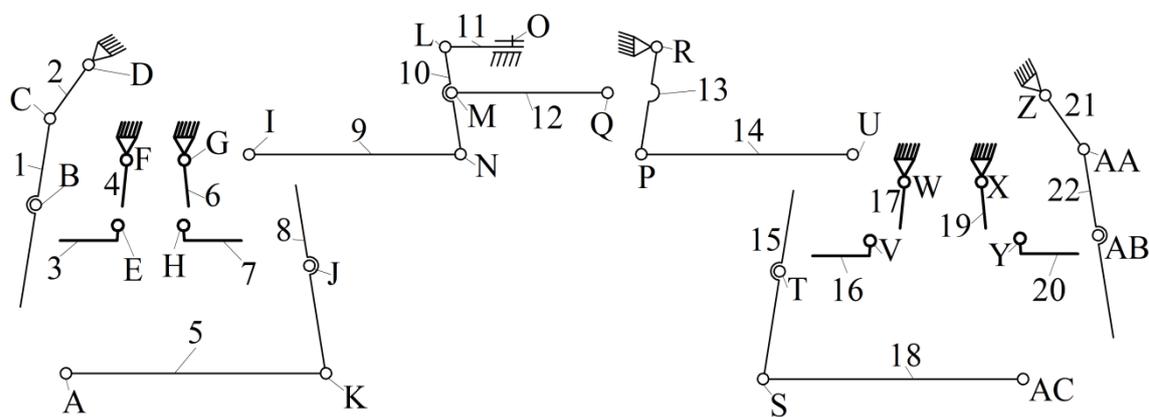


Рис. 4- Третий вариант разбиения на структурные группы

Далее производился выбор одного из имеющихся вариантов. Первый вариант противоречит реальной технологии сборки и имеет наибольшее число групп III класса. Второй вариант противоречит реальной технологии сборки, хотя и не содержит групп III класса. В третьем варианте начальные звенья сосредоточены в кинематических цепях тележек, что позволяет осуществить принцип образования механизма в соответствии с технологией сборки в условиях вагоностроительного и ремонтного предприятия.

Таким образом, проведение структурного анализа рычажной передачи грузового вагона подразумевает:

1. Разработку структурной схемы механизма;
2. Подсчёт количества подвижных звеньев, определение числа и вида кинематических пар;
3. Определение числа степеней свободы механизма;
4. Поиск начальных звеньев методом погруппного анализа.
5. Необходимость учета представленных рекомендаций.

Вместе с этим получено, что

- учет рекомендаций приводит к различным вариантам разбиения механизма, а следовательно, к различным алгоритмам дальнейшего расчёта;
- все варианты реализуют основной принцип образования механизмов;
- применительно к рассмотренной рычажной передаче выявлено требование соответствия принципа образования механизма технологии его сборки в условиях вагоностроительных и вагоноремонтных предприятий.
- полное выполнение указанного выше требования соответствует третьему варианту. В этом случае имеем сосредоточение начальных звеньев в кинематических цепях тележек, последовательное отсоединение начальных звеньев в рамках тележки и параллельное на уровне тележек. Начальными звеньями являются подвески и триангели.

#### **Список литературы**

1. *Фролов К.В.* Теория механизмов и механика машин. Учеб. Для втузов/К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; [под ред. К.В. Фролова] 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1998. 496 с.
2. *Артоболевский И. И.* Теория механизмов и машин. Учеб. Для втузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 640 с.



1 - внутренний холодильник; 2 - секции наружного холодильника; 3 - охлаждающая жидкость; 4 - диэлектрические вставки; 5 - аноды и 6 - кольцевой катод; 7 - диэлектрическое стеклоэмалевое покрытие; 8 - асферическое зеркало; 9 - плоское полупрозрачное зеркало; 10, 11, 12 - направление прокачки смеси, вход газовой смеси в разрядную камеру, выход газовой смеси из разрядной камеры; 13 - расчетная сетка; 14 - область генерации излучения

Система уравнений математической модели процессов в коаксиальном CO<sub>2</sub>-лазере непрерывного действия (рис. 1), представленная в [1, 2] имеет вид

$$\frac{d}{dz} \iint_{S_p(z)} \rho u_z ds = 0, \quad \int_0^{R_2} \left( \int_{\eta(\varphi, z)} r \rho u_z dr \right) d\varphi = q_{mix} = const, \quad (1)$$

$$\rho = N \cdot M, \quad M = \chi_{CO_2} M_{CO_2} + \chi_{N_2} M_{N_2} + \chi_{He} M_{He},$$

$$0 = \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \mu_{mix}(P, T) \frac{\partial u_z}{\partial r} \right), \quad P = N k_B T = P(z), \quad (2)$$

$$\rho u_z \frac{\partial}{\partial z} (k_c c_V^{mix} T) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q_T, \quad \lambda(T) = \lambda_0 (T/T_0)^{0.7}, \quad (3)$$

$$Q_T = \begin{cases} Q_p, & R_1 \leq r \leq d_{90}/2, \\ (1 - k^{(ul)}) Q_p + K_{VT} (z_2 - z_2^p), & d_{90}/2 \leq r \leq R_2, \end{cases}$$

$$k^{(ul)} = \frac{(v_3 - v_1)}{\left( 3v_3 \frac{\theta_2}{\theta_3} - v_1 \right)} \left( 3 \frac{\theta_2}{\theta_3} k^{(u)} \left( \frac{|E|}{N} \right) + k^{(l)} \left( \frac{|E|}{N} \right) \right), \quad K_{VT} = \frac{\chi_{CO_2} N k_B \theta_2 (v_3 - v_1)}{\tau_{VT} \left( 3v_3 \frac{\theta_2}{\theta_3} - v_1 \right)},$$

$$-\frac{1}{N} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r D_{am} \frac{\partial N \alpha_p}{\partial r} \right) \right) = q_0 - \chi_{CO_2} N k_a \left( \frac{|E|}{N} \right) \alpha_p - N \beta \left( \frac{|E|}{N} \right) \alpha_p^2, \quad \alpha_p = \frac{n}{N}, \quad (4)$$

$$\frac{E}{N} = -\frac{1}{N} \left( e(\varphi) \frac{\partial}{\partial r} \tilde{\varphi}_E + k \frac{\partial}{\partial z} \tilde{\varphi}_E \right) + k \frac{1}{N} \left( \frac{J_p + \iint_{S_p(z)} \mu_e \alpha_p \frac{\partial \tilde{\varphi}_E}{\partial z} df}{\iint_{S_p(z)} \mu_e \alpha_p df} \right), \quad (5)$$

$$\tilde{\varphi}_E = \int_{R^*(\varphi, z)}^r \left( \frac{\bar{D}}{\mu_e \alpha_p} \frac{\partial n}{\partial \eta} \right) d\eta, \quad D_{am} \approx \frac{2}{3} \frac{\bar{E}_e}{k_B T} \left( \sum \chi_i D_{i+} \right), \quad \bar{D} \approx \frac{2}{3} \mu_e \frac{\bar{E}_e}{N |e|},$$

$$\sum \chi_i D_{i+} = k_B T \left( \frac{\chi_{CO_2}}{M_{CO_2} \nu_{CO_2}} + \frac{\chi_{N_2}}{M_{N_2} \nu_{N_2}} + \frac{\chi_{He}}{M_{He} \nu_{He}} \right), \quad \bar{E}_e = \bar{E}_{e0} + A_E \left( \frac{E}{N} \right)^2,$$

$$R^*(\varphi, z) = \frac{1}{2} (\eta_1(\varphi, z) + R_2),$$

$$\frac{d}{dz} \iint_{S_p(z)} j_z df = 0, \quad \int_0^{R_2} \left( \int_{\eta(\varphi, z)} r j_z dr \right) d\varphi = J_p = const, \quad (6)$$

$$Q_p = j_z E_z = \mu_e |e| \alpha_p \left( \frac{J_p + \int_0^{R_2} \int_{\eta} \mu_e \alpha_p \frac{\partial \tilde{\varphi}_E}{\partial z} dr d\varphi}{\int_0^{R_2} \int_{\eta} \mu_e \alpha_p dr d\varphi} - \frac{\partial}{\partial z} \tilde{\varphi}_E \right)^2,$$

$$\frac{v_3}{v_3 - v_1} Q_l = k^{(u)} Q_p + \frac{\chi_{CO_2} N k_B \theta_3}{8 \tau_{VV}} \left[ z_2^3 (1 + z_3) \exp\left(\frac{3\theta_2 - \theta_3}{T}\right) - z_3 (2 + z_2)^3 \right], \quad (7)$$

$$-\frac{v_1}{v_3 - v_1} Q_l = k^{(l)} Q_p - \frac{3\chi_{CO_2} N k_B \theta_2}{8 \tau_{VV}} \left[ z_2^3 (1 + z_3) \exp\left(\frac{3\theta_2 - \theta_3}{T}\right) - z_3 (2 + z_2)^3 \right] -$$

$$-\frac{\chi_{CO_2} N k_B \theta_2}{\tau_{VT}} (z_2 - z_2^p),$$

$$z_3 = \frac{E_{CO_2}^{(3)}}{\chi_{CO_2} N k_B \theta_3}, z_2 = \frac{E_{CO_2}^{(2)}}{\chi_{CO_2} N k_B \theta_2}, z_2^p = \frac{2}{\exp(\theta_2/T) - 1},$$

$$\ln(1/(1 - T_{mir})) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{SD} K_{amp}(\mathbf{r}(\alpha, \theta, \varphi, s)) ds d\varphi, \quad (8)$$

$$Q_l(r_s, \varphi_s, z_s) = \frac{v_3 - v_1}{3v_3 \frac{\theta_2}{\theta_3} - v_1} \left[ \left( 3 \frac{\theta_2}{\theta_3} k^{(u)} \left( \frac{|E|}{N} \right) + k^{(l)} \left( \frac{|E|}{N} \right) \right) Q_p - k_{VT} (z_2 - z_2^p) \right], \quad (9)$$

где  $L_z$  - длина активной камеры вдоль оптической оси (ось  $z$ );  $R_l$  - радиус наружной стенки внутреннего цилиндра;  $R_2$  - радиус внутренней стенки наружного цилиндра;  $M_{CO_2}$ ,  $M_{N_2}$ ,  $M_{He}$  - массы молекул  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $He$ ;  $\rho$  - плотность газовой смеси;  $N$  - число частиц газовой смеси в единице объема;  $u_z$  - осевая скорость смеси;  $\chi_{CO_2}$ ,  $\chi_{N_2}$ ,  $\chi_{He}$  - соответственно мольные доли углекислого газа, азота и гелия;  $P$  - давление газовой смеси;  $k_B$  - постоянная Больцмана;  $T$  - температура смеси;  $\mu_{mix}(P, T)$  - динамическая вязкость смеси, определяемая формулой Сёзерленда [3];  $c_V^{mix}$  - теплоемкость смеси при постоянном объеме;  $\lambda(T)$  - коэффициент теплопроводности смеси [4] ( $T_0=298K$ );  $Q_p$  - удельная объемная мощность энерговклада в разряде, равная  $Q_p = (\mathbf{j} \cdot \mathbf{E})$  ( $\mathbf{j}$  - плотность тока разряда,  $\mathbf{E}$  - напряженность электрического поля);  $Q_l$  - удельная объемная мощность энергосъема в лазерном излучении;  $S_p(z)$  - площадь поперечного сечения ЭРК;  $q_{mix}$  - массовый расход газовой смеси через это сечение в единицу времени;  $D_{i+}$  - коэффициент диффузии положительных ионов;  $\mu_e$  - подвижность электронов;  $n$  - концентрация заряженных частиц;  $\alpha_p = \frac{n}{N}$  - степень ионизации газа;  $q_0$  - объемная частота ионизации газа высоковольтным импульсом [5];  $k_a \left( \frac{|E|}{N} \right)$ ,  $\beta \left( \frac{|E|}{N} \right)$  - коэффициенты прилипания электронов к молекуле  $CO_2$  и электрон-ионной рекомбинации как функция приведенной напряженности электрического поля  $\frac{|E|}{N}$  [6];  $D_{am}$  - коэффициент амбиполярной диффузии;  $\bar{E}_e$  - средняя энергия электронов;  $J_p$  - сила суммарного тока, протекающего через ЭРК;  $v_{CO_2}$ ,  $v_{N_2}$ ,  $v_{He}$  - частоты столкновений иона молекулы сорта  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $He$  с другими молекулами смеси;  $E_{CO_2}^{(1)}$ ,  $E_{CO_2}^{(2)}$ ,  $E_{CO_2}^{(3)}$  и  $E_{N_2}$  - объемные плотности энергии симметричных, деформационных, антисимметричных колебаний молекул  $CO_2$  и колебаний молекул  $N_2$ ;  $z_2$ ,  $z_3$  - среднее число квантов, приходящееся на одну молекулу в соответствующих

колебательных модах молекулы  $\text{CO}_2$ ,  $z_2^p$  - равновесное значение величины  $z_2$ ;  $\nu_i$  ( $i = 1, 3$ ) - частота  $i$ -й моды молекулы  $\text{CO}_2$ , а  $\theta_i$  - ее характеристическая колебательная температура [7];  $\tau_{VV}$  - время  $VV$  обмена между верхним лазерным уровнем и деформационной модой,  $\tau_{VT}$  - время релаксации деформационной моды;  $k^{(u)}\left(\frac{|E|}{N}\right)$  и  $k^{(l)}\left(\frac{|E|}{N}\right)$  - коэффициенты, определяющие долю вкладываемой в объеме разряда мощности, которая идет на возбуждение соответствующих колебательных уровней и задаются аппроксимационными зависимостями [8];  $K_{amp}$  - коэффициент усиления излучения в среде ЭРК;  $S_D = |AE| + |EC| + |CD|$  - длина оптического пути лучей многоходовой М-моды [9] за один полупроход (рис. 2);  $T_{mir}$  - прозрачность выходного плоского зеркала оптического резонатора;  $S$  - расстояние вдоль трассы М-моды, отсчитываемое от плоского зеркала;  $r_s, \varphi_s, z_s$  - координаты точки вдоль лучевой трассы М-моды;  $d_p(\alpha)$  - диаметр окружности падения (отражения) лучей трасс М-моды на плоское зеркало;  $\theta$  - угол поворота плоского зеркала вместе с внутренним цилиндром при разъюстировке резонатора (рис. 1);  $d_{90}$  - диаметр девяностоградусного раствора асферического зеркала (рис. 1).

Согласно оптико-геометрическому подходу будем проследивать изменение интенсивности вдоль осевого контура каждой М-моды без учета влияния других мод (рис. 2) и далее будем полагать, что для каждой М-моды система пучков с углами отклонения лучей  $\pm\alpha$  образует «квазиплоский» слой (рис. 2). Эти пучки являются гауссовыми со своими параметрами, определяемыми лучевыми матрицами полупрохода. Также далее при расчетах будем использовать геометрию трасс М-мод съюстированного резонатора ( $\theta=0$ ,  $r_1(\varphi, z) = R_1$ ). В соответствии с принятым положением удельная объемная мощность энергосъема в лазерном излучении  $Q_l$  в точке на расстоянии  $s$  от  $A$  (рис. 2) представляется как

$$Q_l = K_{amp}(r_s, \varphi_s, z_s) \left( dI_A(\alpha, s) + dI_{A'}(-\alpha, s) \right),$$

где  $dI_A(\alpha, s)$ ,  $dI_{A'}(-\alpha, s)$  - интенсивности на осевых контурах гауссовых пучков, исходящих соответственно из  $A$  и  $A'$ . Поэтому на основании (7), условия стационарной генерации (8) и с учетом (9) получим формулу для интенсивности  $dI_{+A}^{(0)}(\pm\alpha)$  на внутренней поверхности плоского зеркала, соответствующей лучевой трассы М-моды с углом отклонения оси пучка на угол  $\pm\alpha$  и диаметром  $d_p(\alpha)$  (рис. 2)

$$dI_{+A}^{(0)}(\pm\alpha) = \frac{1}{2} k_I \int_0^{S_D} \left[ \left( \frac{3\theta_2 k^{(u)}}{\theta_3} + k^{(l)} \right) Q_p - k_{VT}(z_2 - z_2^p) \right] ds, \quad (10)$$

$$k_I = \frac{(1 - T_{mir})(\nu_3 - \nu_1)}{\left( \frac{3\theta_2 \nu_3}{\theta_3} - \nu_1 \right) \cdot T_{mir}}$$

В соответствии с формулой (10) интенсивность  $dI_{+Aex}^{(0)}(\pm\alpha)$  на внешней поверхности плоского зеркала после его прохода (рис. 2) представляется как

$$dI_{+Aex}^{(0)}(\pm\alpha) = T_{mir} \left( dI_{+A}^{(0)}(\pm\alpha) + \frac{1}{2} \tilde{k}_I \int_0^{S_D} \left[ \left( \frac{3\theta_2 k^{(u)}}{\theta_3} + k^{(l)} \right) Q_p - k_{VT}(z_2 - z_2^p) \right] ds \right) = \quad (11)$$

$$= \frac{1}{2} \tilde{k}_I \int_0^{S_D} \left[ \left( \frac{3\theta_2 k^{(u)}}{\theta_3} + k^{(l)} \right) Q_p - k_{VT} (z_2 - z_2^p) \right] ds, \quad \tilde{k}_I = \frac{(v_3 - v_1)}{\left( \frac{3\theta_2 v_3}{\theta_3} - v_1 \right)}.$$

Средняя мощность выходного излучения лазера  $P_l$  на плоском зеркале резонатора на основании (11) с учетом выполнения равенства  $dI_{+Aex}^{(0)}(\alpha) = dI_{+Aex}^{(0)}(-\alpha)$  определяется с помощью формулы

$$P_l = \frac{2\pi}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} 2dI_{+Aex}^{(0)}(\alpha) \int_{\frac{d_p(\alpha)}{2} - \omega_A(\alpha)}^{\frac{d_p(\alpha)}{2} + \omega_A(\alpha)} \exp \left[ \frac{-2 \left( \rho - \frac{d_p(\alpha)}{2} \right)^2}{\left( \omega_A(\alpha) \right)^2} \right] \rho d\rho d\alpha = \quad (12)$$

$$= \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} dP_l(\alpha) d\alpha, \quad dP_l(\alpha) = 4\pi \Psi(1) dI_{+Aex}^{(0)}(\alpha) d_p(\alpha) \omega_A(\alpha),$$

где  $\omega_A(\alpha)$  - радиус «перетяжки» гауссового пучка на плоском зеркале (рис. 2),  $\Psi(1) = \int_0^1 \exp(-2\xi^2) d\xi$ ,  $\alpha_{\max}$  - угол максимального отклонения трассы М-моды.

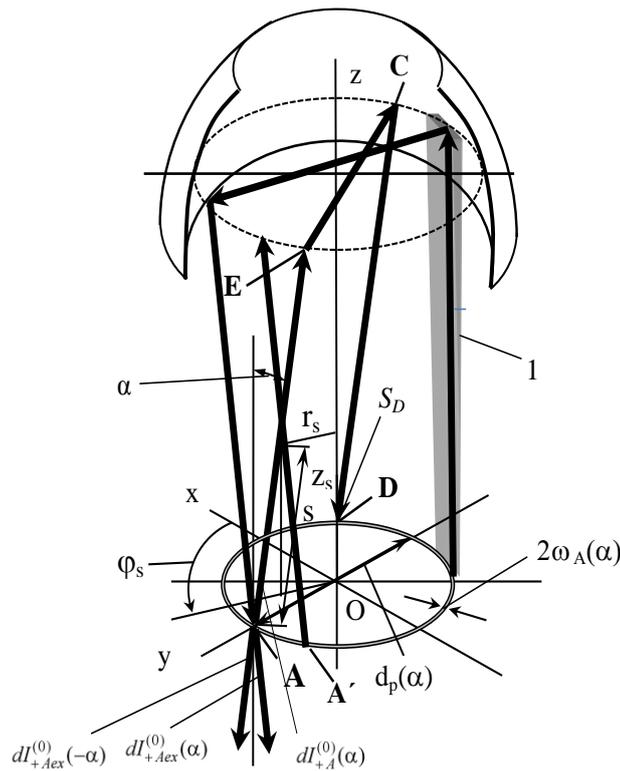


Рис. 2 – «Квазиплоский» слой – 1 системы гауссовых пучков лучей М – моды с углом отклонения осей пучков на угол  $\pm\alpha$ .

Уравнения математической модели (1) – (6) дополним краевыми условиями (рис. 1) (параметры течения на второй полудлине разрядной камеры со стороны асферического зеркала симметричны аналогичным параметрам первой полудлины со стороны плоского зеркала):

$$u_z(R_2, z) = 0, \quad u_z(R_1, z) = 0, \quad z_0 \leq z \leq z_0 + L_z + \Delta z_0;$$

$$(T - T_0)|_{r=R_1} = 0, \quad (T - T_0)|_{r=R_2} = 0, \quad z_0 \leq z \leq z_0 + L_z + \Delta z_0;$$

$$\alpha_p(z, R_2) = 0, \quad \alpha_p(z, R_1) = 0, \quad z_0 \leq z \leq z_0 + L_z + \Delta z_0;$$

перепад давления на полудлине ЭРК  $\Delta P = P\left(\frac{L_z}{2}\right) - P(z_0) = \Delta P_0$ , по которому определяется массовый расход газовой смеси  $q_{mix}$ .

Для рассматриваемых параметров геометрии и плазмы ЭРК можно допустить следующие приближения:

– модуль компоненты напряженности электрического поля  $|E_z|$ , входящей в формулу (6) для мощности энерговклада в разряде  $Q_p$  в силу симметрии задачи и осевой однородности параметров плазмы можно считать приближенно равным  $|E_z| = 2U_p / L_z$ , где  $U_p$  - разность потенциалов между анодом и кольцевым катодом ЭРК (рис. 1);

– влияние удельной объемной мощности энерговклада в разряде  $Q_p$  на распределение поля температур газовой смеси в диапазоне разности потенциалов, прикладываемой к плазме,  $U_p = 1500 \div 5000$  в пренебрежимо мало. В этой связи распределение поля температур газовой смеси в ЭРК можно считать однородным и равным  $T_0 = 298$  К.

На основе предложенного алгоритма в системе Compaq Visual Fortran Version 6.6 создана программа «Work\_CO2» и с её помощью проведены расчеты выходных параметров ЭРК коаксиального CO<sub>2</sub> - лазера в зависимости от входных параметров газовой смеси и геометрии разрядной камеры, которые представлены в таблице 1.

На рисунках 3, 4 приведены результаты расчета распределения параметров рабочей ЭРК, а

также зависимостей мощности энерговклада  $P_{int} = 2\pi \int_0^{L_z} \int_{R_1}^{R_2} r Q_p dr dz$ , мощности излучения

$P_l$  и КПД лазера  $\eta_l = P_l / P_{int}$  от напряжения, приложенного к ЭРК.

Таблица 1 – Входные параметры рабочей ЭРК

	$L_z, \text{м}$	$R_1, \text{м}$	$R_2, \text{м}$	$M_{CO_2}, 10^{-27} \text{ кг}$	$M_{N_2}, 10^{-27} \text{ кг}$	$M_{He}, 10^{-27} \text{ кг}$	$\chi_{CO_2}$	$\chi_{N_2}$	$\chi_{He}$	$P, \text{Па}$	$\mu_e, 10^{24} \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$q_0, 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$E_{e0}, 10^{-19} \text{ Дж}$	$A_e, 10^{21} \text{ Дж} / (\text{В}^2 \cdot \text{м}^4)$ $10^{21} \text{ Дж} / (\text{В}^2 \cdot \text{м}^4) 10^{21} \text{ Дж} / (\text{В}^2 \cdot \text{м}^4)$	$T_{mir}$	$q_{mir}, \text{м}^3 / \text{с}$
1	0.024	0.039	73.07	46.50	6.64	0.1	0.1	0.8	1320	2	1.5	0.8	0.2	0.3	0.003	

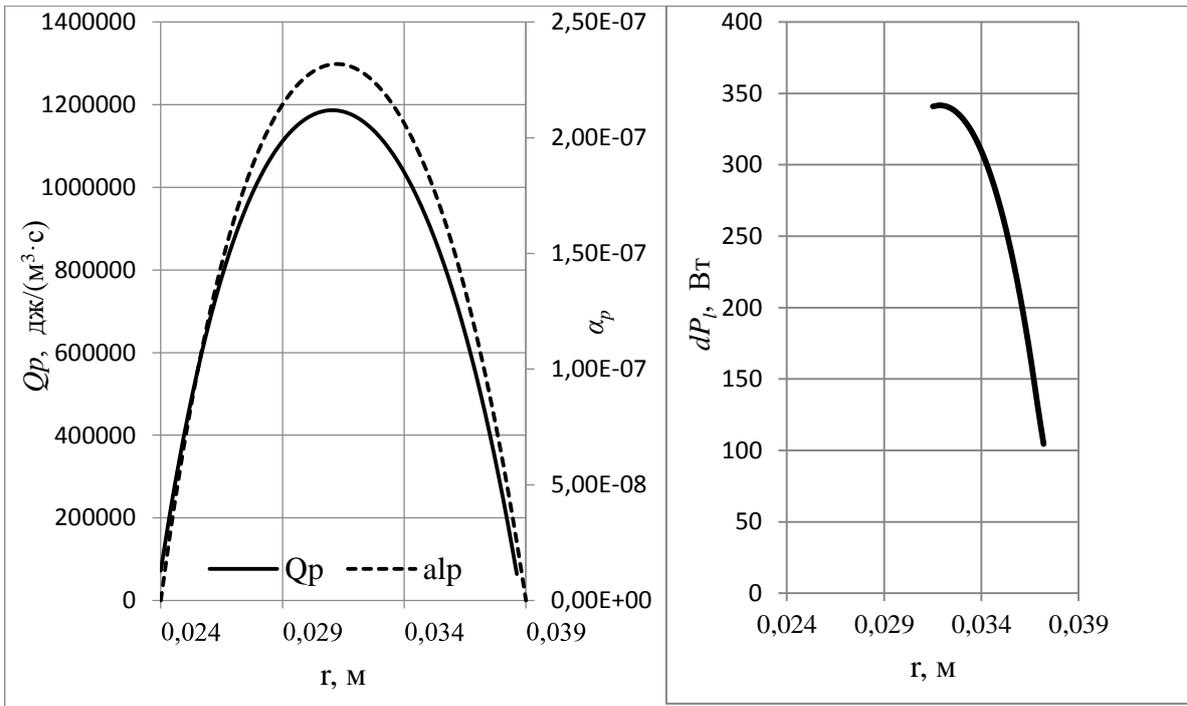


Рис. 3 – Распределения мощности энерговклада в разряде  $Q_p(r)$ , степени ионизации газа  $\alpha_p(r)$  в радиальном направлении, удельного энергосъема  $dP_p(r)$  на плоском зеркале при рабочем напряжении  $U_p = 2000$  в;  $\alpha_{\text{max}} = 1,18 \cdot 10^{-2}$  рад,  $r(\alpha_{\text{max}}) = 3,72 \cdot 10^{-2}$  м.

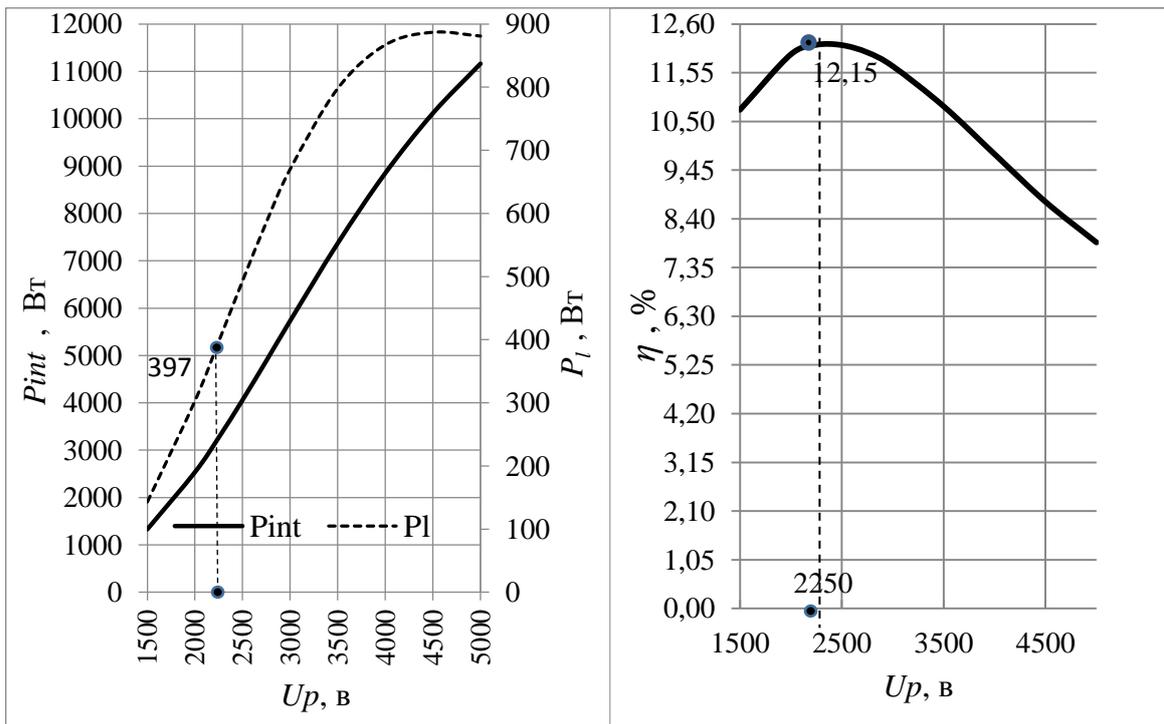


Рис.4 – Мощность энерговклада, мощность излучения и коэффициент полезного действия лазера, • - напряжение максимального КПД.

Таким образом, предложена методика расчета средней мощности выходного излучения коаксиального  $\text{CO}_2$ -лазера непрерывного действия. Приведен пример расчета распределения параметров ЭРК заданной геометрии при рабочем напряжении, а также мощности энерговклада, мощности излучения и коэффициента полезного действия лазера в зависимости от напряжения, прикладываемаемого к ЭРК. Показано, что максимальный КПД лазера достигается при напряжении близком рабочему.

**Список литературы**

1. Колесников В.Ю., Сидоров И.Н., Ильин Г.И., Морозов Г.А., Морозов О.Г. Учет угловой несоосности цилиндров электроразрядной камеры коаксиального СО<sub>2</sub>-лазера // Вопросы электротехнологии. 2015. № 4 (9). С. 39-44.
2. Колесников В.Ю., Сидоров И.Н., Ильин Г.И., Морозов Г.А., Морозов О.Г. Учет продольной несимметричности цилиндров электроразрядной камеры коаксиального СО<sub>2</sub>-лазера // Вопросы электротехнологии. 2015. № 4 (9). С. 45-53.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Гос. Энергетическое изд – во, 1960.
4. Вайсфельд М.П., Польский Ю.Е. О тепловом режиме коаксиального СО<sub>2</sub>-лазера низкого давления // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 10. С. 2230-2233.
5. Айбатов Л.Р., Орлов Б.В., Польский Ю.Е., Хохлов Ю.М. Анализ работы импульсного генератора в системе предыонизации газовых смесей // Радиотехника и электроника, 1986. Т. 31. № 7. С. 1352-1357.
6. Глотов Е. П., Данилычев В.А., Холин И.В. Прилипание и рекомбинация в плазме разряда, возбуждаемого электроионизационным методом. Труды ФИАН. 1980. 116.
7. Андерсон Д. Газодинамические лазеры: введение. М.: Мир, 1978.
8. Гордиец Б. Ф., Осипов А. И., Шелепин Л. А. Кинематические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980.
9. Воронов В. И. Пространственные характеристики многоходовых мод в лазерах с активным объемом кольцевого сечения. // ЖТФ. 1995. Т. 65. Вып. 7. С. 98–107.

05.13.18

**А.В. Ромодин канд. техн. наук, А.С. Семенов**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
факультет электротехнический,  
кафедра микропроцессорные средства автоматизации,  
Пермь, romodin@msa.pstu.ru

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ**

*В рамках статьи рассмотрено внедрение технического учета на месторождения нефти и газа. Задачей работы является использование математического моделирования для составления описания потребления каждого элемента с целью ведения технического учета на базе уже имеющихся телекоммуникационных систем.*

*Так как роль технического учета в процессе управления предприятием высока, внедрение систем мониторинга большинства технологических параметров является первостепенной задачей. Результаты математического моделирования позволят вести технический учет на базе систем мониторинга других технологических параметров, что значительно дешевле.*

*Ключевые слова: математическое моделирование, технический учет электроэнергии, контроль энергоресурсов.*

Основываясь на техническом оснащении нефтедобывающих месторождений, можно сказать о том, что в системах технического учета имеется оборудование, направленное только на измерение технологических параметров. Например, дебет добываемой жидкости, давление и др. Но, как правило, учет электроэнергии ведется только на границе балансовой принадлежности компаний (коммерческий учет).

В плане управления величинами добычи нефти у компаний имеется необходимое техническое оснащение, но использовать его рационально не выйдет без систем технического учета электроэнергии. Математическое моделирование позволит с минимальными вложениями реализовать технический контроль потребления электроэнергии.

Проблемы технического учета электроэнергии в промышленности уже давно рассматривались во многих сферах технической деятельности [1]. Решение этих вопросов рассматривалось в различных литературных источниках [2], начиная с прогнозно-аналитических вариантов [3] и заканчивая внедрением в производство разработанных инновационных и известных способов учета электрических мощностей.

Огромное влияние на развитие систем мониторинга оказывает стандарт МЭК 61850 и всеобщая тенденция к интеллектуализации сетей, что позволяет в большом объеме отслеживать технологические параметры электрических сетей. Эти параметры можно обрабатывать с применением современных технологий и подходов, например, использовать нейро-аналитические аппараты с применением машинного обучения [4] для анализа состояния сетей и оборудования.

Не были замечены источники литературы, в которых бы описывались методы математического определения электропотребления в рамках технического учета на основе технологических параметров, или параметрах, на прямую не связанных с электропотреблением, для дальнейшего прогнозирования и регулирования затрат электроэнергии.

Использование математической модели поможет вести технический учет электроэнергии без больших финансовых вложений. Из минусов можно отметить необходимость детально описывать каждый элемент системы и рассматривать влияние всех элементов друг на друга с целью уменьшения разницы вычислений от действительных значений. Требуется привязываться к конкретному оборудованию и технологическим параметрам, однако сама математическая модель остается единой для любого объекта.

Для первичного расчета требуется рассматривать всю систему электроснабжения от повышающего трансформатора до погружного электродвигателя. На финальном этапе расчета требуется также учитывать и станцию управления, которая расположена до повышающего трансформатора. Для упрощения расчетов требуется рассматривать однофазную схему замещения оборудования. Г-образная схема замещения представлена на рисунке 1.

Что касается расчета номинальных параметров, нет ничего инновационного. Но требуется создать именно ту математическую модель, при которой будет достоверно отображаться нагрузочный режим работы оборудования, поэтому нужны поправочные коэффициенты нагрузочного режима при расчете всех параметров сопротивлений. Отталкиваясь от подсчитанных нагрузочных параметров оборудования, необходимо оценить потери в оборудовании, зная мощность нагрузки на валу двигателя с целью определения фактического потребления электроэнергии всей скважины. Следует также понимать и учитывать, что именно нагрузка на валу двигателя задает режим работы и величины потребляемой мощности всего оборудования, в связи с этим весь расчет ведется «снизу – вверх» методами итерационного исчисления, что позволяет приблизиться к фактическим значениям, сводя погрешность к минимуму.

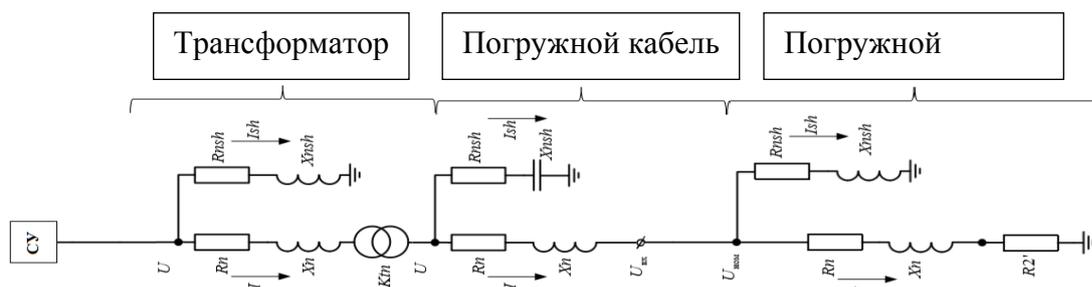


Рис. 2 – Г-образная схема замещения

На первом этапе необходимо определить мощность нагрузки на валу погружного электродвигателя в зависимости от его режима работы прибегая к итерационным методам расчета.

Затем, исходя из уже рассчитанных параметров оборудования определяются потери в каждом элементе системы с учетом изменения потребления мощности погружного двигателя.

Рассчитав потери в каждом элементе скважинного оборудования, можно составить функциональную зависимость, которая представляет собой сумму потерь на каждом элементе и мощности на валу двигателя в зависимости от дебита добываемой жидкости. Затем следует представить ее полиномом с минимальными отклонениями от вычислений, ограничивая эту функцию минимальным и максимальным значением дебита. Полученную функциональную зависимость можно использовать для оптимизации режимов работы и регулирования загрузки скважинного оборудования с целью сохранения требуемых объемов дебита нефтяной жидкости и оптимальным использованием электроэнергии, а также для дополнения автоматизированной системы управления [5].

Результаты данной работы могут быть серьезным вспомогательным средством для установки приемлемых режимов работы электрооборудования, предугадывания уровня расхода электроэнергии и формирования информационной базы для управления

циклическим временем жизни электротехнического комплекса [6, 7]. В рамках исследования для оптимизации режима работы оборудования необходимо задаться ограничениями параметров, которые фактически не могут изменяться в любой момент времени. Например, высота подъема жидкости. Также следует учесть, что суммарный дебит на месторождении должен оставаться постоянным, а дебит каждой скважины может изменяться в допустимых пределах, чтобы расчетная потребляемая мощность не превышала номинальной мощности двигателя, и коэффициент полезного действия (КПД) двигателя оставался в допустимых пределах регулирования.

На текущем этапе исследования для внедрения технического учета на нефтедобывающих предприятиях требуется провести анализ скважинного оборудования, изучить режимы его работы и учесть множество технологических параметров, которые оказывают влияние на потребление электроэнергии в процессе нефтедобычи. Реализация технического учета по средствам математического моделирования позволит с минимальными вложениями получить систему оптимизации режимов работы и аппарат для мониторинга не только потребления энергоресурсов, но и текущего состояния оборудования.

### **Список литературы**

1. *Fursanov M.I.* Calculation of technological consumption (loss) of electricity in modern 0.38-10 kV electrical distribution networks / Fursanov M. I., Zolotoy A.A., Makarevich V.V. // *Energetic*, №5, 2018. Pp. 408-422
2. *Lepenoti K.* Prescriptive analytics: Literature review and research challenges / Lepenoti K., Bosdekis A., Apostolu D., Mentas G. // *International Journal of Information Management* №50, pp. 57-70
3. *Gaownizek K.* Simulations Study on clustering advances to short-term electricity forecasting / Zdowski T., Gaownizek K. // *Hindaw complexity*, 2018. Pp. 1-21
4. *Sun M.* Probabilistic Peak Load Estimation in Smart Cities Using Smart Meter Data / Sun M., Wang Y., Strac G., Kang C. // *IEEE Transactions on Industrial electronics*, №2, 2019, C. 1608-1618
5. *Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Лузянин И.С., Селезнев В.В., Шамаев В.А.* Разработка системы поддержки управленческих решений по интеллектуальному управлению объектами нефтедобычи на месторождениях нефти и газа / *Информационно-измерительные и управляющие системы*. Т. 16. № 9, 2018, С. 59-67.
6. *Лейзгольд Д.Ю., Панулов А.В., Ромодин А.В.* Определение оптимального распределения генерирующих мощностей в сетях с двухсторонним питанием на основе методов поиска кратчайшего пути во взвешенном графе / *Научно-технический вестник Поволжья*. 2017. № 4. С. 137-139.
7. *Лейзгольд К.А., Ромодин А.В., Мишурунских С.В.* К вопросу о прогнозировании потребления электрической энергии энергетическим оборудованием предприятий нефтегазодобывающей отрасли / *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11-3. С. 548-552.

05.13.18

**О.В. Соловьева канд. физ.-мат. наук, С.А. Соловьев, Р.Р. Яфизов, Р.Р. Хусаинов**Казанский государственный энергетический университет,  
Казань, solovyeva.ov@kgeu.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ  
В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

*В данной работе проведено исследование течения газа через пористые структуры. Построены геометрические модели пористых сред с различными характеристиками, проведены численные расчеты изменения перепада давления в зависимости от скорости потока. Модели пористых структур со случайным расположением пор обеспечивают нелинейное изменение перепада давления, а упорядоченность структуры приводит к результатам более близким к данным, полученным по модели Дарси. Результаты численных исследований хорошо согласуются с экспериментами.*

*Ключевые слова: высокопористый ячеистый материал, модель Дарси, прямое численное моделирование, гидродинамический расчет.*

Пористые структуры имеют широкое приложение как в быту, так и промышленности. Металлические высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ) обладают отличными характеристиками, такими как: развитая площадь поверхности, высокая прочность при незначительном весе, большая площадь поверхности относительно объема, вследствие чего они применяются в микроэлектронике в качестве радиаторов для отвода тепла, в качестве компактных теплообменников и матриц для химических катализаторов. Перепад давления в данной структуре играет ключевую роль, так как от него зависит формирование потока, теплообменные и химические процессы [1].

Большинство исследований базируется на применении компьютерной томографии (КТ) [2]. Также применяется и метод прямого численного моделирования, в некоторых исследованиях применяются комбинации из КТ и численного моделирования [3]. Основной проблемой исследователей является, то что полученные разными авторами экспериментальные данные могут иметь большое расхождение между собой, это затрудняет создание универсальных полуэмпирических зависимостей [4]. Для изучения трехмерных пористых структур создаются различные приближенные модели, которые представляют собой: тетраэдраэдронные ячейки Кельвина, кубические решетки и многогранные структуры [5,6].

Для упрощения исследований создаются аналитические модели, которые позволяют прогнозировать перепад давления различных жидкостей и газов, проходящих через ВПЯМ, к таким моделям относятся модель Дарси и модель Форхгеймера [7, 8].

Определение влияния геометрии пористой структуры на гидродинамику потока остается актуальной фундаментальной и инженерной задачей, требующей подробных экспериментальных исследований, детального компьютерного моделирования.

***Постановка задачи и численное моделирование***

Для проведения численных исследований перепада давления были созданы четыре геометрические модели пористых структур: со случайным (рис.1 а) и упорядоченным расположением ячеек (рис.1 б), модель со случайной упаковкой сфер и цилиндров (рис.1 с) и простой цилиндр, внутри которого для расчета используется осредненная модель течения в пористой среде (рис.1 d).

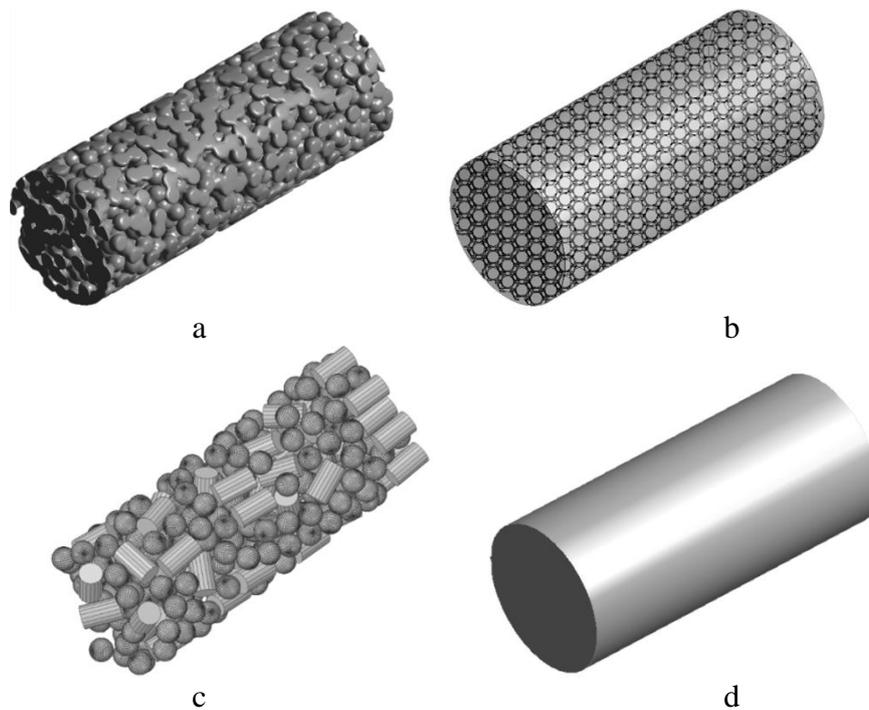


Рис. 1. Компьютерная модель: а – структура со случайным расположением пересекающихся сфер; б – упорядоченное расположение взаимно пересекающихся сфер; с – пористая среда, состоящая из набора сфер и цилиндров со случайным расположением в пространстве; д – область, в которой используется осредненная модель течения в пористой среде (модели Дарси)

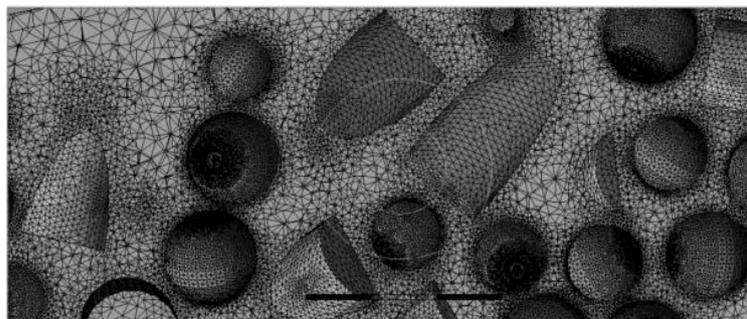


Рис. 2. Пример сеточного разбиения для геометрии со случайной упаковкой цилиндров и сфер

Размер сетки, обеспечивающей высокую точность расчетов, составлял в среднем от 10 до 20 миллионов ячеек.

### ***Результаты исследования и их обсуждение***

Из рисунка 3 видим, что результаты расчета перепада давления в пористой структуре со случайной упаковкой сфер и цилиндров хорошо коррелируют с результатами, полученными по полуэмпирической зависимости из работы [3], тогда как результаты для упорядоченной упаковки согласуются с результатами, полученными на основе полуэмпирической зависимости из работы [4].

Зависимость перепада давления от скорости для структуры со случайным расположением ячеек изменяется нелинейно, это объясняется сложной геометрической составляющей, из-за чего прогнозирование поведения потока с использованием осредненных моделей затруднительно.

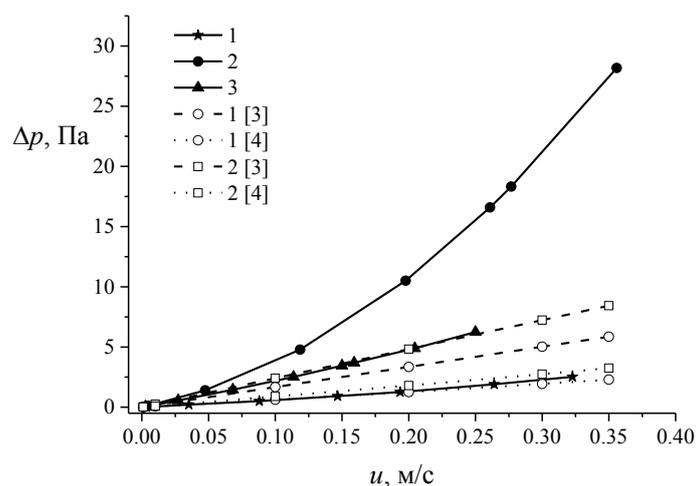


Рис. 3. Изменение перепада давления от скорости для разных геометрий пористой среды: 1 – упорядоченное расположение ячеек, 2 – случайное расположение ячеек, 3 – случайная упаковка из сфер и цилиндров, 1 [3] и [4] – экспериментальные результаты упорядоченной структуры из работы [3] и [4] соответственно, 2 [3] и [4] – экспериментальные данные для случайной упаковки из работы [3] и [4] соответственно.

#### **Заключение**

Проведено детальное численное моделирование течения газа в пористых средах различной геометрии. Результаты расчетов хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований других авторов, а также с результатами, полученными по модели Дарси. Зависимость перепада давления от скорости фильтрации для случая случайно расположенных пересекающихся сфер носит нелинейный характер, следовательно, для применения осредненной модели течения в пористой среде в данном случае следует использовать модель Форхгеймера. Данные исследования вносят вклад в развитие знаний о гидродинамике в пористых средах при исследовании на мезомасштабе и могут лечь в основу создания пористых материалов с улучшенными свойствами.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-41-160005.*

#### **Список литературы**

1. Garrido G.I., Patcas F.C., Lang S., Kraushaar-Czarnetzki B. Mass transfer and pressure drop in ceramic foams: A description for different pore sizes and porosities // *Chemical Engineering Science*. 2008. vol. 63. pp. 5202-5217.
2. Della Torre A., Montenegro G., Tabor G.R., Wears M.L. (2014). CFD characterization of flow regimes inside open cell foam substrates // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2014. vol. 50. pp. 72-82.
3. Hellmann A., Pitz M., Schmidt K., Haller F., Ripperger S. Characterization of An Open-Pored Nickel Foam with Respect to Aerosol Filtration Efficiency by Means of Measurement and Simulation // *Aerosol Science and Technology*. 2015. vol. 49. pp. 16-23.
4. Wake D., Brown R.C., Filtration of Monodisperse Aerosols and Polydisperse Dusts by Porous Foam Filters // *Journal of Aerosol Science*. 1991. vol. 22. no. 6. pp. 693-706.
5. Horneber T., Rauh C., Delgado A. Numerical simulations of fluid dynamics in carrier structures for catalysis: characterization and need for optimization // *Chemical Engineering Science*. 2014. vol. 117. pp. 229-238.
6. Bai M., Chung J.N. Analytical and numerical prediction of heat transfer and pressure drop in open-cell metal foams // *International Journal of Thermal Sciences*. 2011. vol. 50. pp. 869-880.
7. Yang X.H., Song S.Y., Zhang L.Y., Lu T.J. Pore-Scaled Analytical Modelling of Permeability and Inertial Coefficient for Pressure Drop Prediction of Open-Cell Metallic Foams // *5th International Conference on Micro/Nanoscale Heat and Mass Transfer*. 2016. V002T15A001.
8. Zaripov S.K., Solov'eva O.V., Solov'ev S.A. Inertial Deposition of Aerosol Particles in a Periodic Row of Porous Cylinders // *Aerosol Science and Technology*. 2015. vol. 49. no 6. pp. 400-408.

05.13.18

**С.В. Фоминых, А.В. Ромодин канд. техн. наук**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
электротехнический факультет,  
кафедра микропроцессорные средства автоматизации,  
Пермь, romodin@msa.pstu.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

*В работе представлен расчет параметров для оптимизации системы технического обслуживания и ремонта электросетевого оборудования. Эта система является важнейшим методом поддержания возрастного оборудования в пределах энергоэффективной работы. Поскольку для модернизации системы требуются огромные бюджеты это приводит к тенденции совершенствования методов и критериев принятия решений по эффективному управлению техническим обслуживанием и ремонтом энергетического оборудования. Описанная математическая модель основана на теории управляемых Марковских процессов. Этот математический метод позволяет описывать "стареющие" системы.*

*Ключевые слова: система технического обслуживания и ремонта, теория управляемых Марковских процессов, распределительные сети.*

Перебои с электроснабжением потребителей обычно связаны с отказами оборудования в распределительных системах (РС). Так как конструкторские недочеты в проектировании оборудования свойственны энергетике прошлого столетия, и применение эффективных устройств для ограничения перенапряжений привели к уменьшению проверок оборудования испытательным напряжением, что влечет за собой недостаточность собираемой информации о состоянии эксплуатируемой техники.

Поэтому, принимая во внимание как надежность, так и экономическую оценку распределительного оборудования, для предприятий занимающихся передачей электроэнергии крайне важно выбрать программу технического обслуживания оборудования. В последние годы основное внимание уделяется техническому обслуживанию, которое полагается на диагностику неисправностей и оценку состояния оборудования.

Для определения состояния элементов РС, и дальнейшей оптимизации системы технического обслуживания и ремонта, можно пойти разными путями. В настоящее время для диагностики могут использоваться байесовская сеть [1], либо создаются различные модели оценки надежности [2], которые основаны на использовании данных из ранее упомянутых анализов и применении статистических моделей. Также возможно пойти другим путем и создавать различные автоматизированные системы по управлению интеллектуальными объектами [3].

При эксплуатации РС происходят случайные и отказы связанные с износом оборудования. Случайные отказы в основном связаны со случайными внешними воздействиями на работу энергетического оборудования (грозовое перекрытие изоляции и др.) и не зависят от его технического состояния. Поэтому для того, чтобы принять оптимальную программу технического обслуживания оборудования следует в начале определить внутренние параметры оборудования и внешние параметры окружающей среды, влияющие на надежность оборудования. Для этого воспользуемся следующими уравнениями, первым таким уравнением будет описание эволюции "стареющих" систем с возрастающей функцией частоты отказов [4]:

$$\omega(t) = \omega_0 + b \cdot t,$$

где  $\omega_0$  – начальная частота отказов,  $b$  – коэффициент указания скорости старения оборудования.

Отказы различных элементов распределительной сети приводят к прерыванию электроснабжения и, как следствие, нарушению процесса нефтедобычи на месторождении. Для определения количества, не добытых нефтепродуктов воспользуемся уравнением, расположенным ниже [4]:

$$\Delta\Pi = P_{load} \cdot D \cdot \Delta t_{alt},$$

где  $P_{load}$  – суммарная активная мощность потребляемая КТП,  $D$  – суммарный дебет скважин находящихся на КТП,  $\Delta t_{ALT}$  – длительность перебоя в электроснабжении.

Следующие уравнение построено на предположении, что вероятность временного интервала между отказами не является постоянной и зависит от начальной точки  $t_0$  на оси времени. Таким образом, уравнение отказа включает срок службы оборудования и его особые характеристики ухудшения. Вероятность выхода из строя  $i$ -го нерезервированного блока энергосистемы определяется по уравнению [4]:

$$Q_i(t) = 1 - \exp \left[ -\omega_{oi} \cdot \Delta t - b_i \cdot \frac{2 \cdot t_{oi} \cdot \Delta t + \Delta t^2}{2} \right],$$

где  $\Delta t$  - расчетное время эксплуатации;  $t_{oi}$  - срок службы оборудования.

Для описания реально управляемого случайного процесса работы электросетевого оборудования используются однородные полумарковские модели с непрерывным временем. Для этого система представляется в виде ориентированного графа (рис.1). Узлы графа указывают вероятное состояние системы в течение периода эксплуатации, а дуги переходы из одного состояния в другое. Для графического описания используется система алгебраических уравнений.

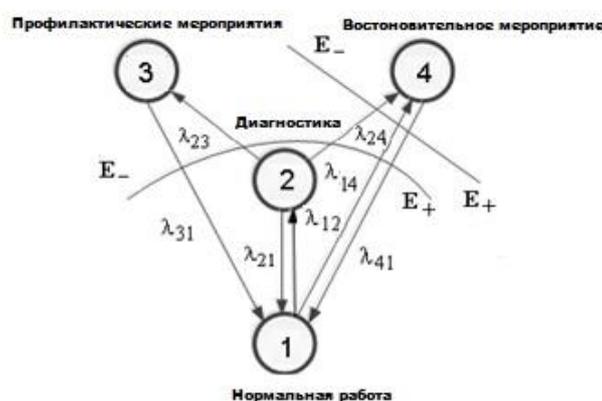


Рис. 1- График состояния энергетического оборудования

$$\begin{aligned} \lambda_{12} \cdot P_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24}) \cdot P_2 &= 0 \\ \lambda_{23} \cdot P_2 - \lambda_{31} \cdot P_3 &= 0 \\ \lambda_{14} \cdot P_1 - \lambda_{24} \cdot P_2 - \lambda_{41} \cdot P_4 &= 0 \quad (2) \\ \sum_{i=1}^4 P_i &= 1, \end{aligned}$$

где  $P_i$  - стационарные вероятности  $P_i$  в  $i$ -м состоянии ( $i=1 - 4$ );

$\lambda_{ij}$  - интенсивности переходов из  $i$ -го в  $j$ -е состояние.

Объектом исследования является часть системы электроснабжения нефтяного месторождения имени Сухарева ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Электроснабжение рассматриваемого объекта месторождения им. «Сухарева» осуществляется от двухтрансформаторной подстанции 110/6 кВ Нартовка (рис.2). Рассчитывать параметры будут производиться для КТП указанных в таблице, основным фактором по которому был произведен отбор КТП для исследования является год ввода в эксплуатацию оборудования. Для расчета необходимы параметры мощности потребляемой КТП и дебет имеющихся скважин.

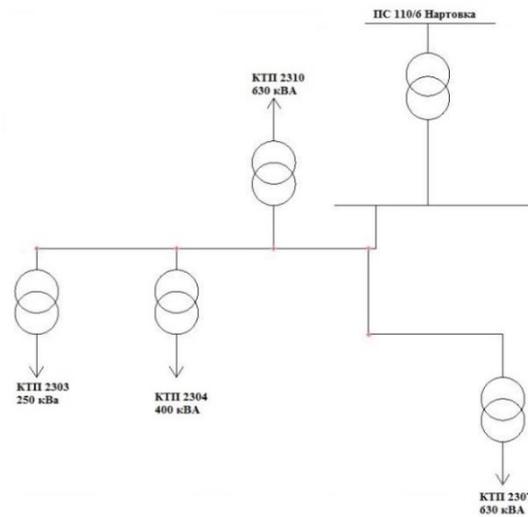


Рис. 2 – Рассматриваемый участок распределенной сети месторождения им. «Сухарева»  
 Таблица – Полученные результаты

№ КТП Парам.	2303	2304	2307	2310
Мощность, кВт	107,5	92,2	142,4	120,96
Дебет, тонна/час	0,1522	0,1055	0,22	0,305
$\Delta\Pi$ , тонна/час	2,05	1,22	3,92	4,6
$t_0$ , (год)	6	3	3	2
$\omega_0$ , (год) <sup>-1</sup>	0,02	0,018	0,018	0,018
$b$ , (год) <sup>-2</sup>	0,002	0,001	0,001	0,001
Q	0,33	0,11	0,11	0,1

Просчитанные параметры (табл.) помогут в дальнейшем решить систему алгебраических уравнений, что в дальнейшем даст возможность оптимизировать систему технического обслуживания и ремонта электросетевого оборудования. Это может быть достигнуто путем увеличения вероятности безотказной работы, минимизации последствий отказов и экономии затрат от внедрения процедур систему технического обслуживания и ремонта. Параметр  $\Delta\Pi$  показывает, какой объем не будет поднят на поверхность, а при помощи параметра Q можно оценивать состояние оборудование, его диапазон варьируется от 0 до 1, где за ноль принимается оборудование, только введенное в эксплуатацию, а за единицу оборудование, которое перешло в не рабочие состояние.

**Список литературы**

1. Zhang Zhe-wen A Transformer Fault Diagnosis Method Based on Bayesian Network / Wang Yong, Ying Ding, Tian lei, Zhou Ying-jian // Journal of Physics: Conference Series № 1213, 2019, С. 1-8
2. Tian F.A Synthetic Condition Assessment Model for Power Transformers Using the Fuzzy Evidence Fusion Method. / Jing Z., Zhao H., Zhang, E., Liu J. // Energies 2019, №12, С. 857-874
3. Петровичев А.Б. Разработка системы поддержки управленческих решений по интеллектуальному управлению объектами нефтедобычи на месторождениях нефти и газа / Ромодин А.В., Лузянин И.С., Селезнев В.В., Шамаев В.А.// Информационно-измерительные и управляющие системы. Т. 16. № 9, 2018, С. 59-67.
4. Rychagova E. Improving the efficiency of electric network equipment operational service / Levin V.M. // E3S Web of Conferences, 2019, №114, С. 1-8

05.13.18

**А.Н. Хворова, С.В. Ерохин канд. техн. наук**

Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет,  
кафедра прикладной математики,  
Москва, attemp2016@gmail.com

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСАЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРЕЩИНОВАТОМ СЛОЕ

*В статье представлена математическая модель движения жидкостей в трещиноватых средах, которая может быть использована при разработке нефтяных месторождений с трещиноватыми коллекторами. Данная модель представлена как начальная задача для нелинейного дифференциального уравнения дробного порядка с переменными коэффициентами, которая решается с помощью построения численной схемы второго порядка. Преимущество модели состоит в том, что она учитывает зависимость мощности  $H$  от значений градиента давления по всей скважине.*

Ключевые слова: *дробная производная, численный метод.*

Движение жидкости в трещиноватом коллекторе описывается формулой, в которой первое слагаемое учитывает потери давления от трения между жидкостью и средой, второе – инерционную составляющую сопротивления движению жидкости [1,2]

$$\nabla P = -\frac{\mu}{k} \cdot \bar{v} - \frac{\mu\beta v}{k} \cdot \bar{v} \quad (1)$$

где  $\nabla P$  – градиент давления,  $\bar{v}$  – вектор скорости,  $k$  – проницаемость среды,  $v$  – модуль  $\bar{v}$ ,  $\beta$  – константа пропорциональности.

В данной задаче мы рассматриваем горизонтальную плоскость слоя мощностью  $H$ , находящейся внутри на одинаковом расстоянии от верхней и нижней границ слоя. Выберем направления координатных осей  $X$ ,  $Y$  в этой плоскости и оси  $Z$  перпендикулярной данной плоскости и рассмотрим уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости:

$$\operatorname{div} \bar{v} = 0. \quad (2)$$

Применяя цилиндрическую систему координат к уравнению (2), получаем

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(rv_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(v_z)}{\partial z} = 0. \quad (3)$$

Для осесимметричного и плоского просачивания, уравнение (3) можно упростить как

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} = 0. \quad (4)$$

С другой стороны, мы можем из уравнения (1) выразить  $v$

$$v = \frac{\sqrt{1 + 4\beta k |\nabla P|} / \mu - 1}{2\beta}. \quad (5)$$

Подставляя уравнение (5) в уравнение (4), получаем

$$\frac{d}{dr} \left[ r \left( \sqrt{1 + \frac{4\beta k |\nabla P|}{\mu}} - 1 \right) \right] = 0.$$

Очевидно, существует такая константа  $C_1$ , что

$$r \left( \sqrt{1 + \frac{4\beta k |\nabla P|}{\mu}} - 1 \right) = C_1 \quad (6)$$

При этом  $|\nabla P| < |\nabla P|_{crit}$ .

На практике предполагается, что зависимость мощности трещиноватого слоя от градиента давления аппроксимируется некоторой степенной функцией

$$H = h \left( \frac{|\nabla P|}{|\nabla P|_{crit}} \right)^\alpha, \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (7)$$

Основываясь на большом количестве экспериментальных данных, вместо уравнения (7), мы можем использовать следующее соотношение

$$H = hD^\alpha \frac{P}{(|\nabla P|_{crit})^\alpha}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (8)$$

где  $h$  – мощность слоя, в котором  $|\nabla P|_{crit}$  критическое значение градиента давления,  $\alpha$  – эмпирический коэффициент, описывающий изменение мощности слоя в зависимости от градиента давления, а  $D^\alpha$  – дробная производная Капуто [3] порядка  $\alpha$ :

$$D^\alpha P = \frac{P}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^r \frac{P'(t)}{(r-t)^\alpha} dt \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) показывают, что  $H$  зависит от значений  $\nabla P$ , распределенных по всей скважине. Предположим, что существует скважина с радиусом  $r_c$ , которая создала слой мощностью  $H$ , тогда поток  $Q$  жидкости представляется в виде

$$Q = 2\pi(rHv)|_{r=r_c} \quad (10)$$

Подставляя уравнение (5) в уравнение (10) получаем поток  $Q$ , в котором просачивание идет в одном направлении:

$$Q = \frac{\pi k H}{\beta} \left( \sqrt{1 + \frac{4\beta k}{\mu} |\nabla P|} - 1 \right) \quad (11)$$

Согласно формуле (8)

$$\sqrt{1 + \frac{4\beta k}{\mu} |\nabla P|} - 1 = \frac{Q\beta |\nabla P|_{crit}^\alpha}{\pi r h D^\alpha P} \quad (12)$$

Получаем другое выражение для константы  $C_1$

$$C_1 = \frac{Q\beta |\nabla P|_{crit}^\alpha}{\pi r h D^\alpha P} \quad (13)$$

С учетом уравнения (12) получаем:

$$[D^\alpha P]^2 |\nabla P| = a(r) D^\alpha P + b(r), \quad 0 \leq \alpha < 1 \quad (14)$$

Где

$$a(r) = \frac{\mu Q |\nabla P|_{crit}^\alpha}{2\pi r h k}; \quad b(r) = \frac{\mu\beta}{k} \left( \frac{Q |\nabla P|_{crit}^\alpha}{2\pi r h} \right)^2 \quad (15)$$

$r \in [r_c, r_k]$ ,  $r_c$  – радиус скважины,  $r_k$  – радиус контура питания.

Уравнение (14) есть нелинейное дробное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами. Перепишем его и зададим начальные условия для уравнения:

$$\begin{aligned} [P'(r) D^\alpha P(r)]^2 &= a(r) D^\alpha P + b(r), \quad 0 < \alpha < 1 \\ P(0) &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Введем преобразования:

$$P'(r) = D^\beta v(r); \quad \beta = 1 - \alpha \quad (17)$$

И перепишем формулу (16) в виде системы (18):

$$\begin{cases} D^\beta v(r)[v(r)]^2 = a(r)v(r) + b(r) \\ D^\alpha P(r) = v(r) \end{cases} \quad (18)$$

При этом [4] имеет место следующее:

$$P(0) = 0 \text{ и } 0 < \alpha, \beta < 1, \quad D^\alpha \cdot D^\beta P(r) = D^{\alpha+\beta} P(r)$$

$$v(0) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^0 (0-t)^{-\alpha} P'(r) dr = 0$$

Решим задачу со следующими параметрами:

$$r_c = 0.1 \text{ м}, r = 100 \text{ м}; \mu = 10^{-13} \text{ Па} \cdot \text{с}, k = 10^{-3} \text{ м}^2, h = 10 \text{ м}, |\nabla P|_{crit} = 2.5 \cdot \frac{10^5 \text{ Па}}{\text{м}}, \beta = 10^3 \text{ с/м}$$

Система уравнений (18) решается в два этапа:

1) Преобразуем и решим первое уравнение системы (18) с начальными параметрами

$$D^\beta v(r) = \frac{a(r)}{v(r)} + \frac{b(r)}{[v(r)]^2}, \quad 0 < r < T, 0 < \alpha < 1, T = 100 \quad (19)$$

$$v(0) = 0$$

Построим численную схему, где за шаг сетки примем значение  $h = T/2N$  для некоторого натурального числа  $N$ .

$$r_i = ih, v_i = v(r_i), f_i = f(r_i, v_i), \quad \forall i = 0, 1, 2, \dots, 2N$$

Решение уравнения сводится к системе [1] ( $m = 0, 1, \dots, N-1$ ):

$$\begin{cases} g_m^1 + a_m^1 v_{2m} + a_m^2 v_{2m+1} + a_m^3 v_{2m+2} = f_{2m+2} \\ g_m^2 + c_m^1 v_{2m} + c_m^2 v_{2m+1} + c_m^3 v_{2m+2} = f_{2m+1} \end{cases} \quad (20)$$

Коэффициенты системы уравнения (20) находятся следующим образом:

$$f_m = \frac{a_m(r_m)}{v_m(r_m)} + \frac{b_m(r_m)}{[v_m(r_m)]^2}$$

$$g_m^1 = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \sum_{k=0}^{m-1} \int_{r_{2k}}^{r_{2k+2}} (r_{2m+2} - r)^{-\beta} (a_1 v_{2k} + a_2 v_{2k+1} + a_3 v_{2k+2}) dr$$

$$g_m^2 = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \sum_{k=0}^{m-1} \int_{r_{2k}}^{r_{2k+2}} (r_{2m+1} - r)^{-\beta} (a_1 v_{2k} + a_2 v_{2k+1} + a_3 v_{2k+2}) dr$$

$$a_m^1 = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_{r_{2m}}^{r_{2m+2}} (r_{2m+2} - r)^{-\beta} a_1 dr; \quad a_m^2 = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_{r_{2m}}^{r_{2m+2}} (r_{2m+2} - r)^{-\beta} a_2 dr$$

$$a_m^3 = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_{r_{2m}}^{r_{2m+2}} (r_{2m+2} - r)^{-\beta} a_3 dr; \quad c_m^1 = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_{r_{2m}}^{r_{2m+2}} (r_{2m+2} - r)^{-\beta} d_1 dr$$

$$c_m^2 = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_{r_{2m}}^{r_{2m+2}} (r_{2m+2} - r)^{-\beta} d_2 dr; \quad c_m^3 = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_{r_{2m}}^{r_{2m+2}} (r_{2m+2} - r)^{-\beta} d_3 dr$$

$$a_1 = \frac{2r - r_{2k+1} - r_{2k+2}}{2h^2} \quad a_2 = \frac{2r - r_{2k} - r_{2k+2}}{-h^2} \quad a_3 = \frac{2r - r_{2k} - r_{2k+1}}{2h^2}$$

$$d_1 = \frac{2r - r_{2m+1/2} - r_{2m+1}}{h^2/2} \quad d_2 = \frac{2r - r_{2m} - r_{2m+1}}{-h^2/4} \quad d_3 = \frac{2r - r_{2m} - r_{2m+1/2}}{h^2/2}$$

$$c_m^1 = b_m^1 + \frac{3}{8} b_m^2; \quad c_m^2 = b_m^3 + \frac{3}{4} b_m^2; \quad c_m^3 = -\frac{1}{8} b_m^2$$

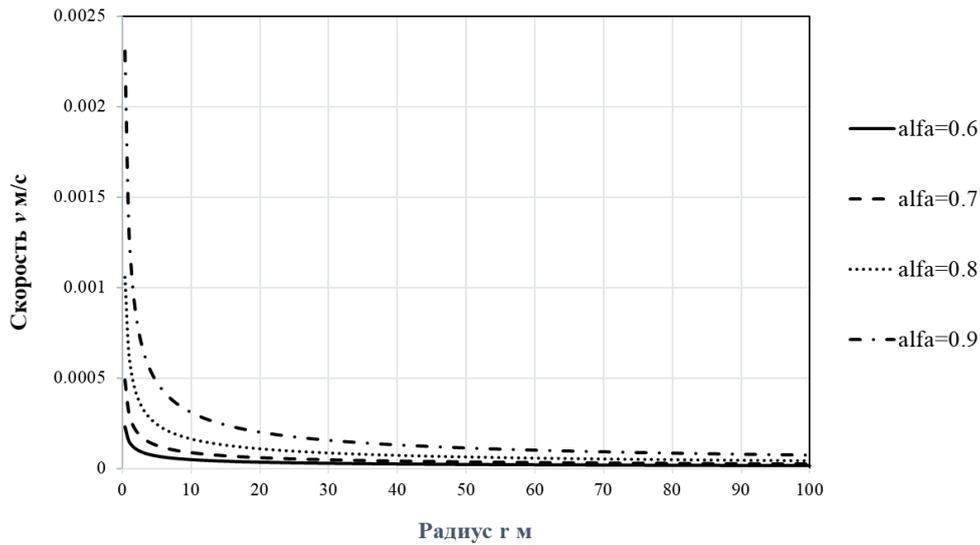


Рис. 1. Изменение скорости  $v$  в области  $r_c < r < r_k$  при  $Q=11,5 \times 10^{-5} \text{ м/с}$  при различных  $\alpha$

2) Затем аналогичным способом найдем значения давления из второго уравнения системы (18)

$$D^\alpha P(r) = v(r); P(0) = 0 \tag{21}$$

В результате получаем изменения значения давления в зависимости от радиуса  $r$ .

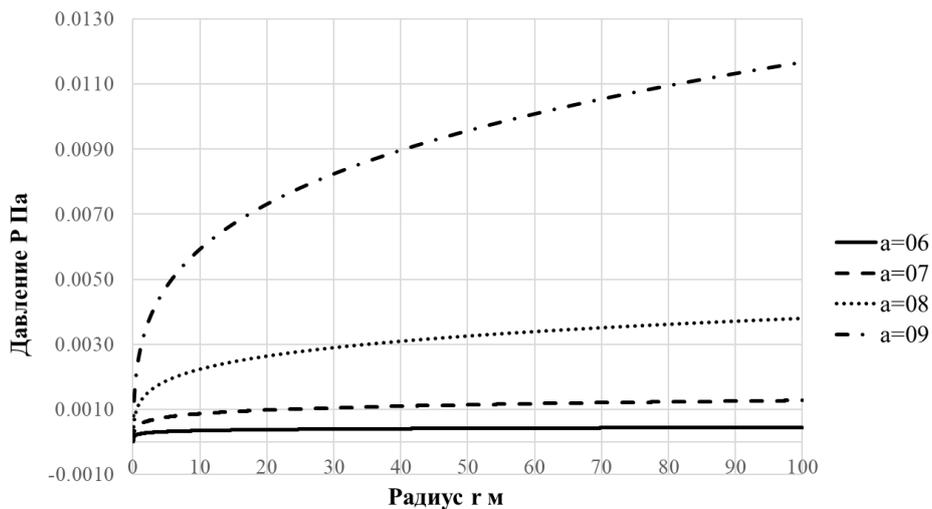


Рис. 2. Зависимость изменения давления  $P$  в области  $r_c < r < r_k$  при  $Q=11,5 \times 10^{-5} \text{ м/с}$  и различных  $\alpha$

На рисунке 2 представлены зависимости значений давлений, полученных при решении уравнения (21) от радиуса толщи при различных значениях  $\alpha$ . Данный график, подтверждает результаты, полученные в [1]. Модель достаточно точно описывает соотношение между толщиной слоя и градиентом давления жидкости в трещиноватой среде.

**Список литературы**

1. Aleroev T.S., Aleroeva H.T., Yifa Tang, Siyan Zhang. Features of seepage of a liquid to a chink in the cracked deformable layer. International journal of modeling, simulation, and scientific computing, 2010, Vol. 01, №3, pp. 333-347.
2. Шаймуратов П.В. Гидродинамика нефтяного трещиноватого пласта, Недра, Россия, 1980.
3. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. М.:Физматлит, 2003. - 272 с.
4. Podlubny I. Fractional Differential Equations, Academic Press, New York, 1999.

05.13.18

**А.Б. Цветков д-р техн. наук, Л.Д. Павлова д-р техн. наук, А.В. Корнева канд. техн. наук**

Сибирский государственный индустриальный университет,  
 Институт информационных технологий и автоматизированных систем,  
 кафедра прикладной математики и информатики,  
 Новокузнецк, atsvet@mail.ru, ld\_pavlova@mail.ru, annette\_sol@list.ru

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА С УЧЕТОМ РАССЛОЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ПОРОД КРОВЛИ**

*Выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния слоистого геомассива в условиях техногенных воздействий с учетом расслоения подработанных пород кровли.*

Ключевые слова: *математическая модель, горная выработка, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.*

Массив осадочных горных пород представляет собой слоистую структуру, поэтому при добыче полезного ископаемого изгиб отдельных слоев пород кровли над выработкой сопровождается расслоением подработанной толщи по контактам угольных пластов и породных слоев.

Параметры геомеханических процессов, которые развиваются в массиве горных пород при их расслоении, существенно зависят от физико-механических свойств пород, неоднородности геомассива, формы и размеров подземных выработок [1-3].

В результате интенсивного техногенного воздействия на геомассив происходит обнажение контактов породных слоев, вследствие чего подработанная кровля над выработкой начинает опускаться под влиянием собственного веса.

Перераспределение напряжений в подработанных слоях кровли приводит к их изгибу и расслоению в том случае, когда жесткость нижнего породного слоя меньше жесткости верхнего слоя. При превышении предела прочности пород нижнего слоя породы разрушаются. Вес пород в этих зонах частично распределяется на секции крепи очистного забоя и над ней формируются зоны обрушения и трещиноватости [1, 3].

В этой связи изучение процессов деформирования слоистого массива горных пород является актуальным, так как устойчивость современных механизированных крепей в очистном забое существенно зависит от веса, последовательности расслоения и длины консоли зависания подработанных пород кровли.

#### **Методы исследования**

Математическая модель напряженно-деформированного состояния геомассива при условии плоской деформации формулируется в виде краевой задачи: для области прямоугольной формы найти вектор перемещений  $\vec{U} = (u_x, u_y)$ , координаты которого  $u_x, u_y$  удовлетворяют системе дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) &= 0; \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) + g\gamma &= 0, \end{aligned}$$

и однородным граничным условиям, которые заданы следующим образом [4, 5]:

- вертикальные границы, верхнее и нижнее основания  $u_x = 0$ ;
- вертикальные границы  $(u_y)'_x = 0$ ;
- нижнее основание  $u_y = 0$ ;
- вертикальные напряжения на верхней границе  $\sigma_y = 0$ .

В системе уравнений принято:  $\mu$  и  $\lambda$  параметры Ламе,  $\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$ ;  $\lambda = \frac{\nu \cdot E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ ;  $E$  – модуль упругости;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\gamma$  – плотность,  $g$  – гравитационная постоянная.

Краевая задача решалась при условии, что массовые силы направлены вдоль вертикальной оси и создавались собственным весом пород [5, 6]. Численное решение получено методом конечных элементов. Расчетная область разбивалась на подобласти четырехугольными конечными элементами с билинейной аппроксимацией перемещений на каждом конечном элементе. После минимизации функционала полной потенциальной энергии и вычисления узловых перемещений определялись величины векторов деформаций и напряжений [7, 8].

На рисунке 1 расчетная область для участка слоистого геомассива  $\Omega$  представлена вертикальным сечением вдоль оси обрабатываемого выемочного столба и состоит из подобластей  $\Omega = \sum_{i=1}^8 \Omega_i$ , каждая из которых характеризует породы определенного типа:  $\Omega_1$  – алевролит крупнозернистый;  $\Omega_2$  – алевролит мелкозернистый;  $\Omega_3$  – угольный пласт-спутник;  $\Omega_4$  – переслаивание алевролитов разной зернистости;  $\Omega_5$  – угольный пласт, включающий очистную выработку длиной 200 м, границы которой на рисунке 1 отмечены точками  $A_1$  и  $A_2$ ;  $\Omega_6$  – алевролит среднезернистый;  $\Omega_7$  – аргиллит;  $\Omega_8$  – песчаник.

На границе контакта между пластом-спутником и породой, обозначенными на рисунке 1 соответственно  $\Omega_3$  и  $\Omega_4$ , возникает расслоение пород, которое формируется в результате техногенного воздействия на геомассив при очистной выемке угольного пласта  $\Omega_5$ .

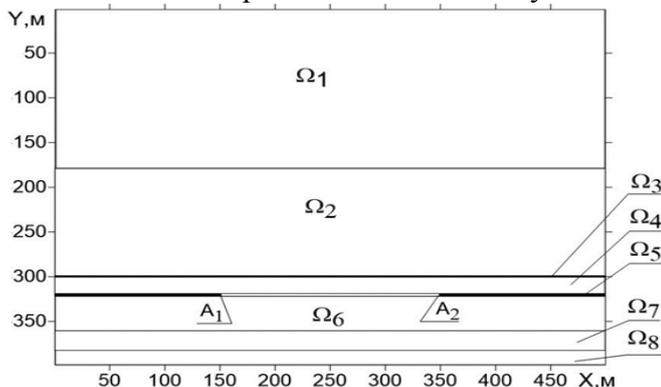


Рис. 1 – Расчетная область участка слоистого геомассива, включающая выработку  $A_1A_2$

На основе численного моделирования напряженно-деформированного состояния геомассива необходимо определить площадь расслоения пород в окрестности горной выработки (участок  $A_1A_2$  на рисунке 1) и выявить его влияние на распределение напряжений в окрестности очистного забоя.

**Результаты и их обсуждение**

Результаты вычислительных экспериментов, выполненных с использованием разработанного пакета проблемно-ориентированных программ [9], представлены на рисунках 2-4.

При численном моделировании напряженно-деформированного состояния геомассива в зоне влияния очистной выработки между слоем  $\Omega_3$  и пластом-спутником  $\Omega_4$  задавался слой контакт-элементов толщиной 0.001 м.

Площадь расслоения пород в расчете на 1 м ширины обрабатываемого выемочного столба определялась итерационным методом. В контакт-элементах, которые попадали в область вертикальных растягивающих напряжений, физико-механические свойства изменялись на величины, характерные для зоны трещинообразования.

Условие окончания итерационного процесса определялось по критерию:

$$\sqrt{\left(\frac{S_{k+1}-S_k}{S_k}\right)^2} \leq \varepsilon, \tag{1}$$

где  $\varepsilon$  – заданная точность ( $\varepsilon = 10^{-1}$ );  $S_k$  – площадь расслоения;  $k$  – номер итерации.

По результатам моделирования начальная площадь расслоения пород между пластами  $\Omega_3$  и  $\Omega_4$  составила  $140 \text{ м}^2$  (участок  $B_1B_2$  на рисунке 2). Наличие расслоения привело к росту

зоны растягивающих напряжений над кровлей очистного выработанного пространства и увеличению на следующей итерации площади расслоения пород до  $160 \text{ м}^2$  (точки  $C_1$ ,  $C_2$  на рисунке 2).

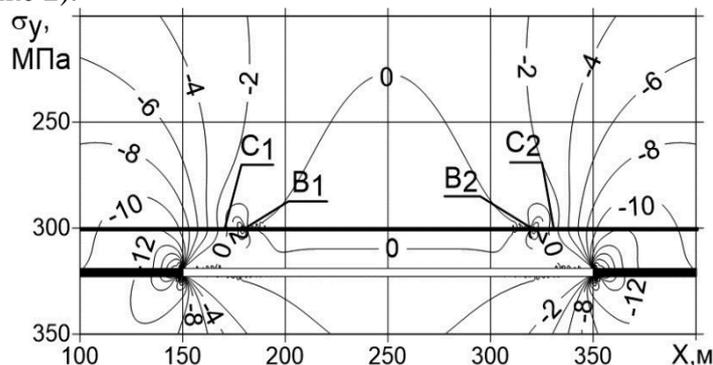


Рис. 2 – Распределение вертикальных напряжений в окрестности очистного забоя

На рисунке 3 приведены графики площади расслоения пород и ее изменение в зависимости от числа итераций. Из анализа графиков следует, что увеличение количества итераций приводит к уменьшению приращения площади расслоения и при достижении площади расслоения пород  $184 \text{ м}^2$  итерационный процесс завершился.

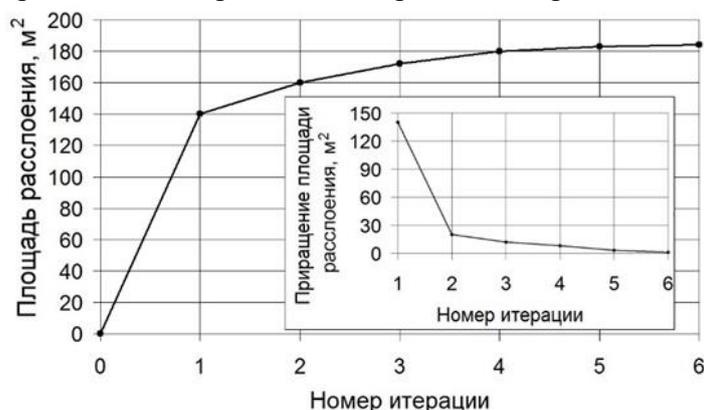


Рис. 3 – Графики площади расслоения пород и приращение площади в зависимости от числа итераций

На рисунке 4 а и 4 б приведен фрагмент расчетной области в окрестности очистного забоя, на котором штрихована зона вертикальных растягивающих напряжений над кровлей выработки.

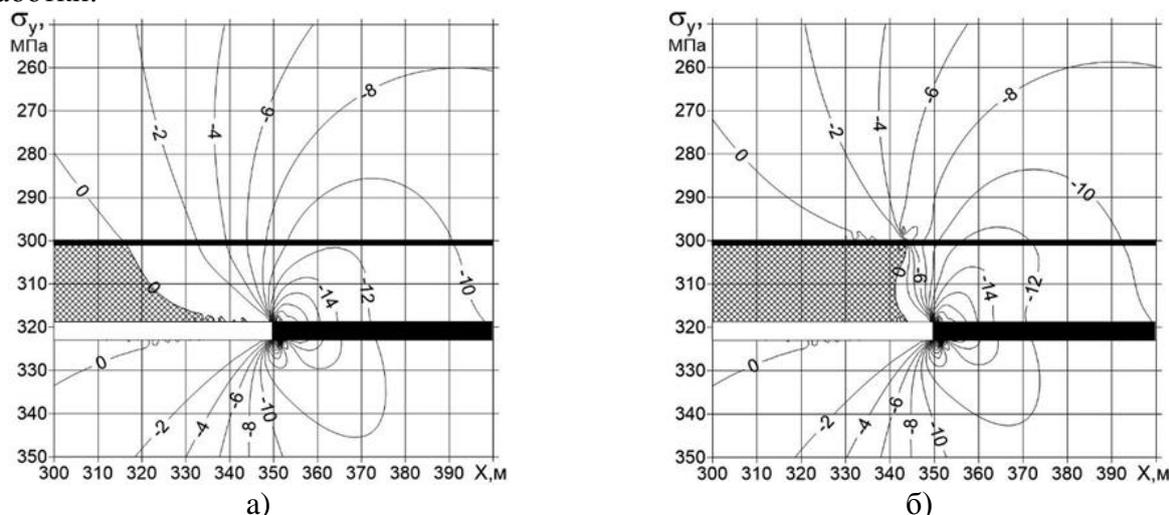


Рис. 4 – Зона вертикальных растягивающих напряжений в окрестности очистного забоя:  
а – без расслоения, б – площадь расслоения  $184 \text{ м}^2$

Количественный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что при наличии расслоения, площадь которого составила  $184 \text{ м}^2$ , зона растягивающих напряжений,

отмеченная на рисунке 4 а и 4 б штриховкой, увеличилась почти в 2 раза и ее граница сместилась в направлении очистного забоя.

Так как предел прочности горных пород при растяжении на порядок меньше, чем при сжатии, то в зоне растяжения, граница которой сместилась к очистному забою, прочность пород снижена по сравнению с их природным состоянием. В результате образования трещин и блоков формируется зона обрушения, вес пород в которой оказывает влияние на устойчивость механизированной крепи очистного забоя.

#### **Выводы**

Анализ результатов численного моделирования геомеханического состояния массива горных пород при подземной отработке свиты угольных пластов позволяет установить влияние процесса расслоения подработанных пород кровли на горное давление в окрестности очистного забоя.

Предложенный метод количественного прогнозирования напряженно-деформированного состояния геомассива в зоне влияния подземной выработки может быть использован при разработке проектной документации отработки свиты угольных пластов высокопроизводительными очистными забоями.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-41-420004*

#### **Список литературы**

1. *Борисов, А.А.* Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. – М. : Недра, 1980. – 360 с.
2. *Серяков, В.М.* Влияние порядка отработки месторождения на процесс перераспределения напряжений в массиве горных пород / В.М. Серяков // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли : тр. междунар. конф. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. – С. 190–194.
3. *Фадеев, А.Б.* Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М. : Недра, 1987. – 221 с.
4. *Тимошенко, С.П.* Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер; пер. с англ. М.И. Рейтмана. – М. : Наука, 1975. – 576 с.
5. *Цветков, А.Б.* Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива в условиях интегрального воздействия гравитационных и геотектонических сил / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 6. – С. 485–488.
6. *Цветков, А.Б.* Выявление закономерностей нелинейного деформирования пород при отработке свиты угольных пластов / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №10. – С. 324–332.
7. *Зенкевич, О.К.* Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич; под ред. Б.Е. Победри. – М. : Мир, 1975. – 541 с.
8. *Сегерлинд, Л.* Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.
9. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19867. Пакет программ NDSolver V1.0 для математического моделирования напряженно-деформированного состояния газоносного геомассива / А.Б. Цветков // Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование». – Дата регистрации 10.01.2014.

05.13.18

**П.С. Чуринов канд. техн. наук, А.Н. Федосова канд. техн. наук, А.А. Брыков**

Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),  
кафедра физики и строительной аэродинамики,  
Москва, ChurinPS@mgsu.ru

### **ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКИ ПАРКОВОЙ ТЕРРИТОРИИ НА КОМФОРТНОСТЬ ПЕШЕХОДНЫХ ЗОН**

*В работе представлены результаты исследования влияния точечной застройки парковой территории на комфортность пешеходных зон на основании результатов математического моделирования. Приведены наиболее эффективные мероприятия по компенсации ветрового дискомфорта.*

Ключевые слова: *пешеходная комфортность, математическое моделирование, благоустройство, планировка территории, парковые территории.*

Проектирование городских территорий, основанное на применении существующих норм с учетом параметров, обеспечивающих высокий уровень комфортности пребывания человека, становится приоритетной задачей при градостроительном проектировании. Данный тезис подтверждается повышенным интересом к методикам оценки комфортности территории жилой застройки со стороны научного сообщества [2], а также развитием Федерального проекта «Формирование комфортной городской среды», одной из целей которого является рост пешеходных перемещений горожан, за счет повышения качества пешеходной инфраструктуры. Для того чтобы достичь поставленной цели необходимо произвести учет большого количества факторов, таких как:

- функционально-планировочные;
- природно-климатические;
- инженерно-технические;
- социально-экономические и другие условия.

Особое значение данная тенденция приобретает при проектировании территорий объектов исторического и культурного наследия, где расположено большое количество пешеходных пространств и рекреационных зон. Пространственная организация территорий, архитектурные особенности зданий, количество древесно-кустарниковых насаждений, расположение малых архитектурных форм (МАФы) влияют на распределение ветровых потоков по территории, а также могут повлечь за собой как появление дискомфортных зон с повышенными скоростями ветра, так и застойных зон. Тем самым, исследование ветровых потоков и их влияния на интенсивность перемещения пешеходов, является актуальной градостроительной задачей при формировании пешеходных пространств и их благоустройства.

Объектом исследования была выбрана территория парка ВДНХ. Сейчас на ВДНХ проходит второй этап масштабной реконструкции, стартовавший весной 2019 года. В центре внимания три направления: модернизация инженерных сетей, реставрация исторических и архитектурных памятников, благоустройство территории. В рамках данной реконструкции запланировано строительство павильона атомной энергии. Ввиду достаточно плотного размещения павильонов на территории, актуальной представляется оценка влияния строящегося павильона на формирование ветрового комфорта пешеходов.



Рис. 1 – Исследуемый объект

В настоящее время существует несколько стандартов, определяющих комфортные скорости ветра на уровне пешехода (1.5 м. от уровня земли). На территории Российской Федерации нормы по ветровому комфорту приводятся в документе МДС 20-1.2006. Документом определено три уровня комфортных скоростей ветра в зависимости от их повторяемости в течении года (таблица 1).

Таблица 1 – Критические скорости ветра  $V_{cr}$  (м/с) и предельная продолжительность  $T_{lim}$  (час/год) их проявления

Уровень комфортности	I	II	III
$V_{cr}$ , м/с	6	12	20
$T_{lim}$ , час/год	1000	50	5

В качестве метода исследований использовалось компьютерное (численное) моделирование в специализированном программном комплексе гидрогазодинамики ANSYS CFD (метод контрольного объёма, интерполяция конвективных членов по схеме MARS, неявная схема шагов по времени, внутренний итерационный алгоритм PISO, k-w SST модель турбулентности).

Климат района, в котором находится исследуемый объект умеренно-континентальный, с четко выраженной сезонностью. Климатические условия определяются преобладающими над городом ветрами западного и северо-западного направлений. Менее часто повторяющимися являются ветры северо-восточного направления.

Полученные данные по исследованию пешеходной комфортности территории исследуемого объекта, были использованы для определения зон, в которых скорость воздушного потока снижается, либо увеличивается относительно порогового значения скорости (5-6 м/с). Вдоль фасадов зданий и между ними возникают зоны с дискомфортными скоростями воздушного потока (рис. 1.1 – 1.3), для компенсации возникающих эффектов, необходимы ветрозащитные мероприятия.

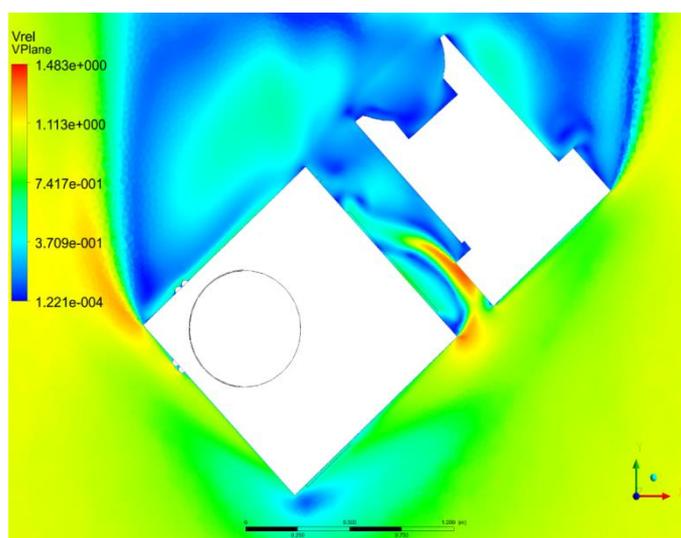


Рис. 2 – Распределения скорости при западном направлении ветра

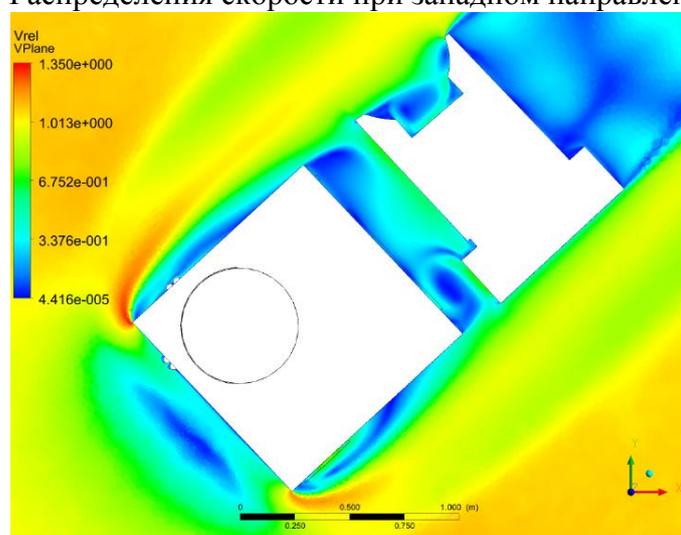


Рис. 3 – Распределения скорости при западном направлении ветра

На основании результатов исследований установлено, что практически при любых направлениях ветра на исследуемой территории формируется течение сложной структуры с большими градиентами модуля скорости и зонами разгона потока до скоростей, превышающих исходную в 1.8 раза. Ветровые нагрузки на пешеходов могут увеличиваться более чем в 3 раза по сравнению с набегающим потоком. В сочетании с большими градиентами скорости это может снижать комфортность данных зон для пешеходов.

Одним из действий по осуществлению мероприятий по повышению уровня ветрового комфорта являются высадка древесно-кустарниковых насаждений и строительство искусственных ветрозащитных сооружений.

В зонах, расположенных в соответствии с преобладающим направлением ветра, необходимо размещать группы растений непродуваемой конструкции. Таким образом воздушный поток, будет обтекать зеленые насаждения сверху, а обтеканию сбоку будут препятствовать сами здания. Для организации «зеленых» ветрозащитных конструкций необходимо производить заполнение (засаживание), трех ярусов:

- нижнего – многолетними кустарниками;
- среднего – высотой 5-7 метров;
- высокого – деревьями до 11 метров.

Наиболее эффективными в работе по снижению скорости ветрового потока будут ажурные растения, которые будут значительно снижать скорость ветрового потока, не ухудшая проветривание территории. Там, где, посадка древесно-кустарниковых насаждений невозможна, по тем или иным причинам, необходимо производить установку искусственных

ветрозащитных сооружений, с необходимой степенью проницаемости. Для территории объектов культурного наследия, такие конструкции должны отвечать не только техническим требованиям, а также обладать эстетическими свойствами.

Необходимость исследований факторов, влияющих на уровень комфортности пешеходных продикутована высокими темпами разработки и реализации проектов по комплексному благоустройству пешеходных пространств. Основываясь на статистических данных, методах компьютерного и экспериментального моделирования, возможно заранее выявить дискомфортные зоны и предложить мероприятия по их устранению. Данные полученные в процессе проведения исследований комфортности ветрового режима пешеходных территорий, расположенных вблизи павильона атомной энергии на территории парка ВДНХ, могут быть использованы для разработки проекта благоустройства территории.

#### ***Список литературы***

1. МДС 20-1.2006. Временные рекомендации по назначению нагрузок и воздействий, действующих на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве. – М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2006.
2. Трубицына Н.А. Ветровая защита и биоклиматический комфорт в ландшафтной архитектуре // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – Вып. 6 (105). – С. 619–630

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

05.13.19

**Ю.Ж. Дондоков канд. техн. наук, Н.И. Кондакова, С.В. Степанова**

Якутская государственная сельскохозяйственная академия,  
Инженерный факультет,  
Кафедра технической сервис в АПК,  
Якутск

**БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Научно-технический прогресс превратил информацию в продукт, который можно купить, продать, обменять. Нередко стоимость данных в несколько раз превышает цену всей технической системы, которая хранит и обрабатывает информацию. Качество коммерческой информации обеспечивает необходимый экономический эффект для компании, поэтому важно охранять критически важные данные от неправомерных действий. В данной статье описывается система безопасности информационных систем.*

Ключевые слова: *информация, информационные технологии, защита информации, средства обеспечения информационной безопасности, информационные системы.*

Для начала работы по построению системы информационной безопасности в коммерческой организации, государственном предприятии, ведомственном или отраслевом учреждении необходимо получить объективную оценку текущего уровня безопасности информационной системы и проанализировать риски, которым подвержены конфиденциальные данные объекта. Появление новых информационных технологий и развитие мощных компьютерных систем хранения и обработки информации повысили уровни защиты информации и вызвали необходимость в том, чтобы эффективность защиты информации росла вместе со сложностью архитектуры хранения данных [1-4]. Так постепенно защита экономической информации становится обязательной: разрабатываются всевозможные документы по защите информации; формируются рекомендации по защите информации; даже проводится федеральный закон о защите информации, который рассматривает проблемы защиты информации и задачи защиты информации, а также решает некоторые уникальные вопросы защиты информации. Таким образом, угроза защиты информации сделала средства обеспечения информационной безопасности одной из обязательных характеристик информационной системы [3-5]. Сбор информации – самый долгий и самый важный этап аудита защищённости информационной системы предприятия. Он предполагает учёт и систематизацию организационной структуры подразделений, работающих с теми или иными элементами информационной системы предприятия, и, разумеется, подробную структуру самих элементов ИТ-структуры организации. На основе собранных данных появляется возможность произвести анализ уровня информационной безопасности объекта. Такой анализ строится на основе угроз информационной безопасности (риски должны быть предварительно объективно оценены и подробно проанализированы) и/или нормативной базы, регулирующей аспекты информационной безопасности в сфере деятельности организации. По результатам анализа информации, аудиторы составляют аудиторский отчёт и список рекомендаций к повышению уровня информационной безопасности объекта. Отчёт и рекомендации аудиторской комиссии дают полную объективную картину текущего уровня информационной безопасности организации, а также определяют перечень мероприятий, необходимых для оптимизации уровня защищённости информационной системы. На сегодняшний день существует широкий круг систем хранения

и обработки информации, где в процессе их проектирования фактор информационной безопасности Российской Федерации хранения конфиденциальной информации имеет особое значение. К таким информационным системам можно отнести, например, банковские или юридические системы безопасного документооборота и другие информационные системы, для которых обеспечение защиты информации является жизненно важным для защиты информации в информационных системах [2-5]. В таблице 1 приводятся методы обеспечения информационной безопасности состоят из организационно-технических, экономических и правовых.

Таблица 1-Методы обеспечения информационной безопасности

№п/п	Наименование
1	система обеспечения информационной безопасности (под ней мы подразумеваем комплекс мероприятий (внутренние правила работы с данными, регламент передачи сведений, доступ к ним и т. д.) и технических средств (использование программ и приборов для сохранения конфиденциальности данных));
2	разработка (создание новых), эксплуатацию и усовершенствование уже имеющихся средств защиты информации;
3	перманентный контроль над действенностью принимаемых мер в области обеспечения информационной безопасности

В настоящее время все больше появляются отрасли производства, которые почти на 100% состоят из одной информации. Вместе с этим имеется обширный круг систем хранения и обработки данных, где в процессе их проектирования условие информационной безопасности хранения секретной информации играет значительную роль[4-10]. К подобным информационным системам можно отнести, например, банковские или юридические системы безопасного документооборота и другие информационные системы, целью которых предоставление защиты информации считается жизненно необходимым для защиты данных в информационных системах. С появлением и распространением компьютеров средств обработки данных наступает необходимость в защите файлов и другой хранимой компьютерами информации. С целью описания ряда методов и средств, которые специально предназначены для защиты данных и противодействию хакерам, стал использоваться термин компьютерная безопасность. Защищать от дефектов и внешних воздействий необходимо и приборы, на которых находится засекреченная важная информация, а также каналы связи [5-10]. Дефекты могут быть обусловлены неисправностью оснащения либо подделкой, либо разглашением Повреждения могут быть вызваны поломкой оборудования, подделкой или разглашением секретной информации. Внешние воздействия появляются как вследствие стихийных несчастий, так и в результате сбоев оборудования либо кражи. Для сохранения данных применяют разнообразные методы защиты:

- безопасность зданий, где находится секретная информация;
- контроль допуска к секретной информации;
- разграничение доступа;
- дублирование каналов взаимосвязи и подсоединение резервных устройств;
- криптографические переустройства информации;

Таким образом, со временем защита экономической информации становится неотъемлемой: разрабатываются различные документации по защите информации; создаются рекомендации по защите информации; также ведется Федеральный Закон о защите информации, рассматривающий проблемы защиты информации и задачи защиты данных. Кроме того он способствует решению уникальных вопросов защиты информации. С целью избегания утечки информации формируются разнообразные способы (механизмы), применяющиеся на всех стадиях работы с ней. Таким образом, опасность защиты информации осуществила средства обеспечения информационной безопасности одной из важных характеристик информационной системы.

**Список литературы**

1. Мельников, В.П. Информационная безопасность и защита информации. / В.П.Мельников, С.А.Клейменов, А.М.Петраков // 3-е изд., стер. - М.: Академия, 2008. — 336 с.
2. Черней, Г.А. Безопасность автоматизированных информационных систем. / Г. А. Черней, С. А. Охрименко, Ф. С. Ляху // Ruxanda, 1996. – 225 с.
3. Галатенко, В.А. Основы информационной безопасности.
4. Варлатая, С.К. Аппаратно-программные средства и методы защиты информации. / С.К. Варлатая, М.В.Шаханова // Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 318 с.
5. Корнюшин, П.Н., Костерин А.С. Информационная безопасность. / П.Н. Корнюшин, А.С. Костерин // Владивосток: ТИДОТ ДВГУ, 2003. - 154 с.
6. Основы информационной безопасности/ Е. Б. Белов, В. П. Лось, Р. В. Мещеряков, А. А. Шелупанов.– М.:Телеком, 2006. 544 с.
7. Защита компьютерной информации/Анин Б. Ю. – СПб.: "ВНУ-Санкт-Петербург" - 2000, 384 с.
8. Защита информации в компьютерных системах/Мельников В. – М.: Финансы и статистика, Электронинформ, 1997.136 с.
9. Петров, А.А. Компьютерная безопасность. Криптографические методы защиты / А.А. Петров - М.: ДМК, 2000. – 448 с.
10. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей/Шаньгин В. Ф. – М.: ИД «Форум»:Инфра-М, 2008 – 416 с.

АННОТАЦИИ  
ABSTRACTSС.Г. Абанин, В.А. Карпычев, М.В. Кузнецов  
ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Ключевые слова:* государственное управление, реформа контрольно-надзорной деятельности, информационные технологии, личный кабинет контролируемого лица.

Авторы рассматривают и оценивают проблемы, связанные с внедрением информационных технологий в систему государственного управления. На примере анализа проекта федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» показано его влияние на необходимость разработки соответствующих программных продуктов обеспечивающих реализацию исполнения его требований. При таком подходе выявляется необходимость корректной оценки затрат на изменение действующего законодательства и жесткой увязки вступления в силу нормативных правовых актов Российской Федерации с готовностью информационных систем федеральных органов исполнительной власти обеспечить их реализацию.

S.G. Abanin, V.A. Karpychev, M.V. Kuznetsov  
PROBLEMS OF INFORMATION SUPPORT OF THE PUBLIC  
ADMINISTRATION SYSTEM

*Keywords:* public administration, reform of oversight activities, information technology, personal account of the controlled person.

The authors consider and assess problems associated with the introduction of information technologies in the public administration system. The overview of the draft Federal law "on state control (supervision) and municipal control in the Russian Federation" shows its impact on the need to develop appropriate software products that would ensure the implementation of its requirements. This approach reveals to the need of an appropriate assessment of the costs of changing the current legislation and builds a strict link between the entry into force of regulatory legal acts of the Russian Federation and the readiness of information systems of Federal Executive authorities to ensure their implementation.

А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, Д.И. Нуретдинов, А.М. Фролов  
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Ключевые слова:* системный анализ, двигатель внутреннего сгорания, ресурс двигателя, падение мощности, расход масла, поршневое кольцо, выпускной клапан, гильза цилиндра.

В статье приведены результаты обзора технических параметров рабочих процессов автомобильного двигателя. Рассмотрены преимущества и недостатки различных критериев долговечности и безотказности двигателя. На основе системного анализа условий эксплуатации предложена методика оценки мгновенного ресурса по совокупности показателей.

A.Yu. Barykin, R.M. Galiev, D.I. Nuretdinov, A.M. Frolov  
SYSTEM ANALYSIS OF RESOURCE ASSESSMENT  
INDICATORS VEHICLE ENGINE

*Keywords:* system analysis, internal combustion engine, engine resource, power drop, oil consumption, piston ring, exhaust valve, cylinder liner.

The article presents the results of a review of the technical parameters of the working processes of an automobile engine. The advantages and disadvantages of various criteria of engine durability and reliability are considered. Based on a system analysis of operating conditions, a methodology for assessing the instantaneous resource by a set of indicators is proposed.

А.Н. Субботин  
АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ПОТОКОВ ТЕКСТОВОЙ  
ИНФОРМАЦИИ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

*Ключевые слова:* Классификация текста, наивный байесовский классификатор, текстовые потоки.

В работе представлен алгоритм классификации потоков информации состоящей из текстов на естественном языке. Классификация производится с помощью модифицированного байесовского классификатора. Представлено описание программной реализации.

A.N. Subbotin  
NATURAL LANGUAGE TEXT STREAM CLASSIFICATION  
ALGORITHM

*Keywords:* text classification, Naive Bayes, text streams.

Algorithm for natural language text streams classification is considered. Classification is made by means of modified Naive bayes classifier. Description for software implementation is given.

Г.А. Тимофеева, О.А. Билоус, А.В. Кухарчук  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРОИЗВОДСТВА

*Ключевые слова:* мотивация, общие функции управления, эффект, эффективность, энергоэффективность, технико-экономические показатели, комплексная оценка.

Рассмотрено формирование системы мотивации персонала на снижение энергоемкости и повышение эффективности производства через последовательную реализацию общих функций управления и путем повышения качества обратной связи в управленческом цикле. Предлагается точная комплексная оценка энергоемкости продукции для совершенствования системы мотивации и управления энергоэффективностью производства с применением программы «Экон».

G.A. Timofeeva, O.A. Bilous, A.V. Kuharchuk  
MANAGEMENT SYSTEM'S IMPROVEMENT OF ENERGY  
EFFICIENCY FOR INDUSTRIAL PRODUCTION

*Keywords:* motivation, general management functions, effect, efficiency, energy efficiency, technical and economic indicators, a comprehensive assessment.

The formation of a personnel motivation system to reduce energy intensity and increase production efficiency through the consistent implementation of common management functions and by improving the quality of feedback in the management cycle is considered. An accurate comprehensive assessment of the energy intensity of products is proposed to improve the system of motivation and control the energy efficiency of production using the Econ program.

В.А. Трипокош, С.С. Акимов  
ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ  
РАСПОЗНАВАНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА РЕШЕНИИ  
СОСТАВНОЙ БАЙЕСОВСКОЙ ЗАДАЧИV.A. Tripkosh, S.S. Akimov  
ESTIMATION OF THE TIME COMPLEXITY OF  
RECOGNITION ALGORITHMS BASED ON THE SOLUTION  
OF A COMPOSITE BAYESIAN PROBLEM

**Ключевые слова:** временная сложность алгоритма, составная байесовская задача, составной граф-схемный алгоритм распознавания, эффективный алгоритм принятия решений.

*В работе представлены результаты оценивания эффективности составных байесовских алгоритмов распознавания образов с точки зрения их временной сложности. Выявлены преимущества составных байесовских процедур принятия решений, реализованных на основе граф-схемного метода сокращения объема вычислений и обеспечивающих полиномиальный характер временной сложности от входа. Предложено развитие систем автоматического распознавания образов в различных прикладных областях с использованием эффективных алгоритмов принятия решений с полиномиальной функцией сложности.*

S.A. Yamashkin, A.A. Yamashkin

**КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ХРАНЕНИЯ, АНАЛИЗА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

**Ключевые слова:** Инфраструктура пространственных данных, глубокое обучение, пространственные данные, геопорталы.

*В статье предлагается система формализованных критериев эффективности решения задач хранения, анализа и распространения данных в проектно-ориентированных инфраструктурах пространственных данных. Результат достигается посредством декомпозиции подсистемы анализа, центры хранения пространственных данных и геопорталы. Показатели эффективности определены набором целевых эффектов системы, ее ресурсоемкостью и сложностью процессов построения и модификации.*

N.V. Andrievskaya, O.A. Andrievskiy

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПЕРЕХОДНЫХ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.**

**Ключевые слова:** цифровая система автоматического управления, метод переходных состояния, алгоритм синтеза цифровой системы управления, запас устойчивости, качество управления.

*Рассмотрен метод синтеза цифровых систем автоматического управления методом переходных. Исследован запас устойчивости цифровых систем управления. Проведен анализ качества управления. Представлены рекомендации для применения метода переходных состояния.*

N.V. Andrievskaya, M.A. Bazarov

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА НА ПРИМЕРЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА LEGO MINDSTORMS EV3**

**Ключевые слова:** автоматическое управление, обратный маятник, ПИД-регулятор, линейно-квадратичный регулятор, типовые законы управления, робот-балансировщик.

*В данной статье рассматриваются способы применения робота-балансировщика для изучения типовых регуляторов в рамках Теории автоматического управления, способы решения задачи стабилизации объектов, использующих в своей работе принцип обратного математического маятника.*

V.A. Egorov, Kaung Htet San

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА**

**Ключевые слова:** транспортный робот, математическое описание, система управления движением, расчёт, моделирование.

*Предложено математическое описание транспортной платформы. Разработана структурная схема, описаны расчёт и результаты моделирования системы управления движением транспортного робота.*

**Keywords:** time complexity of the algorithm, composite Bayesian problem, composite graph-diagram recognition algorithm, effective decision-making algorithm.

*The paper presents the results of evaluating the effectiveness of composite Bayesian pattern recognition algorithms in terms of their time complexity. The advantages of composite Bayesian decision-making procedures, implemented on the basis of the graph-scheme method of reducing the amount of computation and providing the polynomial nature of the time complexity from the input, are revealed. The development of automatic pattern recognition systems in various application areas using effective decision-making algorithms with a polynomial complexity function is proposed.*

S.A. Yamashkin, A.A. Yamashkin

**PERFORMANCE CRITERIA FOR SOLVING DATA STORAGE, ANALYSIS AND DISTRIBUTION TASKS IN PROJECT-ORIENTED SPATIAL DATA INFRASTRUCTURES**

**Keywords:** Spatial data infrastructure, deep learning, spatial data, geoportals.

*In the article a system of formalized criteria for the effectiveness of solving problems of storing, analyzing and distribution of data in spatial data infrastructures is proposed. The result is achieved by decomposing system into an analysis subsystem, spatial data storage centers and geoportals. Infrastructure performance indicators are determined by the set of target effects of the system, its resource intensity and complexity of the processes of construction.*

N.V. Andrievskaya, O.A. Andrievskiy

**RESEARCH OF TRANSITION STATES METHOD FOR SYNTHESIS OF DIGITAL SYSTEMS AUTOMATIC CONTROL**

**Keywords:** digital system automatic control model, method of transition states, algorithm of synthesis of digital systems automatic control, stability factor, control quality.

*The method of synthesis of digital systems of automatic control by the method of transition states is considered. The stability factor  $e$  of digital control systems is investigated. The analysis of control is carried out. Recommendations for the application of the transition state method are presented.*

N.V. Andrievskaya, M.A. Bazarov

**SOLVING THE PROBLEM OF STABILIZATION OF THE REVERSE PENDULUM ON THE EXAMPLE OF THE LEGO MINDSTORMS EV3 ROBOTIC COMPLEX**

**Keywords:** automatic control, reverse pendulum, PID controller, linear-quadratic controller, typical control laws, robot balancer. *This article explains how to use the balancing robot to study typical controllers within the framework of the Theories of automatic control, and also describes how to communicate and transfer data between the system controller and a PC to visualize control processes.*

V.A. Egorov, Kaung Htet San

**DEVELOPMENT OF TRANSPORT ROBOT MOTION CONTROL SYSTEM**

**Keywords:** transport robot, mathematical description, motion control system, calculation, modeling.

*A mathematical description of the transport platform is proposed. A block diagram is developed, the calculation and simulation results of a robot motion control system are described.*

Л.И. Медведева, Н.В. Иевлева, Е.Ю. Орешкина  
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ  
ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРОУГЛЕРОДА

*Ключевые слова:* производство сероуглерода, автоматизация процесса удаления вредных примесей при производстве сероуглерода, технико-экономическое обоснование.

*В статье рассматривается технико-экономическое обоснование проведения работ по модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом удаления вредных примесей из технологического газа при производстве сероуглерода.*

А.В. Могильников, О.А. Билоус  
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИЛОВЫХ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В  
ПАКЕТЕ MATLAB/SIMULINK

*Ключевые слова:* моделирование силовых полупроводниковых преобразователей; выпрямитель; осциллограмма; коэффициент гармонических искажений; анализ и обработка электрических сигналов; пакет Signal Processing Toolbox (SP Tool).

*Исследована работа электрической схемы трехфазного мостового управляемого выпрямителя на основе силовых полупроводниковых приборов в среде MATLAB/SIMULINK. Приведено схематичное описание работы виртуального стенда. Представлены результаты имитационного моделирования системы: диаграммы измеряемых величин (осциллограммы), спектральный и гармонический состав потребляемого тока управляемого выпрямителя с последующим сравнением теоретических и экспериментальных данных.*

К.И. Новгородов, А.В. Савчиц, В.Е. Костин  
АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГЕЛИОКАТАМАРАН

*Ключевые слова:* автоматизация, катамаран, солнечная энергия, рыболовное хозяйство, бункер-дозатор, беспилотный аппарат.

*В статье предложена разработка автоматического автономного (работающего с использованием возобновляемых источников энергии) электрокатамарана, служащего для осуществления технологических операций в рыбном хозяйстве*

С.С. Павлов, М.А. Иванова, Ю.Г. Федотова,  
А.В. Спиридонова, Д.А. Соколов  
ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРИКЕТОВ ДЛЯ  
ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ КОТЛОВ

*Ключевые слова:* микробиологический процесс, пищевая конкуренция, растворение кислорода, аппарат, удельная производительность, аэрация, пищевая конкуренция, конструирование, лимитирующий субстрат.

*При определенном подходе изучения математических моделей микробиологических процессов, которые описывают взаимоотношения между популяциями микроорганизмов, необходимо выделить те из них, которые учитывают пищевую конкуренцию, характерную для процесса культивирования хлебопекарных дрожжей. Основными для микробиологических процессов являются пять типов взаимоотношений - метабиоз, симбиоз, конкуренция, антагонизм и паразитизм. По большому количеству проведенных исследований было выявлено, что в основном, отношения между посторонними микроорганизмами и хлебопекарными дрожжами в совместной культуре носят характер пищевой конкуренции.*

L.I. Medvedeva, N.V. Ievleva, E.Yu. Oreschkina  
FEASIBILITY STUDY ON THE AUTOMATION OF THE  
PROCESS OF REMOVING HARMFUL IMPURITIES IN THE  
PRODUCTION OF CARBON DISULFIDE

*Keywords:* carbon disulfide production, automation of the process of removing harmful impurities in the production of carbon disulfide, feasibility study.

*The article discusses the feasibility study for the modernization of the automated process control system for the removal of harmful impurities from the process gas in the production of carbon disulfide.*

A.V. Mogilnikov, O.A. Bilous  
MODELING OF POWER SEMICONDUCTOR CONVERTERS  
IN RESEARCH AND INSTRUCTION TASKS USING  
THE MATLAB/SIMULINK GRAPHIC PROGRAMMING  
METHODS

*Keywords:* modeling of power semiconductor converters; rectifier; waveforms; the total harmonic distortion; signal analysis and processing; the Signal Processing Toolbox (SP Tool) package.

*The operation of the electric circuit of a three-phase bridge controlled rectifier based on power semiconductor devices has been investigated using MATLAB/SIMULINK modeling. A schematic description of the virtual stand is given. The simulation system modeling results are presented: the measured value charts (waveforms), the spectral and harmonic composition of the consumed current of a controlled rectifier, followed by a comparison of theoretical and experimental data.*

K.I. Novgorodov, A.V. Savchits, V.E. Kostin,  
AUTOMATIC HELIOCATAMARAN

*Keywords:* automation, catamaran, solar energy, fish farming, hopper-dispenser, unmanned vehicle.

*The article proposes the development of an atomically Autonomous (working with renewable energy sources) electric catamaran, which serves for the implementation of technological operations in the fishing industry*

S.S. Pavlov, M.A. Ivanova, Y.G. Fedotova,  
A.V. Spiridonova, D.A. Sokolov  
RESEARCH OF MATHEMATICAL MODEL OF  
BRIQUETTES PRODUCTION TECHNOLOGY FOR SOLID  
FUEL BOILERS

*Keywords:* microbiological process, food competition, oxygen dissolution, apparatus, specific productivity, aeration, food competition, construction, limiting substrate.

*With a certain approach to studying mathematical models of microbiological processes that describe the relationship between populations of microorganisms, it is necessary to identify those that take into account the food competition characteristic of the process of cultivation of baking yeast. The main for microbiological processes are five types of relationships - metabiosis, symbiosis, competition, antagonism and parasitism. According to a large number of studies, it was found that in General, the relationship between extraneous microorganisms and baking yeast in a joint culture are in the nature of food competition.*

Д.П. Салова, Е.П. Шалунов, С.С. Сайкин, С.В. Солин,  
С.С. Сорокин, П.М. Салов, Т.Г. Виноградова,  
А.Ф. Денисенко, И.А. Фомичев

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЬБОРОВЫХ КРУГОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ**  
*Ключевые слова: эльборовые круги, режим самозатачивания, усилия резания, деформации, компенсация перемещений, колебания.*

*Наиболее трудоёмкой и затратной операцией механической обработки является внутреннее круглое шлифование глубоких отверстий [1-2]. Значительные отжатия в технологической системе (ТС) вызывают нарушение конгруэнтности контактной зоны круга с заготовкой. Целью исследований являлось создание эффективных условий эксплуатации круга за счёт установки и поддержания его положения при работе, при котором он сохраняет цилиндричность.*

Л.А. Симонова, К.Н. Гавариева  
**РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ШТАМПОВКИ.**

*Ключевые слова: нечеткая логика, функция принадлежности, входные переменные, принятие решений.*

*В статье рассматривается разработка базы знаний для системы нечеткого логического вывода. Разработка выполнена в программной среде MATLAB, для технологического процесса прецизионной штамповки. В ходе разработки создаются переменные системы нечеткого логического вывода и правила, а также получена визуализация поверхности нечеткого вывода.*

А.Р. Фардеев  
**ВЫБОР НАСОСА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ**

*Ключевые слова: насос, технологический процесс, система циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости, машиностроительное предприятие, рабочий объем, давление. В данной статье рассмотрена ветронасосная установка, предназначенная для включения в существующую систему циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия. Проведён анализ работы насоса установки, при условии сохранения его давления. Произведен выбор насоса при различных исполнительных органах машины. Использование выбранного (пластинчатого) насоса позволяет регулировать его рабочий объем на ходу с целью сохранения давления при изменении скорости ветра. В результате чего повышается средне-эксплуатационный КПД установки.*

А.Р. Фардеев, Р.Г. Марданшин  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ**

*Ключевые слова: ветродвигатель, технологический процесс, система циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости, машиностроительное предприятие, управление, исполнительные органы машины.*

*В данной статье рассмотрен ветродвигатель ветронасосной установки, работающей в составе системы циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия. Предложены различные способы управления ветродвигателями: в режиме ограничения мощности, в режиме максимальной снимаемой мощности, в режиме обеспечения работы исполнительных органов. Два последних способа управления выбраны для использования в системе, циркуляции смазочно-охлаждающих технологических средств машиностроительного предприятия.*

D.P. Salova, E.P. Shalunov, S.S. Saykin, S.V. Solin,  
S.S. Sorokin, P.M. Salov, T.G. Vinogradova,  
A.F. Denisenko, I.A. Fomichev

**RATIONAL USE OF CNB WHEELS CIRCLES IN GRINDING DEEP HOLES**

*Keywords: CNB wheels circles, the regime of self-sharpening, cutting forces, deformation, compensation of movements, vibrations.*

*The most time-consuming and costly machining operation is internal circular grinding of deep holes [1-2]. Significant depressions in the technological system (TS) cause a violation of the congruence of the contact zone of the circle with the workpiece. The purpose of the research was to create effective operating conditions of the circle by installing and maintaining its position during operation, in which it retains its cylindrical shape.*

L.A. Simonova, K.N. Gavarieva  
**DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE BASE FOR FUZZY INFERENCE SYSTEM OF PRECISION STAMPING PROCESS**

*Keywords: fuzzy logic, membership function, input variables, decision making.*

*The article deals with the development of knowledge base for fuzzy inference system. The development is performed in the MATLAB software environment. The technological process of precision stamping is presented as a system, for which variables of fuzzy inference system and rules are created in the course of development. As a result of the development, the visualization of the surface of the fuzzy inference of the model is obtained.*

A.R. Fardeev  
**A PUMP SELECTION OF A WIND PUMP INSTALLATION USED IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF LIQUID CIRCULATION**

*Keywords: pump, technological process, lubricant-coolant circulation system, machine-building enterprise, working volume, pressure.*

*The paper focuses on a wind pump installation designed to be included into an existing system of circulation of a lubricant-coolant of a machine-building enterprise. The analysis of the pump operation of the installation, provided that its pressure is maintained is done. A pump choice was made for various executive bodies of the machine. Using the selected (vane) pump allows you to adjust its working volume on the go in order to maintain pressure when the wind speed changes. As a result, the average operational efficiency of the installation is increased.*

A.R. Fardeev, R.G. Mardanshin  
**WIND MOTOR CONTROL AUTOMATION IN A LIQUID CIRCULATION SYSTEM**

*Keywords: wind turbine, technological process, a lubricant-coolant circulation system, machine-building enterprise, management, machine executive bodies.*

*The paper focuses on the wind turbine of a wind pump installation operating as a part of a lubricant-coolant circulation system of a machine-building enterprise. Various ways of controlling wind engines are considered: in the mode of limiting power, in the mode of maximum removable power, in the mode of ensuring the operation of executive bodies. The last two control methods are selected for use in the system, and for the circulation of cutting lubricants of a machine-building enterprise.*

А.Е. Шорников, С.Л. Сьянов  
АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК GSM МОДУЛЯ

Ключевые слова: точка доступа, GSM модуль, мобильное устройство.

В работе рассмотрены и систематизированы данные, а также оценены различные подходы по перспективам автоматизации процесса локализации параметров точки доступа GSM модуля мобильного устройства.

А.А. Южаков, О.А. Андриевский  
РАЗРАБОТКА ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: линейный двигатель, система автоматического управления, идентификация, адекватность. Рассмотрена модель линейного двигателя. Сформулированы требования к системе управления линейным двигателем. Представлены экспериментальные данные. Построены идентификационные модели. Проведена линеаризация нелинейной модели. Исследованы различные виды моделей на участках линеаризации. Проведена адекватность идентификационной модели.

А.М. Дергачев, Д.С. Садырин, А.Г. Ильина, И.П. Логинов,  
Ю.Д. Кореньков  
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ АЛЛОКАТОРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ БИБЛИОТЕКИ GLIBC

Ключевые слова: верификация, ошибки в ПО, символьное выполнение, проверка моделей, динамическая память, язык C. Работа посвящена проблеме эксплуатации уязвимостей аллокаторов динамической памяти в библиотеке glibc. В работе рассмотрены современные способы обнаружения таких уязвимостей и представлен комплексный подход для решения проблемы автоматического выявления уязвимостей на разных стадиях жизненного цикла разработки программного обеспечения. Данный подход применим для верификации аналогичных реализаций аллокаторов динамической памяти, таких как ptmalloc, dlmalloc, tcmalloc, jemalloc, musl.

М.С. Еремкина, Г.Д. Кожевников, И.А. Николаев,  
А.А. Пожидаев

СИСТЕМА ТРИБОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕТТИНГ-ИЗНАШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ

Ключевые слова: фреттинг-износ, ПО, трибомониторинг. В работе рассматривается разработанное программное обеспечение для системы трибомониторинга и управления машиной трения для проведения испытаний образцов на фреттинг-изнашивание при возвратно-поступательном скольжении. Особенность системы заключается в одновременной регистрации мгновенных значений силы трения и перемещения, что позволяет определять энергию диссипации в контакте, а также режимы изнашивания трущихся тел.

А.О. Ступин, Ю.В. Фомина, Е.Л. Вайтекунене,  
С.Н. Ежеманская  
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛА БОЛЕЗНИ ЛЕСОВ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТА ANYLOGIC

Ключевые слова: имитационное моделирование, лесные экосистемы, AnyLogic, автоматизация.

В статье рассматривается цикл болезней деревьев или период заражения их насекомыми, анализируются исследования специалистов. В процессе моделирования, с помощью инструмента Anylogic, используются методы ситуационного моделирования. В результате, с помощью программы Anylogic University, создается модель и график визуализации модели процесса.

A.E. Shornikov, S.L. Syanov  
AUTOMATION OF DETERMINING THE CONFIGURATION CHARACTERISTICS OF THE GSM MODULE

Keywords: access point, GSM module, mobile device.

The paper considers and systematizes the data, as well as evaluates various approaches for the prospects of automating the process of localizing the parameters of the access point of the GSM module of a mobile device.

A.A. Yuzhakov, O.A. Andrievskiy  
DEVELOPMENT OF AN IDENTIFICATION MODEL OF A LINEAR MOTOR

Keywords: linear motor, automatic control system, identification, adequacy.

The model of a linear motor is considered. The requirements for the linear motor control system are formulated. Experimental data are presented. Identification models are constructed. The linearization of the nonlinear model is carried out. Various types of models on the linearization sites are studied. The adequacy of the identification model was carried out.

A.M. Dergachev, D.S. Sadyrin, A.G. Ilina, I.P. Loginov,  
Yu.D. Korenkov  
MEANS OF FINDING ERRORS IN DYNAMIC MEMORY ALLOCATION

Keywords: verification, bugs in software, symbolic execution, model checking, dynamic memory, C language.

The work is devoted to the problem of exploitation of dynamic memory allocation vulnerabilities in glibc library. The paper discusses modern methods for detecting such vulnerabilities and presents an integrated approach to solving the problem of automatically detecting vulnerabilities at different stages of the software development life cycle. This approach is applicable for verification of similar implementations of dynamic memory allocators, such as ptmalloc, dlmalloc, tcmalloc, jemalloc, musl.

M.S. Eremkina, G.D. Kozhevnikov, I.A. Nikolaev,  
A.A. Pozhidaev

TRIBOMONITORING SYSTEM FOR STUDYING THE PROCESS OF FRETTING WEAR IN CONDITIONS OF RECIPROCATING SLIDING

Keywords: fretting, Software, tribomonitoring.

The software for tribological monitoring and operating of the frictional machine for fretting wear testing of samples during reciprocal sliding is considered in this paper. The peculiarity of the system is the simultaneous registration of instantaneous value of the frictional force and displacement, which help to determine dissipation energy in contact, and the mode of fretting wear of the parts in rubbing contact.

A.O. Stupin, Yu.V. Fomina, E.L. Vaitekunene,  
S.N. Ezhemanskaia  
FOREST DISEASE CYCLE SIMULATION OF THE USING ANYLOGIC TOOL

Keywords: simulation modeling, forest ecosystems, AnyLogic, automation.

The article considers the tree diseases cycle or the infection with insects period and analyzes a number of specialists studies. There are used situational modeling methods in the modeling process, using the Anylogic tool. As a result, there are created a model and a graph for visualizing the process model, using the Anylogic University program.

Ю.А. Ушаков, М.В. Ушакова, А.Л. Коннов  
МАРШРУТИЗАЦИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ  
ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ  
СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

*Ключевые слова: самоорганизующиеся сети, программно-конфигурируемые сети, маршрутизация.*

*Работа направлена на изучение особенностей упрощенной реализации стека протоколов, эффективности маршрутизации и производительности в режиме транзитной передачи данных устройств, с приоритетом на максимально долгое время работы от аккумуляторов.*

U.A. Ushakov, M.U. Ushakova, A.L. Konnov  
ROUTING IN A DISTRIBUTED SOFTWARE-  
CONFIGURABLE NETWORK BASED ON A SERVICE-  
ORIENTED APPROACH

*Keywords: self-organizing networks, software-configured networks, routing.*

*The work is aimed at studying the features of a simplified implementation of the protocol stack, routing efficiency and performance in the transit mode of device data transfer, with priority for the longest battery life.*

Е.О. Ямашкина, С.А. Ямашкин, С.М. Коваленко  
ТЕСТИРОВАНИЕ И ВЫБОР ГРАФИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССОРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA ДЛЯ  
АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

*Ключевые слова: машинное обучение, нейронные сети, графический процессор, конфигурация, инфраструктура пространственных данных, пространственные данные.*

*В данной статье рассматриваются особенности конфигурации рабочей станции, используемой для машинного обучения с целью анализа пространственных данных. В ходе работы проведено тестирование нейронной сети с применением технологии Nvidia CUDA на различных графических процессорах. На основе тестов приводятся рекомендации по выбору графического процессора для машинного обучения.*

E.O. Yamashkina, S.A. Yamashkin, S.M. Kovalenko  
TESTING AND SELECTING A GRAPHIC PROCESSOR FOR  
TRAINING NEURAL NETWORKS USING NVIDIA CUDA  
FOR THE ANALYSIS OF SPATIAL DATA

*Keywords: machine learning, neural networks, graphics processor, configuration, spatial data infrastructure, spatial data.*

*This article discusses the features of the configuration of a workstation used for machine learning in solving the problem of spatial data analysis. In the course of work, a neural network was tested using Nvidia CUDA technology on various graphics processors. Based on the tests, recommendations are given for choosing a graphics processor for machine learning.*

В.В. Андреев, М.М. Африн  
ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ РАСЧЕТНЫХ КОДОВ ДЛЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙ С ОТКАЗОМ АВАРИЙНОЙ  
ЗАЩИТЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БЫСТРЫМ РЕАКТОРАМ  
С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

*Ключевые слова: расчетные коды, моделирование аварий, быстрые реакторы, аварии типа UTOP, аварии типа ULOF. В работе представлен краткий обзор расчетных кодов, используемых для моделирования аварийных ситуаций на АЭС. В данном исследовании в качестве объекта моделирования расчетными программами были выбраны два типа аварий UTOP и ULOF. Моделирование указанных аварий позволит качественно оценить возможности программных продуктов, представленных за рубежом. В качестве реакторной установки был выбран быстрый реактор с натриевым теплоносителем.*

V.V. Andreev, M.M. Afrin  
OVERVIEW OF FOREIGN ANALYTICAL CODES FOR  
MODELING EMERGENCY SHUTDOWN DENIAL  
ACCIDENTS ON SODIUM-COOLED FAST REACTORS

*Keywords: codes, accident modeling, fast reactors, UTOP accident, ULOF accident.*

*In this work, the brief overview of analytical codes used for the modeling of accidents at the nuclear power station is presented. In this study, two kinds of accidents UTOP and ULOF were selected as the modelled object by calculation programs. The modeling of these accidents will qualitatively assess the features of program products, presented abroad. The fast reactor with the sodium coolant was chosen as a reactor.*

В.Ю. Артамонов, Н.В. Дубов, П.С. Зубков, Н.А. Кулаев  
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ  
ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

*Ключевые слова: Светодиодная лампа, система фильтрации, электрическая сеть, помехи, электромагнитная совместимость, PSIM.*

*Приведены результаты моделирования встраиваемого фильтра тока для светодиодных ламп с неидеальной питающей сетью. Выполнены расчеты параметров и обоснованы принципы работы фильтра. Произведено исследование фильтра тока для светодиодных ламп на подавление высших гармоник.*

V.Y. Artamonov, N.V. Dubov, P.S. Zubkov, N.A. Kulaev  
SIMULATION THE WORK OF THE INTEGRATED  
FILTRATION SYSTEM FOR LED LAMPS

*Keywords: LED lamp, filtration system, electrical network, interference, electromagnetic compatibility, PSIM.*

*The simulation results of the built-in current filter for LED lamps with a non-ideal supply network are presented. The calculations of the parameters and the principles of the filter. A study of the current filter for LED lamps to suppress the higher harmonics.*

А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева  
СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ  
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО  
ДАВЛЕНИЯ

*Ключевые слова: анализ, контроль, статистические методы, архивные данные.*

*В статье рассматривается возможность применения статистического анализа данных временных рядов для контроля выходных параметров натриевых ламп высокого давления. В качестве метода статистического анализа применен критерий Уилкоксона.*

A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva  
STATISTICAL METHODS ANALYSIS OF DATA CONTROL  
SYSTEM TO HIGH-PRESSURE SODIUM LAMPS

*Keywords: analysis, control, statistical methods, archival data.*

*The article discusses the possibility of applying statistical analysis of time series data to control the output parameters of high-pressure sodium lamps. As a method of statistical analysis, the Wilcoxon criterion is used.*

Д.С. Грибач

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ  
КОРРЕКТИРОВОК В АРХИТЕКТУРНУЮ КОНЦЕПЦИЮ

Ключевые слова: аэродинамика, аэродинамические  
коэффициенты, аэродинамическая труба, ветровое  
воздействие, строительная аэродинамика.

В работе представлена проблема учета ветрового воздействия на строительные объекты. В статье подчеркнута важность проведения повторных исследований при изменении формы объекта или его элементов. Описано проведение экспериментального исследования ветрового воздействия в аэродинамической трубе для двух конфигураций жилого комплекса. Результатом работы является сравнительный анализ полученных в ходе выполнения работ данных о ветровом воздействии.

D.S. Gribach

TO THE QUESTION OF THE NEED FOR ADDITIONAL  
EXPERIMENTAL STUDIES OF WIND EFFECTS ON  
BUILDINGS AND STRUCTURES WHEN MAKING  
ADJUSTMENTS TO THE ARCHITECTURAL CONCEPT

Keywords: aerodynamics, aerodynamic coefficients, building aerodynamics, wind tunnel, wind.

The paper presents the problem of accounting for wind effects on construction sites. The article emphasizes the importance of repeated studies when changing the shape of an object or its elements. An experimental study of the wind effect in a wind tunnel for two configurations of a residential complex is described. The result of the work is a comparative analysis of the data on wind exposure obtained during the course of the work.

Е.Н. Журавлева

РЕШЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ БАЛОК МЕТОДОМ  
ОРТОГОНАЛИЗИРУЮЩИХ ЯДЕР

Ключевые слова: интегральные уравнения, метод  
ортогонализирующих ядер, упругое полупространство,  
упругая полуплоскость и упругий слой.

В работе рассматривается гибкая балка единичной ширины, свободно лежащая на упругом основании под действием нагрузки. Построено эффективное решение пространственной задачи для балки конечной длины, взаимодействующей с упругим основанием. Получены функциональные характеристики ядра для упругого однородного полупространства и упругого слоя. С помощью линейных интегральных уравнений типа Вольтерра парные уравнения приводятся к уравнению Фредгольма второго рода. Приведён анализ полученных результатов для различных показателей гибкости, соотношения сторон балки, а также различных значений толщины упругого слоя и в пределе полупространства.

E.N. Zhuravleva

SOLUTION OF CONTACT PROBLEMS FOR BEAMS BY  
ORTHOGONALIZING NUCLEI METHOD

Keywords: integral equations, the method of orthogonalizing nuclei, slender beam, elastic half-space, elastic half-plane and elastic layer.

The paper considers a flexible beam of unit width, freely lying on elastic foundation under the action of loads. In this paper, we construct an effective solution to the spatial problem of a beam of finite length interacting with an elastic foundation. The functional characteristics of the nucleus for an elastic homogeneous half-space and an elastic layer are obtained. Using Volterra-type linear integral equations, the pair equations are reduced to the second kind of the Fredholm equation. The analysis of the results obtained for various parameters of flexibility, the ratio of the beam sides, as well as different values of the thickness of the elastic layer and the half-space in the limit is given.

В.А. Карпычев, Д.В. Ковин

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА  
РЫЧАЖНЫХ ПЕРЕДАЧ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Ключевые слова. Тормозная рычажная передача,  
структурный анализ, обобщённая координата.

В статье рассмотрен вопрос проведения структурного анализа тормозной рычажной передачи грузового вагона. В частности, получение нескольких вариантов разбиения механизма на структурные группы на основе применения общих рекомендаций. Освещена проблема обоснования выбора обобщённых координат механизма.

V.A. Karpychev, D.V. Kovin

TO THE QUESTION ABOUT METHODS OF FREIGHT CAR  
BRAKE RIGGING STRUCTURAL ANALYSIS

Keywords. Brake rigging, structural analysis, joint coordinates. The article considers the issue of freight car brake rigging structural analysis. In particular, obtaining several alternatives of partition the mechanism based on the application of general recommendations. Then the authors cover the problem of justification of joint coordinates.

В.Ю. Колесников, И.Н. Сидоров

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОАКСИАЛЬНОГО CO<sub>2</sub> - ЛАЗЕРА  
НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: коаксиальный CO<sub>2</sub>-лазер, электроразрядная камера, алгоритм расчета процессов в активной среде, мощность энергоклада, мощность излучения, коэффициента полезного действия.

В статье представлен алгоритм расчета параметров процессов, происходящих в разрядной камере коаксиального CO<sub>2</sub>-лазера непрерывного действия. Предложена методика расчета средней мощности выходного излучения лазера. Приведен пример расчета распределения параметров электроразрядной камеры, а также мощности энергоклада, мощности излучения и коэффициента полезного действия лазера в зависимости от параметров газовой смеси, геометрии разрядной камеры и прикладываемого напряжения.

V.Yu. Kolesnikov, I.N. Sidorov

CALCULATION PARAMETERS OF COAXIAL CO<sub>2</sub> - LASER  
CONTINUOUS ACTION

Keywords: coaxial CO<sub>2</sub> laser, electric discharge chamber, algorithm for calculating processes in an active medium, power input, radiation power, efficiency.

The article presents an algorithm for calculating the parameters of processes occurring in the discharge chamber of a continuous coaxial CO<sub>2</sub> laser. A method of calculating the average output laser radiation power is proposed. An example of calculating the distribution of the parameters of the electric discharge chamber, as well as the power input, radiation power and laser efficiency depending on the parameters of the gas mixture, the geometry of the discharge chamber, and the applied voltage is given.

А.В. Ромодин, А.С. Семенов

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ  
ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ***Ключевые слова: математическое моделирование,  
технический учет электроэнергии, контроль энергоресурсов.**В рамках статьи рассмотрено внедрение технического учета на месторождения нефти и газа. Задачей работы является использование математического моделирования для составления описания потребления каждого элемента с целью ведения технического учета на базе уже имеющихся телекоммуникационных систем.**Так как роль технического учета в процессе управления предприятием высока, внедрение систем мониторинга большинства технологических параметров является первоочередной задачей. Результаты математического моделирования позволят вести технический учет на базе систем мониторинга других технологических параметров, что значительно дешевле.*О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.Р. Яфизов, Р.Р. Хусайнов  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В ПОРИСТЫХ  
СРЕДАХ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ***Ключевые слова: высокопористый ячеистый материал,  
модель Дарси, прямое численное моделирование,  
гидродинамический расчет.**В данной работе проведено исследование течения газа через пористые структуры. Построены геометрические модели пористых сред с различными характеристиками, проведены численные расчеты изменения перепада давления в зависимости от скорости потока. Модели пористых структур со случайным расположением пор обеспечивают наименьшее изменение перепада давления, а упорядоченность структуры приводит к результатам более близким к данным, полученным по модели Дарси. Результаты численных исследований хорошо согласуются с экспериментами.*С.В. Фоминых, А.В. Ромодин  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ***Ключевые слова: система технического обслуживания и  
ремонта, теория управляемых Марковских процессов,  
распределительные сети.**В работе представлен расчет параметров для оптимизации системы технического обслуживания и ремонта электросетевого оборудования. Эта система является важнейшим методом поддержания возрастного оборудования в пределах энергоэффективной работы. Поскольку для модернизации системы требуются огромные бюджеты это приводит к тенденции совершенствования методов и критериев принятия решений по эффективному управлению техническим обслуживанием и ремонтом энергетического оборудования. Описанная математическая модель основана на теории управляемых Марковских процессов. Этот математический метод позволяет описывать "стареющие" системы.*А.Н. Хворова, С.В. Ерохин  
**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСАЧИВАНИЯ  
ЖИДКОСТИ В ТРЕЩИНОВАТОМ СЛОЕ***Ключевые слова: дробная производная, численный метод.**В статье представлена математическая модель движения жидкостей в трещиноватых средах, которая может быть использована при разработке нефтяных месторождений с трещиноватыми коллекторами. Данная модель представлена как начальная задача для нелинейного дифференциального уравнения дробного порядка с переменными коэффициентами, которая решается с помощью построения численной схемы второго порядка. Преимущество модели состоит в том, что она учитывает зависимость мощности  $H$  от значений градиента давления по всей скважине.*

A.V. Romodin A.S. Semenov

**MATHEMATICAL MODELING AS A METHOD OF  
INTRODUCING TECHNICAL ACCOUNTING OF ELECTRIC  
POWER IN OIL DEPOSITS***Keywords: mathematical modeling, technical metering of  
electricity, energy control.**The article considers the introduction of technical accounting for oil and gas fields. The objective of the work is, using mathematical modeling, to compile a description of the consumption of each element in order to maintain technical records on the basis of existing telecommunication systems.**Since the role of technical accounting in the process of enterprise management is high, the introduction of monitoring systems for most technological parameters is a paramount task. The results of mathematical modeling will allow technical accounting based on monitoring systems of other technological parameters, which is much cheaper.*O.V. Soloveva, S.A. Solovev, R.R. Yafizov, R.R. Khusainov  
**INVESTIGATION OF FLUID FLOW IN POROUS MEDIA OF  
VARIOUS GEOMETRY***Keywords: open cell foam material, direct numerical simulation,  
hydrodynamic calculation.**In this work, we studied the gas flow through various porous structures. Geometrical models of porous structures with different characteristics are constructed, numerical calculations of changes in pressure drop versus flow rate are carried out. Models of porous structures with a random arrangement of pores give a nonlinear change in pressure drop versus flow rate, and ordered structures give results closer to the Darcy model. In the case when the porosity of the random structure coincides with the others, the pressure drop is much higher. The results of numerical studies are in good agreement with experimental data.*S.V. Fominykh, A.V. Romodin  
**MAINTENANCE SYSTEM OPTIMIZATION***Keywords: maintenance and repair system, theory of controlled  
Markov processes, distribution networks.**The paper presents the calculation of parameters to optimize the system of maintenance and repair of electrical equipment. This system is the most important method of maintaining age-related equipment within energy-efficient operation. Since the modernization of the system requires huge budgets, this leads to a tendency to improve the methods and criteria for decision-making on the effective management of maintenance and repair of power equipment. The described mathematical model is based on the theory of controlled Markov processes. This mathematical method allows us to describe "aging" systems.*A.N. Khvorova, S.V. Erokhin  
**MATHEMATICAL MODEL OF SEEPAGE OF A LIQUID IN  
THE FRACTURED LAYER***Keywords: fractional derivative, numerical method.**This article presents a mathematical model of liquid movement in fractured media, which can be used in the development of oil fields with fractured reservoirs. This model is presented as the initial problem for a nonlinear differential equation of fractional order with variable coefficients, which is solved by constructing a second-order numerical scheme. The advantage of the model is that it takes into account the dependence of layer  $H$  on the values of the pressure gradient throughout the well.*

А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, А.В. Корнева  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА С  
УЧЕТОМ РАССЛОЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ПОРОД  
КРОВЛИ

*Ключевые слова: математическая модель, горная выработка, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.*

*Выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния слоистого геомассива в условиях техногенных воздействий с учетом расслоения подработанных пород кровли.*

П.С. Чуринов, А.Н. Федосова, А.А. Брыков  
ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКИ ПАРКОВОЙ  
ТЕРРИТОРИИ НА КОМФОРТНОСТЬ ПЕШЕХОДНЫХ ЗОН

*Ключевые слова: пешеходная комфортность, математическое моделирование, благоустройство, планировка территории, парковые территории.*

*В работе представлены результаты исследования влияния точечной застройки парковой территории на комфортность пешеходных зон на основании результатов математического моделирования. Приведены наиболее эффективные мероприятия по компенсации ветрового дискомфорта.*

Ю.Ж. Дондиков, Н.И. Кондакова, С.В. Степанова  
БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Ключевые слова: информация, информационные технологии, защита информации, средства обеспечения информационной безопасности, информационные системы.*

*Научно-технический прогресс превратил информацию в продукт, который можно купить, продать, обменять. Нередко стоимость данных в несколько раз превышает цену всей технической системы, которая хранит и обрабатывает информацию. Качество коммерческой информации обеспечивает необходимый экономический эффект для компании, поэтому важно охранять критически важные данные от неправомерных действий. В данной статье описывается система безопасности информационных систем.*

A.B. Tsvetkov, L.D. Pavlova, A.V. Korneva  
NUMERICAL SIMULATION OF THE STRESSED-  
DEFORMED STATE OF A GEOMASSIV, ACCORDING TO  
THE STRATIFICATION OF WORKED-OUT ROOF ROCKS

*Keywords: mathematical model, mining, finite element method, stressed-deformed state.*

*A numerical simulation of the stress-strain state of a layered geomass in conditions of anthropogenic impacts according to the stratification of worked-out roof rocks is performed.*

P.S. Churin, A.N. Fedosova, A.A. Brykov  
INFLUENCE OF POINT DEVELOPMENT OF THE PARK  
TERRITORY ON THE COMFORT OF PEDESTRIAN ZONES

*Keywords: pedestrian comfort, mathematical modeling, landscaping, territory planning, park areas.*

*The paper presents the results of a study of the influence of point building of a park territory on the comfort of pedestrian zones based on the results of mathematical modeling. The most effective measures to compensate for wind discomfort are given.*

Yu.Zh. Dondikov, N.I. Kondakova, S.V. Stepanova  
SECURITY OF INFORMATION SYSTEMS FUNCTIONING

*Keywords: information, information technologies, information protection, means of information security, information systems. Scientific and technological progress has turned information into a product that can be bought, sold, exchanged. Often the cost of data is several times higher than the price of the entire technical system that stores and processes information. The quality of commercial information provides the necessary economic benefit for the company, so it is important to protect critical data from misconduct. This article describes the security system of information systems.*

## **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

№1 2020

Направления:

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

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

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

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

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

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

[www.ntvp.ru](http://www.ntvp.ru)

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 30.01.2020    Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 30.01.2020

11,5 усл.печ.л. 13,4 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2470.

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»