

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№9 2023

Направления:

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

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

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

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

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

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

**Казань
2023**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №9 2023г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2023. – 234 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.ntvprrt.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.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.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, 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Минкин, А.В. Репина, Р.Х. Шагимуллин, А.А. Иванова</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТИОКОЛОВЫХ ГЕРМЕТИКОВ В ПРОЦЕССЕ НЕФТЕДОБЫЧИ	10
--	----

1.2.2. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

<i>Е.Б. Булгытов</i> О КЛАССИФИКАЦИИ МУЛЬТИФУНКЦИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МАКСИМАЛЬНЫМ МУЛЬТИКЛОНАМ РАНГА 2	13
<i>Е.В. Десяев, Т.Ф. Мамедова, Д.К. Егорова</i> ПОКОМПОНЕНТНОЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ В ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА	17
<i>О.В. Ильина, С.А. Ляшева, В.М. Трегубов</i> РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ КООРДИНАТЫ ВЫХОДА ОПТИЧЕСКОГО ЛУЧА В ЛАЗЕРНЫХ ЦЕНТРИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	21
<i>И.И. Ишимев, С.С. Логинов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛОВ С OFDM	24
<i>Н.А. Котков, И.В. Плохов, К.Г. Эрастова, А. М. Валиуллин</i> ДИАГНОСТИКА УЗЛОВ СКОЛЬЗЯЩЕГО ТОКОСЪЕМА ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОКЛАССИФИКАТОРА	28
<i>Е.В. Львова, П.А. Шаронов, М.А. Шаронов</i> ОПТИМАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	32
<i>Е.А. Петрова, Т.К. Филимонова, Г.А. Овсеев, Э.Ш. Кремлева</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТА	39
<i>И.З. Самерханов, Е.А. Печеный, Н.К. Нуриев</i> О РАЗДЕЛЕНИИ N-КАНАЛЬНОЙ СМО С КАНАЛАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НА N НЕЗАВИСИМЫХ ОДНОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ	43
<i>Р.З. Хайруллин</i> ФОРМИРОВАНИЕ ПОРЯДКОВЫХ СТАТИСТИК ДЛЯ ЗАДАЧ ПОСТРОЕНИЯ ОЦЕНОК ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ВЫБОРОК	50
<i>Е.Г. Царькова</i> ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ СИСТЕМ ОХРАНЫ В УЧРЕЖДЕНИЯХ УИС	54

2.3.1. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Г.Н. Аглямзянова, Л.З. Гумерова</i> ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ МОДУЛЯ ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ БИБЛИОТЕК PYTHON	58
<i>С.С. Акимов, М.В. Арханчева</i> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА ОРГАНИЗМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА	61
<i>Д.А. Васильев, М.А. Иванова, Т.И. Васильева</i> РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА JAVA ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗА	64
<i>А.В. Волков, А.В. Марченко, Е.М. Мигачева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОТРУДНИКОВ НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	69
<i>А.В. Ганичева, А.В. Ганичев</i> ГРАММАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА	72

<i>И.Б. Гинзбург, Ю.Н. Кондрашов, Д.А. Макаров</i> ИЗУЧЕНИЕ БИБЛИОТЕК ЯЗЫКА PYTHON ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СРЕДЕ JUPYTERLAB	75
<i>Е.В. Гусев</i> АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОВЕРКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ	78
<i>А.С. Дулесов, Н.В. Дулесова, Н.С. Федоренко</i> ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭНТРОПИИ А. ХИНЧИНА В АНАЛИЗЕ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	81
<i>Д.Ю. Евсюков, А.В. Ломазов, В.А. Ломазов, А.А. Боровская, И.В. Мирошниченко</i> НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАДРОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	86
<i>А.И. Егунова, А.А. Сайгин</i> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	91
<i>А.Л. Золкин, Т.Г. Айгузов, К.А. Наминова, С.А. Жильцов</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В БЕСПИЛОТНОМ ТРАНСПОРТЕ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И СРЕДСТВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	95
<i>А.Л. Золкин, Н.В. Легович, Е.А. Свердликова, В.А. Пестин</i> РЕАЛИЗАЦИЯ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ХАБА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ С РАЗРАБОТКОЙ АППАРАТА ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ	102
<i>А.Л. Золкин, Е.В. Ломакина, В.А. Сенков, В.Е. Ожиганов</i> СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭКВАЙРИНГОМ ГИПЕРМАРКЕТА НА ОСНОВЕ ХЭШ-НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНЗАКЦИЙ И КВАНТОВОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ	109
<i>Е.А. Муравьева, А.Д. Гайдукова</i> РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЛОННЫ РЕКТИФИКАЦИИ ИЗОПЕНТАН - ИЗОАМИЛЕНОВОЙ ФРАКЦИИ	116
<i>Нгуен Тхи Тху, Р.С. Зарипова, Нгуен Фук Хау</i> BIG DATA: ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ НА ПРАКТИКЕ	120
<i>Г.В. Соколов, С.А. Нелюб</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПАК ППИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИИ	123
<i>Л.Ф. Тагирова, Е.Н. Чернопрудова, Н.А. Тишина</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИЛОЖЕНИЙ	127
<i>Е.Н. Чернопрудова, Н.А. Тишина, В.Р. Бадиков</i> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА	131
<i>Х.А. Шамасна, А.В. Семашко</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АГРЕГАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПТИЦЕФАБРИКЕ	135

2.3.3. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<i>У.А. Айметдинова, Д.А. Веденькин, Али Аль-Муфти, Рус.Ш. Мисбахов, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, А.А. Кузнецов</i> АНАЛИЗ МЕТОДА ДВУХЧАСТОТНОЙ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ КАНАЛОВ СВЯЗИ ТРАНСПОРТНОГО ДОМЕНА СЕТЕЙ 5G/6G	140
<i>А.Н. Афонин, Каунг Мьят Хту, В.И. Федоров, А.В. Коськин</i> ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР С РЕГУЛИРУЕМЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ	144
<i>Д.И. Березин, М.А. Бобров</i> КОСВЕННЫЙ РАСЧЕТ ДИАМЕТРА КАТУШКИ С ЛЕНТОЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЯХ ПО НАЛОЖЕНИЮ ИЗОЛЯЦИИ И БРОНИРОВАНИЯ КАБЕЛЯ	148

<i>К.Э. Булдакова, П.Е. Денисенко, Али Аль-Муфти, Рус.Ш. Мисбахов, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, А.А. Кузнецов</i> АНАЛИЗ МЕТОДА ТРЕХЧАСТОТНОЙ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ КАНАЛОВ СВЯЗИ ТРАНСПОРТНОГО ДОМЕНА СЕТЕЙ WIFI6/7	152
<i>Г.А. Гареева, Н.И. Киамова, О.Ю. Герасимова, З.М. Филатова, А.Р. Шакиров</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОКУМЕНТООБОРОТА В МЕДИЦИНСКОМ УЧРЕЖДЕНИИ	155
<i>С.И. Куприянов, И.А. Радченко</i> О ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПАРАДИГМЫ MLOPS	158
<i>В.И. Курир</i> МИКРО- И МИНИ-ГЭС НА ОСНОВЕ ГИДРОТУРБИННЫХ БЛОКОВ HYDROMATRIX И STRAFLOMATRIX	162
<i>В.С. Петров, М.В. Овечкин</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	166
<i>С.В. Романов, Е.А. Басуматорова</i> РАСЧЕТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КУСТОВОЙ ПЛОЩАДКИ	169
<i>И.В. Савчук, Е.А. Басуматорова</i> АВТОМАТИЧЕСКИЙ МИКРОКЛИМАТ ПТИЧНИКА НА МНОГОПРОФИЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	175

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

<i>И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай</i> НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ В ЗОНЕ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПО ТРАНСФОРМИРУЮЩИМСЯ РАСЧЕТНЫМ СХЕМАМ	179
<i>И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СПЛОШНЫХ СРЕД РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ	183
<i>И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной, А.А. Саченков, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай</i> НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КОМПЕНСАЦИОННОМ НАГНЕТАНИИ И С УЧЕТОМ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ	187
<i>В.Д. Петелина</i> КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ	190
<i>М.Р. Тихонов</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗОВ	195
<i>А.О. Шилов, А.Р. Морозов, Р.В. Камалов, А.С. Вохминцев, И.А. Вайништейн</i> АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОТРУБОК АНОДНОГО HfO_2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	198

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

<i>А.А. Дронина, Р.С. Зарипова</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МАШИНИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ	203
<i>А.Г. Коробейников, В.Л. Ткалич, О.И. Пирожникова, А.Н. Югансон</i> РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ИХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ	207

<i>Нгуен Тхи Тху, Р.С. Зарипова, Нгуен Фук Хау</i> КОНЦЕПЦИЯ QR-КОДА И РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЕГО СКАНИРОВАНИЯ	210
--	-----

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

<i>Р.И. Юсупова, Р.С. Зарипова</i> ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ	214
---	-----

АННОТАЦИИ	217
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>V.S. Minkin, A.V. Repina, R.H. Shagimullin, A.A. Ivanova</i> APPLICATION OF THIOCOL SEALANTS IN THE PROCESS OF OIL PRODUCTION	10
--	----

1.2.2. — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

<i>E.B. Bulgytov</i> ON THE CLASSIFICATION OF MULTIFUNCTIONS BASED ON THEIR BELONGING TO MAXIMUM MULTICLONES OF RANK 2	13
<i>E.V. Desyaev, T.F. Mamedova, D.K. Egorova</i> COMPONENT-BY-COMPONENT ASYMPTOTIC INTEGRATION IN A GENERALIZED MODEL OF ECONOMIC GROWTH	17
<i>O.V. Ilina, S.A. Lyasheva, V.M. Tregubov</i> CALCULATION OF THE ERROR OF THE OPTICAL BEAM OUTPUT COORDINATE IN LASER CENTERING MEASURING SYSTEMS	21
<i>I.I. Ishmiev, S.S. Loginov</i> SIMULATION OF THE METHOD OF PARTIAL TRANSMISSION OF A SEQUENCE OF REDUCING THE PEAK FACTOR OF SIGNALS WITH OFDM	24
<i>N.A. Kotkov, I.V. Plokhov, K.G. Erastova, A.M. Valiullin</i> DIAGNOSTICS OF SLIDING ELECTRICAL CONTACT UNIT OF TURBOGENERATORS WITH NEURAL NETWORK CLASSIFIER	28
<i>E.V. L'vova, P.A. Sharonov, M.A. Sharonov</i> OPTIMAL ESTIMATION OF SIGNAL PARAMETERS IN INDUSTRIAL AC NETWORKS	32
<i>E.A. Petrova, T.K. Filimonova, G.A. Ovseenko, E.S. Kremleva</i> MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING THE CHARACTERISTICS OF A TRANSPORT ROUTE	39
<i>I.Z. Samerkhanov, E.A. Pecheny, N.K. Nuriev</i> ABOUT THE SEPARATION OF THE N-SERVER QUEUING SYSTEM WITH HETEROGENEOUS SERVERS ON N INDEPENDENT SINGLE-SERVER SYSTEMS	43
<i>R.Z. Khayrullin</i> FORMATION OF ORDINAL STATISTICS FOR THE TASKS OF CONSTRUCTING ESTIMATES OF MEASUREMENT ERROR IN CONDITIONS OF SMALL SAMPLES	50
<i>E.G. Tsarkova</i> BUILDING AN OPTIMAL STRATEGY FOR MANAGING THE RELIABILITY OF SECURITY SYSTEMS IN PENAL INSTITUTIONS	54

2.3.1. — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>G.N. Aglyamzyanova, L.Z. Gumerova</i> EXPERIENCE IN IMPLEMENTING A MODULE FOR COMBINING ONTOLOGICAL KNOWLEDGE BASES BASED ON PYTHON LIBRARIES	58
<i>S.S. Akimov, M.V. Arkhapcheva</i> DEVELOPMENT OF A MODEL FOR ASSESSING THE ELEMENTAL STATUS OF THE BODY TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF DAIRY FARMING	61
<i>V.A. Vasiliev, M.A. Ivanova, T.I. Vasilyeva</i> DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK IN JAVA FOR THE TASK OF IMAGE RECOGNITION	64
<i>A.V. Volkov, A.V. Marchenko, E.M. Migacheva</i> STUDY OF THE INFLUENCE OF EMPLOYEE WORKABILITY ON THE QUALITY AND SECURITY OF INFORMATION SYSTEMS SERVICE	69
<i>A.V. Ganicheva, A.V. Ganichev</i> GRAMMATICAL METHOD OF DESCRIBING ROBOT MOVEMENT	72
<i>I.B. Ginzburg, Yu.N. Kondrashov, D.A. Makarov</i> LEARNING PYTHON LIBRARIES FOR MACHINE LEARNING IN THE JUPYTERLAB ENVIRONMENT	75

<i>E.V. Gusev</i> ALGORITHMS FOR OPTIMIZING THE SEQUENCE OF CHECKING COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS WITH A LIMITED RECOVERY TIME	78
<i>A.S. Dulesov, N.V. Dulesova, N.S. Fedorenko</i> APPLIED SIGNIFICANCE OF A. HINCHIN ENTROPY IN STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS	81
<i>D.Yu. Evsyukov, V.A. Lomazov, A.V. Lomazov, A.A. Borovskaya, I.V. Miroshnichenko</i> NEURO-FUZZY PREDICTION OF STAFF NEEDS OF INNOVATIVE ENTERPRISE	86
<i>A.I. Egunova, A.A. Saigin</i> RECOVERY OF AUDIO SIGNALS USING RECURRENT NEURAL NETWORKS	91
<i>A.L. Zolkin, T.G. Aigumov, K.A. Naminova, S.A. Zhiltsov</i> AUTOMATED VEHICLE MOTOR OPTIMIZATION: IMPROVING EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY WITH AI-BASED THERMAL MANAGEMENT	95
<i>A.L. Zolkin, N.V. Levoshich, E.A. Sverdlikova, V.A. Pestin</i> IMPLEMENTATION AND DEPLOYMENT OF A MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM FOR A LOGISTICS HUB OF TRUCKS WITH THE DEVELOPMENT OF HEURISTIC MANAGEMENT METHODS	102
<i>A.L. Zolkin, E.V. Lomakina, V.A. Senkov, V.E. Ozhiganov</i> CREATION OF A HYPERMARKET ACQUIRING SERVICE SYSTEM BASED ON HASH-FUZZY TRANSACTION REGULATION	109
<i>E.A. Muravyova, A.D. Gaydukova</i> DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK CONTROL SYSTEM FOR THE RECTIFICATION COLUMN OF ISOPENTANE - ISOAMYLENE FRACTION	116
<i>Nguyen Thi Thu, R.S. Zaripova, Nguyen Phuc Hau</i> BIG DATA: PUTTING BIG DATA INTO PRACTICE	120
<i>G.V. Sokolov, S.A. Nelyub</i> “BAUM STORAGE” LIMITED LIABILITY COMPANY COMPUTER APPLIANCE FOR AI PRACTICAL TASKS	123
<i>L.F. Tagirova, E.N. Chernoprudova, N.A. Tishina</i> APPLICATION OF ARTIFICIAL CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO DETERMINE DISTINCTIVE CHARACTERISTICS OF APPLICATION USERS	127
<i>E.N. Chernoprudova, N.A. Tishina, B.R. Badikov</i> METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TONALITY OF THE TEXT BASED ON GRADIENT BOOSTING RESEARCH SOLUTIONS SELF-	131
<i>H.A. Shamsana, A.V. Semashko</i> DEVELOPMENT OF A DATA AGGREGATION AND VISUALIZATION SYSTEM IN AN INTELLIGENT POULTRY FARM	135

2.3.3. — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

<i>U.A. Aymetdinova, D.A. Vedenkin, Ali Al-Mufti, Rus.Sh. Misbakhov, O.G. Morozov, G.A. Morozov, A.A. Kuznetsov</i> ANALYSIS OF THE DUAL-FREQUENCY INITIALIZATION METHOD FOR COMMUNICATION CHANNELS OF THE 5G/6G NETWORKS TRANSPORT DOMAIN	140
<i>A.N. Afonin, Kaung Myat Htu, V.I. Fedorov, A.V. Koskin</i> LINEAR ELECTRIC GENERATOR WITH ADJUSTABLE AIR GAP	144
<i>D.I. Berezin, M.A. Bobrov</i> INDIRECT CALCULATION OF THE DIAMETER OF A COIL WITH A TAPE ON PRODUCTION LINES FOR THE IMPOSITION OF INSULATION AND CABLE RESERVATION	148
<i>K.E. Buldakova, P.E. Denisenko, Ali Al-Mufti, Rus.Sh. Misbakhov, O.G. Morozov, G.A. Morozov, A.A. Kuznetsov</i> ANALYSIS OF THREE-FREQUENCY METHOD FOR INITIALIZATION OF WIFI6/7 NETWORKS TRANSPORT DOMAIN COMMUNICATION CHANNELS	152

<i>G.A. Gareeva, N.I. Kiamova, O.Yu. Gerasimova, Z.M. Filatova, A.R. Shakirov</i> OPTIMIZATION OF THE DOCUMENT MANAGEMENT PROCESS IN A MEDICAL INSTITUTION	155
<i>S.I. Kupriyanov, I.A. Radchenko</i> ON AN APPROACH TO BUILDING INTELLIGENT SYSTEMS BASED ON THE MLOPS PARADIGM	158
<i>V.I. Kurir</i> MICRO- AND MINI-HYDROELECTRIC POWER PLANTS BASED ON HYDRO-TURBINE UNITS HYDROMATRIX AND STRAFLOMATRIX	162
<i>V.S. Petrov, M.V. Ovechkin</i> MATHEMATICAL MODELING FOR OBTAINING VALUES OF PARAMETERS OF FLAW DETECTION EQUIPMENT	166
<i>S.V. Romanov, E.A. Basumatorova</i> CALCULATION OF EMERGENCY MODES OF THE SYSTEM POWER SUPPLY OF THE BUSH SITE	169
<i>I.V. Savchuk, E.A. Basumatorova</i> AUTOMATIC MICROCLIMATE OF A POULTRY HOUSE AT A MULTIDISCIPLINARY AGRICULTURAL ENTERPRISE	175

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

<i>I.S. Kuznetsova, D.V. Berezhnoi, D. Ekhsayem, F. Laalai</i> NONLINEAR CALCULATION OF GROUND MASSIVES IN THE ZONE OF CONCRETE STRUCTURAL ELEMENTS USING TRANSFORMING CALCULATION SCHEMES	179
<i>I.S. Kuznetsova, D.V. Berezhnoi, D. Ekhsayem, F. Laalai</i> SIMULATION OF PROCESSES OF CONTACT INTERACTION OF ELEMENTS OF DEFORMABLE STRUCTURES AND CONTINUOUS MEDIA OF DIFFERENT PHYSICAL NATURE	183
<i>I.S. Kuznetsova, D.V. Berezhnoi, A.A. Sachenkov, D. Ekhsayem, F. Laalai</i> NONLINEAR DEFORMATION OF ELEMENTS OF CONCRETE STRUCTURES UNDER COMPENSATORY INJECTION AND TAKING INTO ACCOUNT CRACKING	187
<i>V.D. Petelina</i> QUALITATIVE ANALYSIS OF SOLUTIONS TO A NONLINEAR SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH A SMALL PARAMETER	190
<i>M.R. Tikhonov</i> DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR DATA PROCESSING OF AN EXPERT SYSTEM FOR DETECTING FAILURE PRECURSORS	195
<i>A.O. Shilov, A.R. Morozov, R.V. Kamalov, A.S. Vokhmintsev, I.A. Weinstein</i> ANALYSIS OF ANODIC HfO_2 NANOTUBES' CHARACTERISTICS USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS	198

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

<i>A.A. Dronina, R.S. Zaripova</i> DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR REMOTE MONITORING OF DRIVERS' CONDITION USING MACHINE VISION	203
<i>A.G. Korobeynikov, V.L. Tklich, O.I. Pirozhnikova, A.N. Iuganson</i> DEVELOPMENT OF THEORETICAL METHODS FOR THE PROTECTION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS AND THEIR INTEGRATED SECURITY AS REPRESENTATIVES OF MULTI-AGENT SYSTEMS	207
<i>Nguyen Thi Thu, R. S. Zaripova, Nguyen Phuc Hau</i> THE CONCEPT OF THE QR CODE AND THE DEVELOPMENT OF AN APPLICATION TO SCAN IT	210

2.3.6. — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY

<i>R.I. Yusupova, R.S. Zaripova</i> PROBLEMS OF ENSURING INFORMATION SECURITY OF THE YOUNG GENERATION	214
---	-----

ABSTRACTS	217
-----------	-----

¹В.С. Минкин д-р хим. наук, ¹А.В. Репина,
²Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук, ¹А.А. Иванова

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
¹факультет наноматериалов и нанотехнологий, кафедра физики,
²главный редактор журнала Научно-технический вестник Поволжья

ПРИМЕНЕНИЕ ТИОКОЛОВЫХ ГЕРМЕТИКОВ В ПРОЦЕССЕ НЕФТЕДОБЫЧИ

Экспериментально исследованы физико-механические и другие эксплуатационные свойства промышленных тиоколовых герметиков (жидких тиоколов). Определены оптимальные рецептуры герметиков для нанесения их в качестве ингибиторов парафиноотложения на внутренних поверхностях труб при добычи девонских нефтей Ханты-Мансийского региона.

Ключевые слова: *полисульфидный олигомер, нефтедобыча, тиоколовые герметики.*

Среди полимеров в строительстве широко используются отверждающиеся герметики на основе полисульфидных олигомеров (жидких тиоколов), уретановых и силиконовых олигомеров. Благодаря низкой температуре отверждения, высокой водостойкости, стойкости к УФ-излучению, озону, радиации они используются для герметизации стеклопакетов, межпанельных стыков, различных строительных швов, герметизации кровли, в сантехнике и т.д. [1,2].

В последние годы наметилось особое место в сфере использования герметиков на основе полисульфидных олигомеров (ПСО): использование их в нефтедобывающей промышленности.

Жидкие тиоколы представляют собой по надмолекулярной структуре, составу и характерным свойствам особую группу олигомеров, сочетающих в себе признаки всех трех классов неньютоновских жидкостей (стационарных, со сменяющимся напряжением сдвига во времени и вязкоупругих). Степень влияния каждого из которых обусловлена внешними условиями. Указанные обстоятельства обеспечивают эффективную адгезию данных герметиков к различным материалам в широких интервалах изменения условий добычи и состава нефтей, вследствие чего существенно изменилась структура потребления и вырос объем промышленного производства ПСО [1].

Производство тиоколовых герметиков с улучшенными эксплуатационными характеристиками (за счет изменения вязкости и адгезионных свойств) обеспечивает их использование не только при герметизации труб, но и при покрытии изнутри труб нефтяных скважин для ингибирования процессов парафиноотложений, забивающих трубы в процессе нефтедобычи. Для данных герметиков изучалось влияние основных компонентов: вулканизирующего агента, ускорителей вулканизации, адгезионных добавок на вязкостные и прочностные свойства для выбора оптимального состава в качестве ингибитора процесса парафиноотложения.

Свойства герметиков на основе ПСО в значительной степени зависят от вида и количества применяемых наполнителей, тем более, что их содержание весьма велико от 15 до 70 мас. ч. Кроме значительного влияния на вязкостные свойства, природа и содержание наполнителей влияют на весь комплекс свойств данного класса герметиков.

Свойства герметика сильно зависят от природы и количества вулканизирующего агента. В частности, в герметиках на основе ПСО в качестве вулканизирующего агента широко применяется диоксид марганца (рис.1).

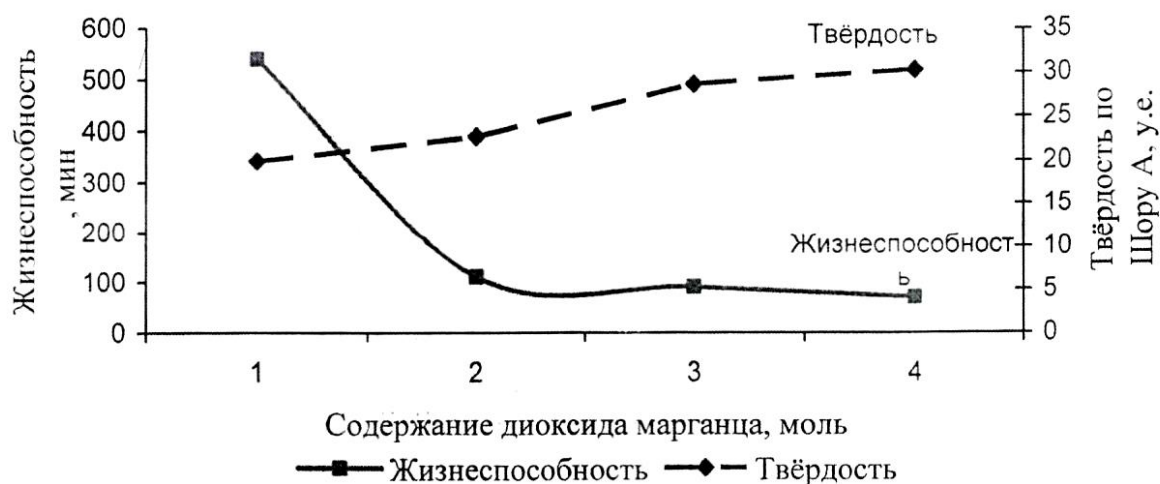


Рис. 1 – Влияние содержания диоксида марганца на жизнеспособность и твердость (содержание гидрофобного мела 20 масс. частей)

Кроме диоксида марганца в промышленности используется водный раствор бихромата натрия ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), а также диоксид свинца. Диоксиды марганца и свинца как в виде порошков, так и в виде промышленных вулканизующих паст [1,2].

В таблице 1 приведены найденные физико-механические показатели ненаполненных вулканизатов различными вулканизующими агентами.

Таблица 1 – Влияние природы вулканизующего агента на физико-механические показатели ненаполненных вулканизатов

Свойства вулканизатов	Вулканизующий агент		
	MnO_2	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	PbO_2
Условное напряжение при удлинении 100%, МПа	-	0,39	0,31
Условное напряжение при разрыве, МПа	0,14	0,71	0,64
Относительное удлинение, %	120	100	260
Остаточное удлинение, %	0	0	0
Соппротивление отслаиванию от дюраля, кН/м	0,65	1,54	0,80
Содержание золя, %	4,6	5,2	6,1

Температура стеклования вулканизатов ПСО обычно смещена в область высоких температур на 10-30 °С по сравнению с T_g олигомеров. В то же время полисульфидные эластомеры сохраняют способность к кристаллизации, а также глобулярную структуру, характерную для гибкоцепных полимеров [2]. Верхняя температура существования вулканизата в равновесном состоянии лежит в интервале 120-150 °С. Полисульфидные герметики хорошо противостоят тепловому старению, особенно при воздействии умеренных температур (не выше 70-80 °С). При этом наблюдаемая прочность при разрыве изменяется очень незначительно, а относительное удлинение монотонно падает. Физико-механические показатели вулканизатов ПСО в водных средах практически остаются постоянными, а адгезионные снижаются незначительно. Полученные вулканизаты достаточно стойки к действию разбавленных минеральных кислот и щелочей при умеренных температурах.

Нами изучена возможность использования тиоколовых герметиков для ингибирования процессов парафиноотложения на девонских нефтях Ханты-Мансийского региона (г. Ухта, Усинск). На первом этапе были отработаны рецептуры герметиков на основе жидкого тиокола НВБ-2 и вулканизующей промышленной пасты №9 на основе диоксида марганца, которые обладали хорошими физико-механическими показателями, пониженной вязкостью (в частности вязкость тиокола НВБ-2 – 9-11 Па·с), временем жизнеспособности и другими характеристиками, обеспечивающими нанесение герметика на внутреннюю поверхность труб нефтяных скважин при отвердевании герметиков на холоде (до -20 °С) [2].

В таблице 2 приведены основные физико-химические параметры исследованных нефтей.

Таблица 2 – Основные физико-химические параметры исследованных нефтей

Показатели	Ленинградская нефть	Сармановская нефть	Нурлат-Октябрьская нефть	
			1-я партия	2-я партия
Плотность ρ^{20^*} , кг/м ³	934,5	909,1	939,7	919,3
Вязкость кинематическая *, мм ² /с (сСт), при: 20 °С	271,2	361,0	294,0	121,0
30 °С	135,6	122,4	99,6	44,4
50 °С	52,4	31,1	64,7	32,9
60 °С	35,1	22,6	42,0	24,3
80 °С	17,4	11,5	30,1	17,5

Поскольку метод оценки жизнеспособности холодного отверждения (ГОСТ 25621-83) является весьма субъективным, для точного определения времени отверждения при нанесении тиоколовых герметиков нами был использован импульсный метод ЯМР [3,4]. Последний позволил оценить скорость отверждения и жизнеспособность герметиков различного состава, оптимальные из которых были предложены для нанесения их в качестве ингибиторов процессов парафиноотложения. В частности, следующий:

ПСО – 100 м.ч., вулканизующий агент – диоксид марганца в виде пасты №9 – 15 м.ч., ускоритель вулканизации – дифенилгуанидин – 0,15 м.ч., серосодержащий битуминозный песчаник – 5-15 м.ч., наполнитель – технический углерод ПМ-15 – 15 м.ч.

Применение разработанных ингибирующих композиций обеспечило при добыче девонских нефтей увеличение срока эксплуатации труб на 20-25%.

Список литературы

1. Минкин В.С. и др. Промышленные полисульфидные олигомеры: синтез, вулканизация и модификация – Казань: Новое знание, 2004. – 174 с.
2. Хакимуллин Ю.Н. Герметики на основе полисульфидных олигомеров: синтез, свойства, применение / Минкин В.С., Палютин Ф.М., Дебердеев Р.Я. – М.: Наука, 2007. – 301 с.
3. Минкин В.С. и др. Авторское свидетельство №1178197 от 08.05.1985. Заявка № 3685976.
4. Иванов Б.Н., Минкин В.С., Семенов Д.Л. Супрамолекулярная структура нефтегазосодержащих систем Волго-Уральской газоносной провинции – Казань: Вестник КГТУ, 2010, №5, с. 37-41.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ — 1.2.2.**

1.2.2.

Е.Б. Булгытов

Бурятский государственный университет,
Институт математики, физики и компьютерных наук,
кафедра системного анализа и компьютерного моделирования,
Улан-Удэ, ebulgytov@yandex.ru

**О КЛАССИФИКАЦИИ МУЛЬТИФУНКЦИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО
ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МАКСИМАЛЬНЫМ МУЛЬТИКЛОНАМ РАНГА 2**

В данной статье рассматриваются мультифункции размерности 3 и их классификация на основе их принадлежности 15 максимальным мультиклонам ранга 2, описанных В. И. Пантелеевым. Анализ мультифункций проведен с применением специально созданной компьютерной программы на языке C++. Получены векторные представления и характеристические векторы всех мультифункций размерности 3. На их основе дана новая нижняя оценка общего количества уникальных характеристических векторов для мультифункций и частичных функций.

Ключевые слова: мультифункции, гиперфункции, частичные функции, мультиклон, суперпозиция.

Введение

В теории функций многозначной логики на данный момент активно исследуются подмножества функций 2^k -значной логики, которые называют мультифункциями. Известно, что в наше время в связи с распространением ЭВМ широкое применение находит булева алгебра. Мультифункции находят применение на практике в областях, схожих с областью применения булевой алгебры: в частности, в логических системах и при моделировании электронных схем с неисправностями, где могут рассматриваться не только 0 и 1, но и такие значения, как $\emptyset$ и $\{0,1\}$.

В своей работе [1] Пантелеев В. И. полностью описал 15 максимальных мультиклонов ранга 2, что дало возможность доказательства критерия полноты системы мультифункций ранга 2. Из-за этого возникает задача классификации всех мультифункций на основе их принадлежности описанным максимальным мультиклонам. Получив решение этой задачи, мы могли бы составить описание всех типов базисов мультифункций.

Задачи классификации мультифункций включает в себя такие подзадачи, как классификация булевых функций, гиперфункций и частичных функций. Также проверяются мультифункции различной размерности: например, 2, 3, 4 и т.д. Основные размерности – это 3 и 4.

В данной работе рассматриваются мультифункции размерности 3 и их классификация на основе их принадлежности 15 максимальным мультиклонам ранга 2. Классификация проводится на основе данных, полученных с помощью специально созданной компьютерной программы на языке C++.

Постановка задачи

Назовем мультифункциями ранга 2 на E функции вида $f:E \rightarrow F$, где $E=\{0,1\}$, $F=\{\emptyset, \{0\}, \{1\}, \{0,1\}\}$.

Для краткости подмножества могут быть обозначены через одиночные символы: $\{0\}$ и $\{1\}$ – через «0» и «1» соответственно, пустое множество $\{\emptyset\}$ – через *, множество $\{0,1\}$ – через « $\rightarrow$ ». Соответственно, для мультифункций множество примет вид: $F=\{*, 0, 1, \rightarrow\}$.

Обозначим множество мультифункций через P_2^* , как подмножество множества P_4 . В нем выделяют дополнительные подмножества:

1) P_2^* – множество частичных функций, то есть тех, которые на основных наборах (из 0 и 1) могут принимать значения «0», «1» и «*»;

2) P_2^- – множество гиперфункций, которые на основных наборах (из 0 и 1) принимают значения «0», «1» и «–»;

3) P_2 – множество булевых функций, которые на наборах из 0 и 1 также принимают значения «0» или «1». Оно является подмножеством множеств частичных, гипер- и мультифункций.

Возьмем m функций размерности n вида $f_i(\tilde{x}), i = \overline{1, m}$. Также возьмем мультифункцию $f(x_1, \dots, x_m)$ размерности m . Тогда суперпозиция $f(f_1(\tilde{x}), \dots, f_m(\tilde{x}))$ будет определять функцию $g(\tilde{x})$. Это определение выглядит следующим образом: если подставить в $g(\tilde{x})$ любой набор значений переменных $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, принадлежащих множеству E^n , то её значение $g(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ от этого набора будет равно:

1) $\emptyset$, если есть хотя бы один $i \in \{1, \dots, m\}$, при котором $f_i(\alpha_1, \dots, \alpha_n) = \emptyset$;

2) $\cup f(\beta_1, \dots, \beta_m) | \beta_i \in f_i(\alpha_1, \dots, \alpha_n), i \in \{1, \dots, m\}$ в противном случае.

Обозначим мультифункции за g . На наборах, которые состоят только из 0 и 1, мультифункция может принимать любое значение из множества $F' = \{*, 0, 1, -\}$. Если выбран набор, в котором имеется хотя бы одна *, то и сама мультифункция будет принимать значение «*». Наконец, на остальных наборах (которые содержат хотя бы одну «–» и не одной «*») значение функции определяется по суперпозиции: если набор $(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ не содержит ни одной *, то значение мультифункции $g(\gamma_1, \dots, \gamma_n) = \max(g(\delta_1, \dots, \delta_n) | \delta_i \leq \gamma_i, \delta_i \in \{0, 1\}, i \in \{1, \dots, n\})$.

Наборы, содержащие хотя бы одну «*», дают значение «*» для всех мультифункций, а значения мультифункций на наборах, содержащих хотя бы одну «–», в итоге определяются через значения на наборах, состоящих только из 0 и 1. Поэтому мультифункции однозначно определяются через значения на наборах, состоящих из 0 и 1.

На их основе можно составить векторное представление мультифункции, в котором перечисляются значения функций для всех наборов из 0 и 1 по натуральному порядку. Если взять мультифункцию размерности 2, которая на наборе (00) дает значение «1», на наборе (01) дает значение «–», а на наборах (10) и (11) дает значение «*», то её векторное представление будет иметь вид: (1–**). Такое представление удобно для компьютерной проверки, так как оно позволяет определять текущую функцию через строку длины 2^n (где n – это размерность функции), состоящую из значений 0, 1, * и – на нужных позициях.

В работе Пантелеева В. И. [1] имеется описание 15 максимальных мультиклонов ранга 2. Как правило, чем выше номер мультиклона, тем выше сложность его описания, которая возрастает в несколько этапов. Например, K_3 – клон тех мультифункций, которые на наборе из всех 0 возвращают 0 или *, а K_4 – клон мультифункций, возвращающих на наборе из всех 1 возвращают 1 или *. Примерно половина клонов определяется на основе заданного предиката, который должны сохранять функции, попадающие в этот клон.

На основе описания этих мультиклонов для каждой мультифункции можно составить характеристический вектор. Это вектор длиной 15, в котором значение под номером i показывает, принадлежит ли рассматриваемая мультифункция i -тому мультиклону из 15; если функция принадлежит ему, то на i -том месте этого вектора стоит 0, иначе – 1.

Возникает вопрос, какие классы эквивалентности с уникальными характеристическими векторами могут существовать для мультифункций и сколько их всего? Очевидно, что максимальное количество уникальных характеристических векторов не превышает $2^{15} = 32768$, однако на практике оно гораздо меньше. Поиск верхней оценки числа уникальных векторов производится через анализ закономерностей и исключение невозможных векторов. С другой стороны, можно легко взять несколько произвольных мультифункций, у которых характеристические векторы отличаются. Например, 2-местная мультифункция (0000) на наборе из всех 0 возвращает 0 и потому принадлежит клону K_3 , а функция (1000) – нет, и поэтому можно сразу сказать, что их характеристические векторы будут разными. Так,

обычно с помощью ЭВМ, проводится поиск нижней оценки числа уникальных векторов – через перебор функций и запоминание найденных векторов.

Полученные результаты

Для перебора мультифункций размерности 3 была составлена программа на языке программирования C++, которая поочередно проходит по мультифункциям заданной размерности (основные – 3 и 4) и в заданном промежутке. Первый (подготовительный) этап работы программы – это выбор мультифункций для проверки и формирование их векторных представлений. Второй (основной) этап – это проверка выбранных функций на принадлежность к выбранным классам из 15, которая производится на основании векторных представлений из первого этапа.

```

Введите размерность функции
3
Введите номера первой и последней функций для проверки
0
65535
Введите номера первого и последнего класса для проверки функций
1
15
Введите 0 для вывода данных в консоль.
Введите 1 для вывода данных в файл 'Multifunctions_All.txt'.
0

```

Номер функции	Векторное представление	Характеристический вектор
1	00000000	010100110010000
2	00000001	000000010011011
3	0000000*	010010011011011
4	0000000-	000101110010010
5	0000001-	000101110111111
6	0000001*	010010011011011
7	00000011	000000010011011
8	00000010	010100111111111
9	000000*0	0101101111111011

Рис. 1 – Пример входных и выходных данных программы

С помощью составленного программного комплекса была проверены все мультифункции размерности 3 на принадлежность к 15 классам. Их количество равно 4^8 , или 65536. Соответственно, были также проверены все булевы, гипер- и частичные функции размерности 3. Для всех проверенных функций были составлены характеристические векторы.

Для булевых функций размерности 3 выявлено 18 уникальных характеристических векторов. Данный результат совпадает с общим количеством уникальных характеристических векторов для всех булевых функций, полученным в работе [3]. Также в работе [4] были представлены примеры булевых функций размерности 3 для всех 18 векторов.

Для гиперфункций размерности 3 выявлено 67 уникальных характеристических векторов. Результат совпадает с общим количеством уникальных векторов для всех гиперфункций, приведенным в работе [5].

Новый результат получен для частичных функций и мультифункций. Установлено, что для мультифункций размерности 3 имеется 292 уникальных характеристических вектора, а для частичных функций – 114.

В таблице 1 представлена часть результатов проверки. В первом столбце записаны отдельные примеры уникальных характеристических векторов мультифункций размерности 3. Во втором столбце записано количество мультифункций размерности 3, к которым относится данный вектор, а в третьем столбце – пример одной такой функции (в виде векторного представления).

С помощью программы, составленной для проверки мультифункций, была также проверена часть из $4^{16} = 4294967296$ мультифункций размерности 4, однако на данный момент новых уникальных характеристических векторов найдено не было. Были проверены первые 256 мультифункций размерности 4 на принадлежность ко всем 15 классам. Также на принадлежность к 9 классам из 15 были проверены 1073741824 функций (четверть всех мультифункций размерности 4), которые на наборе из всех 0 возвращают 0.

Таблица 1 – Примеры характеристических векторов

Характеристический вектор	Количество мультифункций	Пример мультифункции
0000000000000000	4	00001111
000001000011111	7	000--111
000010011111111	264	000010*1
000111111111011	142	000000*-
0010111111110010	94	-111*1*1
010011011101111	175	000-*11*
010111111111011	90	00000*-0
011011011011111	196	-000011*
011011011111011	132	-000**-*
100111011101101	1	*--*--*
1010111111110110	102	1111**-1
101111111111111	2989	100000*-
110110011111111	364	*0000010
111010011111010	15	1111*1**
111100101101101	1	10010110
111110111111111	330	100000*0
111111111111111	2298	10000*-0

Заключение

Таким образом, с помощью программного комплекса были проверены и классифицированы все мультифункции размерности 3, и были получены новые нижние оценки числа уникальных характеристических векторов для частичных функций и мультифункций. Это является важным шагом к полной классификации мультифункций размерности 4 и классификации всех мультифункций в целом, так как на основе этих данных можно найти новые закономерности и установить новую верхнюю оценку числа уникальных характеристических векторов, а также улучшить и ускорить программную проверку мультифункций.

Список литературы

1. Пантелеев В.И. Критерий полноты для недоопределенных частичных булевых функций. Вестник НГУ. Сер. Матем., мех., информ., 9:3 (2009). – С.95-114.
2. Перязев Н.А. Основы теории булевых функций / Н.А. Перязев. – Москва: Физматлит, 1999. – 109 с. – ISBN 5-9221-0005-X.
3. Казимиров А.С., Пантелеев В.И. О классах булевых функций, порожденных максимальными мультиклонами. Вестник Бурятского государственного университета. Сер. Матем. и информ., 9 (2015). – С. 16-22.
4. Шаранхаев И.К., Булгытов Е.Б. О разбиении множества булевых функций по отношению принадлежности максимальным мультиклонам ранга 2 //Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения (DYSC 2022). – 2022. – С. 146-147.
5. Пантелеев В.И., Зинченко А.С. О классах гиперфункций ранга 2, порожденных максимальными мультиклонами. Изв. Иркутск. гос. унив. Сер. Матем., 21 (2017). – С. 61-76.

1.2.2.

Е.В. Десяев, Т.Ф. Мамедова, Д.К. Егорова

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва»,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики,
Саранск, desyaev@rambler.ru, mamedovatf@yandex.ru, egorovadk@mail.ru

ПОКОМПОНЕНТНОЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ В ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

В работе представлены результаты изучения покомпонентного асимптотического интегрирования для нелинейных дифференциальных уравнений. Показано применение этого подхода к решению прикладных задач, а именно – обобщенной модели экономического роста. Представленный подход позволяет анализировать состояние как системы в целом, так и отдельных ее частей.

Ключевые слова: асимптотика, дифференциальные уравнения, математическая модель, экономический рост, асимптотическая эквивалентность.

Классификация дифференциальных уравнений на основе асимптотических свойств решений является методологической основой многих асимптотических методов интегрирования. В негладком анализе такую основу имеют все асимптотические методы. Применение этого подхода к решению практических задач является актуальным. Выбор отношения эквивалентности – главная задача, решение которой на определённом классе уравнений составляет суть конкретного асимптотического метода [1]. Применение метода покомпонентной асимптотической эквивалентности Воскресенского для обобщенной модели экономического роста [2].

Рассмотрим обобщенную модель экономического роста вида:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}K(t) &= A(t)k(t)^\beta h(t)^{1-\beta+\gamma} u(t)^{1-\beta+\gamma} - (\mu_K + n)k(t) - c(t) \\ \frac{d}{dt}h(t) &= \delta(1 - u(t))h(t) - \mu_h h(t) \\ \frac{d}{dt}c(t) &= \frac{c(t)[\beta A(t)k(t)^{\beta-1} h(t)^{1-\beta+\gamma} u(t)^{1-\beta+\gamma} - (\rho + \mu_K)]}{\sigma} \\ \frac{d}{dt}u(t) &= \frac{1}{\beta - \gamma} u(t) \left\{ P + \delta Q[1 - u(t)] - \beta \frac{c(t)}{k(t)} \right\}.\end{aligned}\tag{1}$$

где $A(t)$ – функция, описывающая технологический прогресс, $K(t)$ – физический капитал, β – доля физического капитала, $h(t)$ – уровень человеческого капитала, γ – положительный параметр, μ_K – норма амортизации физического капитала, n – темп изменения численности рабочей силы, $c(t)$ – удельное потребление, δ – положительный технологический параметр, $u(t)$ – доля времени индивида, посвященная производственной деятельности, μ_h – норма амортизации человеческого капитала, σ – постоянная мера относительной несклонности к риску, ρ – дисконтирующий фактор, $P = \alpha + (1 - \beta)(n + \mu_K) + \delta\rho - \mu_h(1 - \beta + \gamma)$ и $Q = (q - p) - (\beta - \gamma)$.

Введем новые переменные:

$$q(t) \equiv \frac{c(t)}{k(t)}, x(t) \equiv \frac{k(t)}{A(t)^{\frac{1}{1-\beta}} h(t)^{\frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta}}} = k(t) A(t)^{\frac{1}{\beta-1}} h(t)^{\frac{1-\beta+\gamma}{\beta-1}}.$$

Вычисляя логарифмическую производную и подставляя темпы роста функций: $k(t), h(t), c(t)$, получим:

$$\frac{1}{x(t)} \frac{dx(t)}{dt} = x(t)^{\beta-1} u(t)^{1-\beta+\gamma} - \psi[1-u(t)] - q(t) - M$$

$$\frac{1}{q(t)} \frac{dq(t)}{dt} = \phi x(t)^{\beta-1} u(t)^{1-\beta+\gamma} - q(t) - \xi,$$

где

$$\psi = -\delta \frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta}, \xi = \frac{\rho}{\sigma} - n - \mu_K \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right), M = \frac{\alpha}{1-\beta} + n + \mu_K - \mu_h \frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta}, \phi = \frac{\beta}{\sigma} - 1.$$

Тогда, система (1) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= x(t)^{\beta} u(t)^{1-\beta+\gamma} + \psi[1-u(t)]x(t) - q(t)x(t) - Mx(t) \\ \frac{dq(t)}{dt} &= \phi x(t)^{\beta-1} u(t)^{1-\beta+\gamma} q(t) - [q(t)]^2 - \xi q(t) \\ \frac{du(t)}{dt} &= \frac{1}{\beta-\gamma} u(t) \{P + \delta Q[1-u(t)] - \beta q(t)\} \\ \frac{dc(t)}{dt} &= \frac{1}{\sigma} c(t) [\beta x(t)^{\beta-1} u(t)^{1-\beta+\gamma} - (\rho + \mu_K)] \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\psi = -\delta \frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta}, \xi = \frac{\rho}{\sigma} - n - \mu_K \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right), M = \frac{\alpha}{1-\beta} + n + \mu_K - \mu_h \frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta},$$

$$\phi = \frac{\beta}{\sigma} - 1, P = \alpha + (1-\beta)(n + \mu_K) + \delta p - \mu_h(1-\beta+\gamma), Q = (q-p) - (\beta-\gamma).$$

Система однородных дифференциальных уравнений, соответствующая выше представленной системе (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= (\psi - M)x(t) \\ \frac{dq(t)}{dt} &= -\xi q(t) \\ \frac{du(t)}{dt} &= \left(\frac{P}{\beta-\gamma} + \frac{\delta Q}{\beta-\gamma} \right) u(t) \\ \frac{dc(t)}{dt} &= -\frac{\rho + \mu_K}{\sigma} c(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Покажем асимптотическую эквивалентность систем (2) и (3). Для этого проверим необходимые условия [2]. Найдем фундаментальную матрицу решений для системы (3) и соответствующую ей обратную:

$Y(t) = \begin{pmatrix} e^{(\psi-M)t} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\xi t} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{\frac{P+\delta Q}{\beta-\gamma}t} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{\frac{-(\rho+\mu_K)}{\sigma}t} \end{pmatrix},$	$Y^{-1}(s) = \begin{pmatrix} e^{-(\psi-M)s} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{\xi s} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\left(\frac{P+\delta Q}{\beta-\gamma}\right)s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{\frac{(\rho+\mu_K)}{\sigma}s} \end{pmatrix}.$
--	--

Теперь, используя элементы фундаментальных матриц, сделаем оценку нелинейной части исходной системы дифференциальных уравнений (2). Для первой оценки имеем:

$$\|f_1(t, \bar{x})\| = \|x(t)^\beta u(t)^{1-\beta+\gamma} - \psi x(t)u(t) - x(t)q(t)\| = \|x(t)[k(t)^{\beta-1} A(t)h(t)^{1-\beta+\gamma} u(t)^{1-\beta+\gamma} - \psi u(t) - \frac{c(t)}{k(t)}]\|.$$

Отметим, что для развитых экономик функция $A(t) \geq 1$ на рассматриваемом промежутке времени. Примем это допущение. Кроме того, $c(t)$ – удельное потребление – положительная величина, $u(t)$ – доля времени индивида, посвященная производственной деятельности – величина, находящаяся в промежутке $[0,1]$. Поэтому, если $\psi \geq 0$ и $1 - \beta + \gamma \geq 0$, то справедливо следующее неравенство: $\|f_1(t, \bar{x})\| \leq \|x(t)k(t)^{\beta-1} h(t)^{1-\beta+\gamma}\|$.

Дальнейшие рассуждения справедливы для таких функций человеческого и физического капитала, которые могут быть представлены в виде показательных функций: ae^{bt} , где $a, b = \text{const}$. Предположим, что $a_1 e^{b_1 t}$ – функция, описывающая физический капитал, $a_2 e^{b_2 t}$ – функция, описывающая человеческий капитал. Имеем:

$$\|f_1(t, \bar{x})\| \leq \|x(t)k(t)^{\beta-1} h(t)^{1-\beta+\gamma}\| = \|x(t)a_1 a_2 e^{(b_1(\beta-1)+b_2(1-\beta+\gamma))t}\|.$$

Для устойчивости модели по переменной $x(t)$ по методу асимптотической эквивалентности Воскресенского необходимо, чтобы выполнялось условие: $b_1(\beta-1) + b_2(1-\beta+\gamma) < 0$. Итак,

$$\|f_1(t, \bar{x})\| \leq \|x(t)a_1 a_2 e^{(b_1(\beta-1)+b_2(1-\beta+\gamma))t}\| = c_1 \|x(t)e^{-c_2 t}\| = c_1 |x(t)| e^{-c_2 t} = \lambda_1(t, |x|),$$

где

$$c_1 = a_1 a_2 = \text{const},$$

$$c_2 = b_1(\beta-1) + b_2(1-\beta+\gamma) = \text{const}.$$

Аналогично, рассмотрим нелинейные части остальных уравнений исходной системы и найдем соответствующие оценки.

Так как

$$\|f_2(t, \bar{x})\| = \|q(t)[\phi k(t)^{\beta-1} A(t)h(t)^{1-\beta+\gamma} - \frac{c(t)}{k(t)}]\| \leq \phi c_1 |q(t)| e^{-c_2 t} = \lambda_2(t, |q|).$$

то для устойчивости системы по переменной $q(t)$ необходимо, чтобы выполнялись условия:

$$1 - \beta + \gamma \geq 0,$$

$$b_1(\beta-1) + b_2(1-\beta+\gamma) < 0.$$

Аналогично, для выполнения оценки $\|f_3(t, \bar{x})\| \leq \lambda_3(t, |x_3|)$, то есть устойчивости системы по переменной $u(t)$ необходимо чтобы выполнялось условие: $\frac{\beta}{\beta-\gamma} \leq 0$. С учетом того, что

$$\|f_4(t, \bar{x})\| \leq \frac{\beta}{\sigma} \|c(t)k(t)^{\beta-1} A(t)h(t)^{1-\beta+\gamma} u(t)^{1-\beta+\gamma}\| \leq \frac{\beta}{\sigma} c_1 |c(t)| e^{-c_2(t)} = \lambda_4(t, |c|),$$

то для устойчивости модели по переменной $c(t)$ необходимо выполнений условий:

$$b_1(\beta-1) + b_2(1-\beta+\gamma) < 0,$$

$$1 - \beta + \gamma \geq 0 \Leftrightarrow \beta \leq 1 + \gamma.$$

Проверим условие сходимости несобственных интегралов:

$$I_1(t) = - \int_t^{+\infty} y_{11}(t) y^{11}(s) f_1(s, \varphi(s)) ds = - \int_0^{+\infty} e^{(\psi-M)t} e^{-(\psi-M)s} c e^{-c_2 s} ds.$$

$$\begin{aligned}
I_2(t) &= - \int_t^{+\infty} y_{22}(t) y^{22}(s) f_2(s, \varphi(s)) ds = - \int_0^{+\infty} e^{-\xi t} e^{\xi s} c e^{-c_2 s} ds, \\
I_3(t) &= - \int_t^{+\infty} y_{33}(t) y^{33}(s) f_3(s, \varphi(s)) ds = - \int_0^{+\infty} e^{\frac{P+\delta Q}{\beta-\gamma} t} e^{-\frac{P+\delta Q}{\beta-\gamma} s} c e^{-c_3 s} ds, \\
I_4(t) &= - \int_t^{+\infty} y_{44}(t) y^{44}(s) f_4(s, \varphi(s)) ds = - \int_0^{+\infty} e^{-\frac{(\rho+\mu_K)}{\sigma} t} e^{\frac{(\rho+\mu_K)}{\sigma} s} c e^{-c_2 s} ds.
\end{aligned}$$

Очевидно, что для сходимости несобственных интегралов необходимо выполнение условий:

$$\begin{aligned}
\psi - M &< 0, (\psi - M + c_2) > 0, \\
\xi &> 0, (\xi - c_2) < 0, \\
\frac{P + \delta Q}{\beta - \gamma} &< 0, \left(\frac{P + \delta Q}{\beta - \gamma} + c_3 \right) > 0, \\
\frac{\rho + \mu_K}{\sigma} &> 0, \left(\frac{\rho + \mu_K}{\sigma} - c_2 \right) < 0.
\end{aligned} \tag{4}$$

Выражения $I_i(t)$ существуют для $i = \overline{1,4}$ и несобственные интегралы сходятся равномерно по t на $[T, +\infty]$ при выполнении условий (9). Кроме того $I_i(t) \rightarrow 0$ при $c \rightarrow 0$ для $i = \overline{1,4}$. Следовательно, все условия для асимптотической эквивалентности систем (2) и (3) выполнены. И поэтому, можно сделать вывод, что из устойчивости всех решений системы (3) следует устойчивость соответствующих решений исходной нелинейной системы (2).

Список литературы

1. Мамедова Т.Ф. Критерий устойчивости решений дифференциальных уравнений по части переменных // Математическое моделирование. – М., РАН. – 1995 – Т.7, – № 5, – С.57-58.
2. Ляпина А.А., Мамедова Т.Ф. Алгоритм исследования моделей нелинейной динамики // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико - математические науки. - Пенза. - 2013. - №3 (27). - С. 48 -57.
3. Кузнецова И.С., Мамедова Т.Ф. Задача об оптимальном экономическом росте // Огарев-online. - Саранск, 2020. - № 16. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/math-physics>

1.2.2.

**О.В. Ильина канд. техн. наук, С.А. Ляшева канд. техн. наук,
В.М. Трегубов канд. техн. наук**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
институт компьютерных технологий и защиты информации,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Казань, salyasheva@kai.ru

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ КООРДИНАТЫ ВЫХОДА ОПТИЧЕСКОГО ЛУЧА В ЛАЗЕРНЫХ ЦЕНТРИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В статье рассматриваются вопросы исследования погрешностей лазерных центрирующих измерительных систем, используемых в самолетостроении. Рассмотрено прохождение лазерного излучения при произвольном угле падения излучения на входную плоскость. Получены зависимость изменения координаты выхода оптического луча от изменения угла входа луча.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, лазерные методы контроля, системы с пространственным сканированием лазерного луча, погрешности лазерных центрирующих измерительных систем, расчет погрешности координаты выхода оптического луча.

Совершенствование технологической подготовки производства, ее автоматизация на базе использования электронно-вычислительной техники, программирования и оборудования с числовым программным управлением требует применения принципиально новых методов и средств контроля изделий с использованием новейших достижений науки и, в первую очередь, в таких областях, как квантовая электроника, когерентная оптика, лазерная техника и др.

Развитие самолетостроения выдвигает все более возрастающие требования к качеству изготовления их узлов и агрегатов, и, следовательно, к методам и средствам контроля их сборки.

Наиболее перспективными являются оптические и лазерные методы контроля [1]. Они обладают рядом преимуществ перед контактными. Эти методы позволяют выполнять контроль на значительных расстояниях с высокой точностью и малой инерцией.

С помощью оптических и лазерных методов можно измерять линейные и угловые величины, управлять установкой агрегатов и узлов в процессе сборки самолетов и получать наиболее объективные результаты контроля.

Большие габариты контролируемых объектов и высокие точностные требования изделий привели к широкому развитию бесконтактных методов контроля. Основными приборами при изготовлении стапельной оснастки самолетов среднего и тяжелого класса стали бесконтактные оптические средства.

Создание оптических квантовых генераторов (лазеров) оказало стимулирующее влияние на разработку новых наиболее точных и производительных методов и средств контроля геометрических параметров изделий машиностроения.

Лазерные методы контроля по сравнению с обычными оптическими имеют существенные преимущества, главными из которых являются: высокая точность, дальность, производительность и объективность.

В качестве лазерных систем точного позиционирования наиболее часто используются лазерные интерферометры, поляризационные устройства, устройства с ячейками Керра, устройства, основанные на фазовом преобразовании сигнала и приборы, использующие сканирование лазерного луча. Указанные устройства сложны в практической реализации.

Для практического применения более пригодны системы с позиционно-чувствительными фотоприемниками и системы с пространственным сканированием лазерного луча [2]. Однако возможности указанных систем изучены недостаточно.

Исследование лазерных методов контроля и их основных погрешностей, связанных с неточностью установки пентапризмы в поворотном узле в системах с пространственным сканированием лазерного луча, является актуальной и практически значимой научно-практической задачей. Это обуславливается тем, что точка пересечения лучей внутри пентапризмы по своей сути является точкой пересечения координат и является точкой отсчета всей измерительной системы в целом. От того насколько точно совмещена точка отсчета измерительной системы с центром пентапризмы зависит погрешность измерения и точность установки агрегатов самолета, параметры которых измеряются.

В процессе монтажа агрегатов самолета с использованием лазерных центрирующих измерительных систем возникает ряд погрешностей, основными из которых являются [3]:

1. Погрешности метода (схемы) монтажа, в которые входят погрешности монтажной схемы (погрешности базирования и привязки лазерной системы к строительным осям стапеля, погрешности установки целевых знаков);

2. Погрешности средств измерения, объединяющие погрешности, связанные с работой лазера (погрешности от шумов активной среды лазера, погрешности позиционно-чувствительных целевых знаков, погрешности расположения светочувствительных площадок относительно базы позиционно-чувствительного целевого знака);

3. Погрешности условий монтажа, которые включают погрешности, вносимые воздушным трактом (ошибки за счет ослабления интенсивности излучения воздушным трактом, погрешности за счет рефракции опорного луча, погрешности от флуктуаций показателя преломления воздушного тракта).

При выборе и оценке методов и средств монтажа сборочных стапелей основным является вопрос определения величины суммарной ожидаемой (расчетной) погрешности монтажа. На величину суммарной погрешности влияет множество факторов, и определить степень их влияния с достаточной достоверностью очень сложно. Структура суммарной расчетной погрешности может отличаться от структуры действительных погрешностей, в связи, с чем целесообразно сопоставить погрешности, полученные расчетным путем, с результатами экспериментальных исследований.

Рассмотрим прохождение лазерного излучения при произвольном угле падения излучения на входную плоскость. Ход лучей внутри пентапризмы для этого случая представлен на рис. 1.

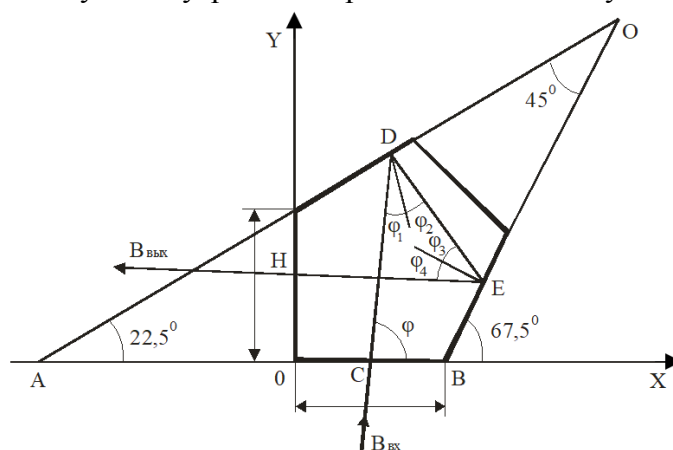


Рис. 1 – Прохождение лучей через пентапризму

Координаты точки Н, представляющей собой точку выхода оптического луча из пентапризмы, определяются следующим образом:

$$x_H = 0; \quad (1)$$

$$y_H = \frac{k_1 - k_2}{k_1 - k_3} (k_1 b + a) - k_1 b, \quad (2)$$

где k_1 – угловой коэффициент прямой ОВ; k_2 – угловой коэффициент прямой ЕН; k_3 – угловой коэффициент прямой, проходящей через точку D под углом φ_2 ; b – координата точки В по оси абсцисс; a – коэффициент смещения прямой, проходящей через точку D под углом φ_2 .

На рис. 2 представлена зависимость координаты $y_H = f(\varphi)$, где φ – угол входа луча. Как видно из представленной зависимости, при отклонении угла φ от 90° изменяется координата выхода оптического луча. Уменьшение угла приводит к увеличению координаты точки выхода, а увеличение угла уменьшает это значение.

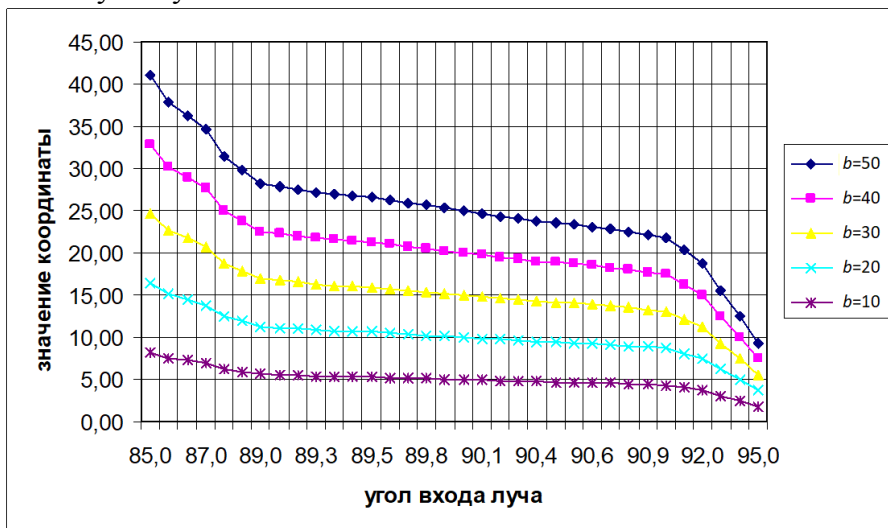


Рис. 2 – Изменение y_H в зависимости от b

Исследование изменения координаты выхода оптического луча y_H в зависимости от изменения угла φ проведено для пяти значений b . Из приведенных на рис. 2 графиков видно, что при отклонении угла φ от 90° в пределах $\pm 1^\circ$, зависимость координаты y_H от угла φ линейна и имеет малую крутизну. При увеличении отклонения угла от указанного диапазона наблюдается резкое увеличение отклонения координаты y_H от среднего значения.

Следовательно, для работы в измерительных системах не следует допускать отклонения угла φ от 90° на величину большую одного градуса. Для пентапризмы с $b=50$ мм при отклонении угла φ от 90° на 1° в любую сторону происходит изменение координаты y_H примерно на 3,2 мм, для $b=30$ мм – примерно на 1,9 мм, для $b=10$ мм – примерно на 0,6 мм. С уменьшением размеров пентапризмы абсолютное отклонение координаты выхода луча уменьшается. Однако при этом следует иметь в виду, что необходимо предъявлять более высокие требования к расходимости луча.

Таким образом, неправильная ориентация входного окна пентапризмы относительно опорного оптического луча приводит к появлению дополнительных погрешностей, связанных с определением координат установки технологического оборудования. Поэтому необходимо принимать меры для точной установки пентапризмы по отношению к опорному лазерному лучу.

Список литературы

1. Вагнер Е.Т., Митрофанов А.А., Барков В.Н. Лазерные и оптические методы контроля в самолетостроении. – М.: Машиностроение, 1977. – 176 с.
2. Ильин Г.И., Ильина О.В. Особенности применения лазерных центрирующих измерительных систем для разметки осей и плоскостей летательных аппаратов. Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 3. С. 71-76.
3. Ильина О.В. Погрешности измерения в лазерных измерительных системах с поворотной пентапризмой при ортогональном падении луча. Нелинейный мир. 2011. Т. 9. № 8. С. 539-544.

1.2.2.

И.И. Ишмиев, С.С. Логинов д-р техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
кафедра электронных и квантовых средств передачи информации,
Казань, ishmiev2000@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛОВ С OFDM

В работе представлены результаты исследования влияния количества окон, итераций, выбора фазовой последовательности, а также от “случайности” информационного сигнала на улучшение дополнительной кумулятивной функции распределения (CCDF) при использовании известного и модифицированного способа снижения пик-фактора методом частичной последовательности передачи (PTS) сигналов с OFDM. Представлены результаты оценок полученного пик-фактора.

Ключевые слова: *PTS, PAPR, OFDM, CCDF, M-последовательность.*

Введение

OFDM – это метод мультиплексирования с частотным разделением (FDM), разработанный Bell Labs Robert W. Chang в 1966 году. Для параллельной передачи данных OFDM использует несколько близко расположенные ортогональные сигналы поднесущих с перекрывающимися спектрами. При модуляции и демодуляции используют алгоритмы быстрого преобразования Фурье.

Основная идея OFDM состоит в том, чтобы разделить канал на несколько ортогональных подканалов, преобразовать высокоскоростной сигнал данных в параллельный низкоскоростной субпоток данных и модулировать его для передачи по каждому подканалу [1].

По сравнению с другими методами модуляции схема OFDM имеет высокую спектральную эффективность. Без необходимости сложной коррекции во временной области сигнал OFDM может быстро адаптироваться к сложным условиям канала передачи, связанным с межсимвольными помехами и замирания, вызванными многолучевым распространением. В то же время OFDM чувствителен к доплеровскому сдвигу и к проблемам с синхронизацией частот. Высокое отношение пиковой мощности (PAPR) требует линейной схемы передатчика, которая не эффективна с точки зрения потребляемой мощности. Необходимость использования циклического префикса/защитного интервала вызывает потерю потенциальной скорости передачи.

Метод PTS снижения PAPR сигналов с OFDM

Исследуемый метод Partial transmit sequences (PTS) основан на фазовом сдвиге подблоков данных и умножении структуры данных на случайные фазы, структурная схема представления представлена на рисунке 1. Этот метод является гибким и эффективным для систем связи с OFDM. Основная идея этого метода заключается в том, что поток входных данных разделить на непересекающиеся подблоки, и каждый подблок сдвинуть по фазе на постоянный коэффициент. Фазовые коэффициенты выбираются таким образом, чтобы минимизировать PAPR комбинированного сигнала. Также в приемнике выполняется обратная операция для восстановления исходного блока данных [2-3].

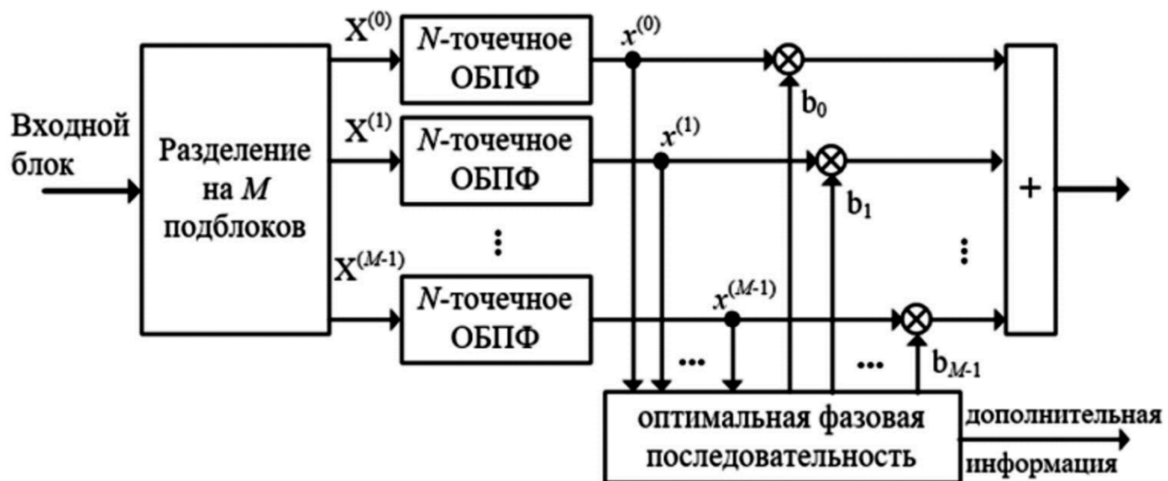


Рис. 1 – Блок-схема метода PTS

Модифицированный метод PTS

Преследуя цель усовершенствования метода PTS, в данной работе предлагается выбор окон в методе осуществлять с использованием m -последовательностей. Рассмотрим результаты моделирования модифицированного метода PTS. На рисунке 2 показаны результаты моделирования CCDF обычного и модифицированного методов при различном количестве окон.

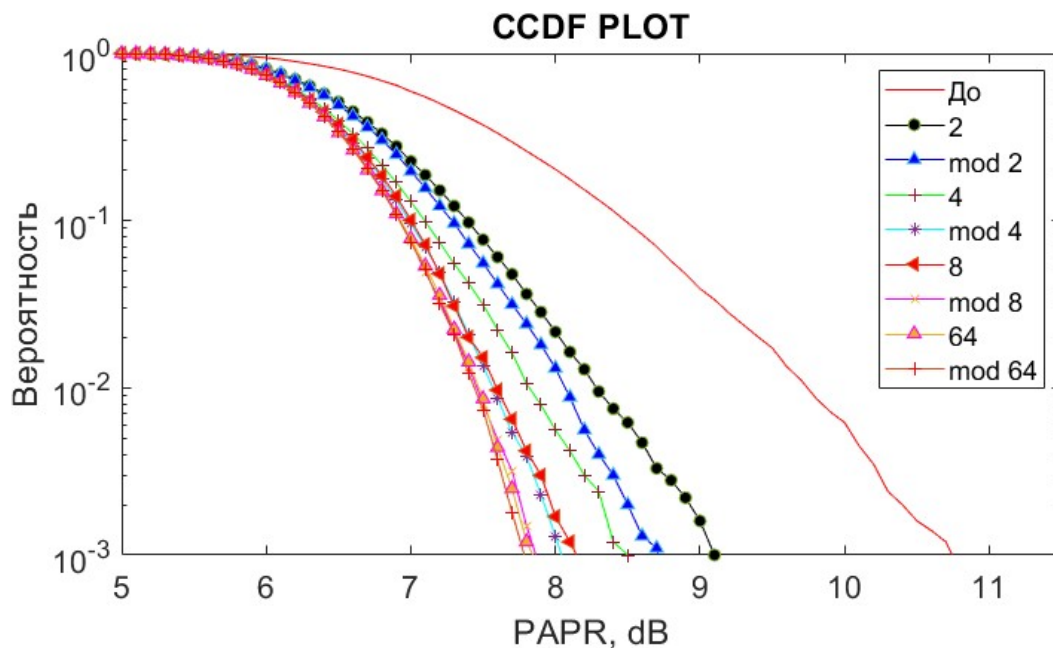


Рис. 2 – CCDF при различном количестве окон

При количестве окон, равном 2, наблюдалось снижение PAPR на 1,6 дБ при использовании обычного метода и снижение на 2 дБ при использовании модифицированного метода. При количестве окон равном 4, снижение простого метода составило 2,3 дБ, а модифицированного 2,7 дБ. Разница между модифицированным и обычным методом составила примерно 0,4 дБ.

На рисунке 3 показаны результаты моделирования CCDF при различном количестве итераций. При 2 итерациях снижение PAPR обычного метода составило 1,8 дБ, а модифицированного 2,2 дБ. При использовании 30 итераций, снижение PAPR обычного метода составило 3,9 дБ, а модифицированного 4,2 дБ.

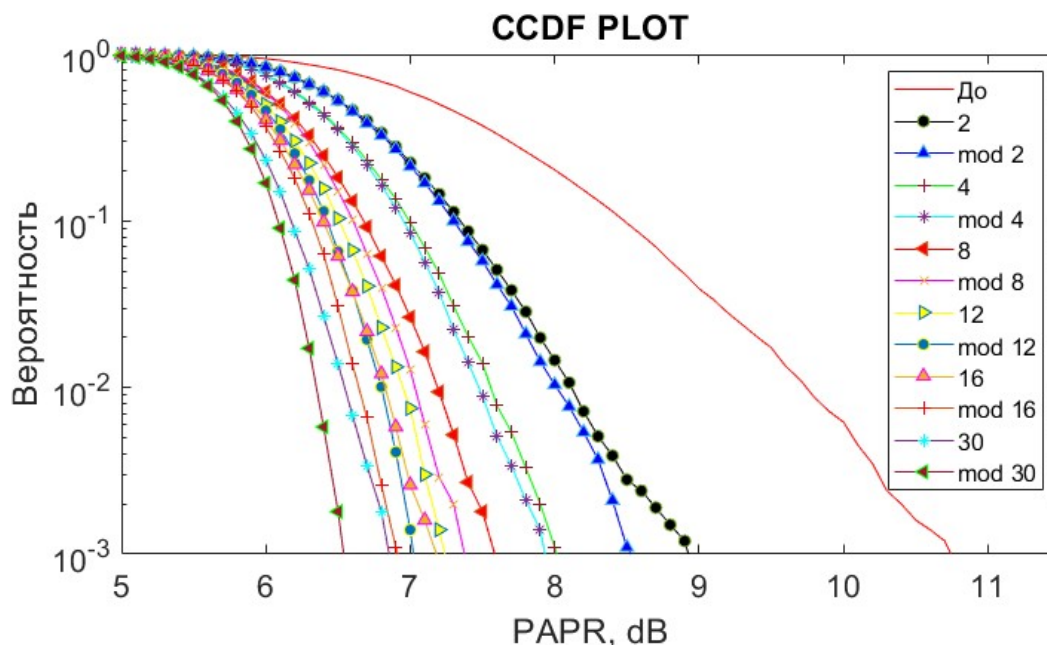


Рис. 3 – CCDF при различном количестве итераций

Особенный эффект применения модифицированного метода получается при неслучайном информационном сигнале, результаты моделирования представлены на рисунке 4.

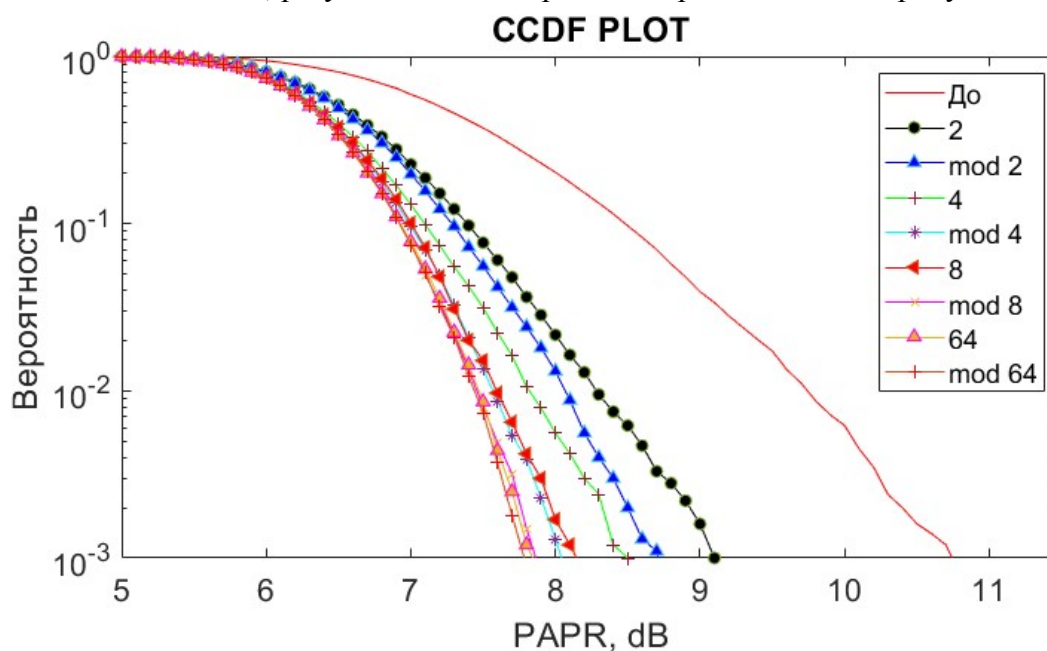


Рис. 4 – CCDF при различной периодичности повторения информационного сигнала

При периодичности повторения равном 2, снижение PAPR обычного сигнала составляет 2.7 дБ, а модифицированного 4.5 дБ. При периодичности повторения равном 8, снижение PAPR обычного метода составило 2.9 дБ, а при использовании модифицированного составило 8.3 дБ. Что показывает особую эффективность модифицированного метода.

Выводы

В работе представлен модифицированный метод PTS для снижения PAPR, а также реализовано компьютерное моделирование известного из литературы и модифицированного методов PTS. На основе результатов, полученных в процессе компьютерного моделирования, можно сделать следующие выводы:

1. При различном количестве окон модифицированный метод снижения PAPR дает выигрыш на 0.4 дБ по сравнению с известным из литературы.
2. При вариации количества итераций модифицированный метод дает выигрыш в снижении пик-фактора по сравнению с известным на 0.3-0.4 дБ.

3. При различной периодичности повторения информационного сигнала модифицированный метод показал особую эффективность. Снижение PAPR превышало на 1.8-5.4 dB по сравнению с известным методом PTS.

4. Изменение шага выборки фазы и типа модуляции не оказывают существенного влияния на снижение PAPR.

Результаты моделирования работы модифицированного метода PTS уменьшения PAPR позволяют сделать вывод о принципиальной возможности использования модифицированного метода снижения PAPR, поскольку он демонстрирует улучшение снижения PAPR.

Список литературы

1. Что такое OFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением)? Каковы преимущества и недостатки? В чем разница между OFDM и OFDMA? [Электронный ресурс]. URL: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/594306925>.
2. Чан Ван Нгуа Оптимизация способа частичной последовательности передачи для снижения пик-фактора сигналов с OFDM модуляцией и его реализация на ПЛИС, Цифровая обработка сигналов. - 2017. - №4. - С. 57-62.
3. Ишмиев, И.И., Логинов С.С. Снижение пик-фактора сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2022: материалы IX Молодежной международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Казань: ИП Сагиева А.Р., 2022. – С. 98-99.
4. Loginov S.S., Butkevich Y.R. and Sivintseva O.A. Lorentz System Based Pseudo-Random Sequences in PAPR Reduction and Information Security Enhancement of the OFDM Communication, 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744384.
5. Lee K.S., Cho Y.J., Woo J.Y., No J.S. and Shin D.J., "Low-complexity PTS schemes using OFDM signal rotation and pre-exclusion of phase rotating vectors," IET Communications, vol. 10, no. 5, (2016), pp. 540-547.
6. Joo H.S., Kim K.H., No J.S. and Shin D.J., "New PTS Schemes for PAPR Reduction of OFDM Signals Without Side Information," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. PP, no.99, (2017), pp.1-9.
7. Fayzullin R.R., Lerner I.M., Odintsov V.L., Il'in V.I. and Garifullina G.A., "Peculiarities of Instantaneous Frequency and Envelope of CFSKn-n-Signal in the Channel with Memory," 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russia, 2021, pp. 1-8, doi: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416014.
8. Lerner I.M., Zaripov R.F., Fayzullin R.R., Fatykhov M.M. and Il'in V.I., "New Teaching Approach on Matlab Programming for Radio Engineering Students," 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744318.

1.2.2.

Н.А. Котков, И.В. Плохов, К.Г. Эрастова, А. М. Валиуллин

Передовая инженерная школа гибридных технологий
в станкостроении Союзного государства,
отделение электроэнергетики, электропривода и систем автоматизации,
Псков, 4ce@goodgame.ru

ДИАГНОСТИКА УЗЛОВ СКОЛЬЗЯЩЕГО ТОКОСЪЁМА ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОКЛАССИФИКАТОРА

Исследована возможность диагностики щёточно-контактного аппарата синхронных электрических машин при помощи искусственных нейронных сетей, определены гиперпараметры нейроклассификатора макета узла скользящего токосъёма турбогенератора.

Ключевые слова: *узел скользящего токосъёма, щёточно-контактный аппарат, электрические машины, машинное обучение, глубоко обучение, диагностика, классификатор, нейроклассификатор, искусственная нейронная сеть.*

Методы глубокого обучения являются частью машинного обучения и на их основе производится синтез нейроклассификаторов и других искусственных нейронных сетей (ИНС) разной сложности. По сравнению с классификаторами, основанными на методах машинного обучения, нейроклассификаторы обладают рядом преимуществ и недостатков. Одним из основных достоинств нейронных сетей является возможность работы с нелинейными данными, в то время как не все методы машинного обучения способны их классифицировать [1-3].

Результирующая нейроклассификационная модель состоит из нескольких ИНС, каждая из которых отвечает за диагностику отдельно взятой щётки макета УСТ ТГ. В рамках данной статьи рассмотрено обучение только одного нейроклассификатора, диагностирующего состояние второй рабочей щётки, поскольку выбор гиперпараметров остальных нейронных сетей аналогичен.

Для решения задачи диагностики и прогнозирования технического состояния макета узла скользящего токосъёма турбогенератора (УСТ ТГ) [4] воспользуемся частью признаков, которые представлены в статьях [5] и [6]. Среди них: средние значения переменных составляющих переходного падения напряжения и тока щётки №2 $U_{2varavg}$, $I_{2varavg}$, средние амплитуды гармоник разложенных в ряд Фурье сигналов переходного падения напряжения и тока щёток №2 и №7 в частотной области от 0 до 50 КГц $I_{2ampavg}$, $U_{2ampavg}$, $U_{7ampavg}$, постоянные составляющие сигналов переходного падения напряжения и тока на щётке №2 U_{2const} , I_{2const} , средние коэффициенты пульсаций тока и напряжения щёток №2 и №7 $K_{I2pulse}$, $K_{U2pulse}$, $K_{U7pulse}$, средний ток аппарата $AVGCurrent$ и коэффициент токораспределения KI . Рабочие щётки №2 и №7 являются соседними и располагаются на катодном и анодном контактных кольцах макета УСТ ТГ соответственно.

Уменьшить переобучение, а также увеличить скорость обучения ИНС, можно при помощи метода исключения (dropout). Его суть заключается в исключении из i -ой итерации процесса обучения нейронов скрытого слоя с некоторой вероятностью p . При этом в $i + 1$ итерации обучения исключается такое же количество нейронов, но уже других. Если скрытый слой содержит 100 нейронов, то применяя метод dropout с параметром $p = 0.1$ в каждой итерации обучения ИНС будет отбрасываться 10 случайных нейронов этого скрытого слоя.

В качестве функции потерь, которую ИНС будет минимизировать при каждой итерации обучения путём изменения весовых коэффициентов, была выбрана категориальная перекрёстная энтропия, а в качестве алгоритма её уменьшения – адаптивный оптимизатор момента Adam.

Количество выходных нейронов выберем равное количеству классов, на которые ИНС будет разделять данные. Результирующий нейроклассификатор должен на основе данных с датчиков диагностировать одно из трёх состояний макета УСТ ТГ: «0» – стабильное состояние, «1» – слабое искрение, «2» – сильное искрение под большей поверхностью щётки. Количество входных нейронов выберем равное 12, поскольку входные вектора массива обучающей выборки содержат 12 признаков. Количество скрытых слоёв выберем равное двум. Чем больше скрытых слоёв, тем лучше нейроклассификатор справляется с нелинейностью в данных, однако повышается вероятность переобучения классификатора. Первый скрытый слой содержит 9 нейронов с ReLU функцией активации, доля исключённых нейронов составляет 20%. Второй скрытый слой содержит 6 нейрона с ReLU функцией активации, доля исключённых нейронов составляет 10%. Функции активации нейронов выходного слоя – сигмоидальные, нейроны смещения на старте обучения имеют нулевое значение [7]. Описанная нейронная сеть продемонстрирована на рисунках 1 и 2.

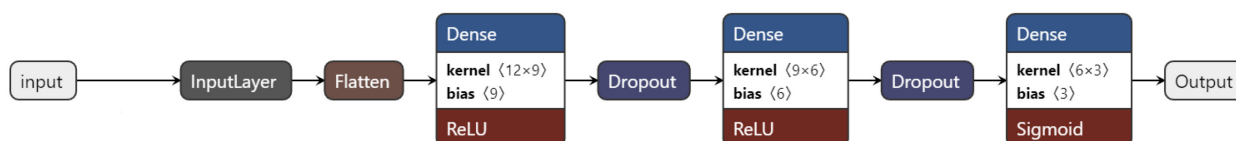


Рис. 1 – Структура нейросетевого классификатора, предназначенного для классификации сокращённых входных векторов

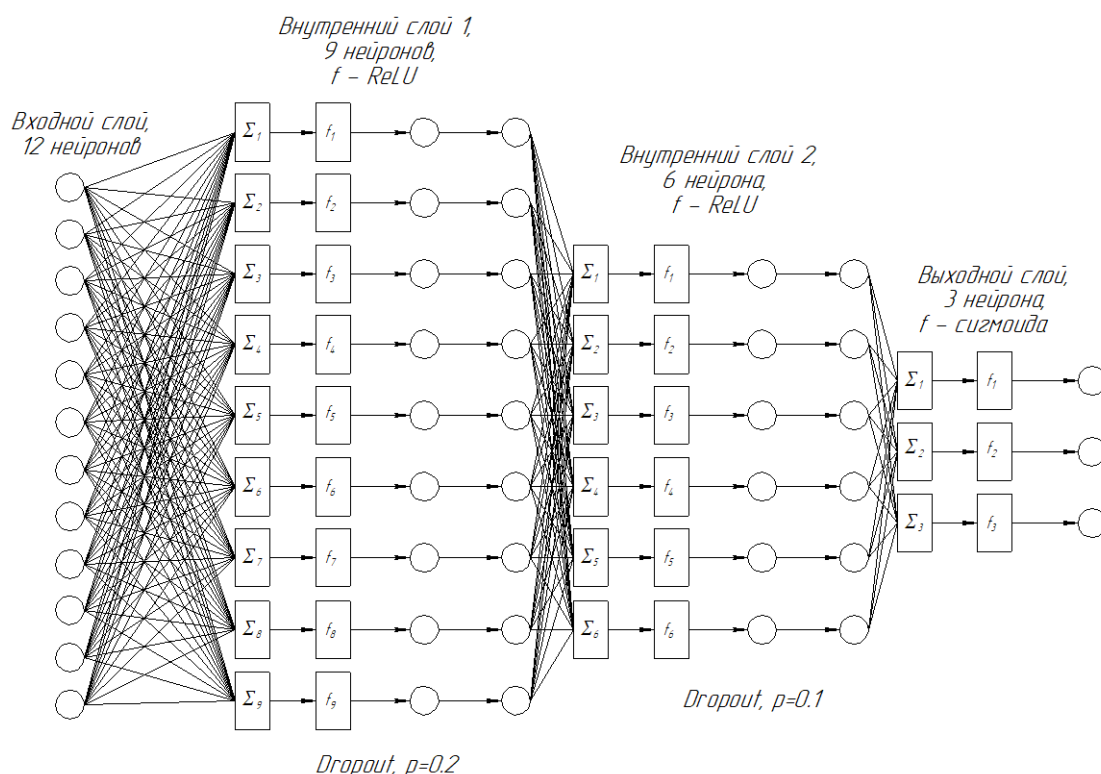


Рис. 2 – Схема нейросетевого классификатора, предназначенного для классификации сокращённых входных векторов

Обучение нейроклассификаторов происходит после стандартизации данных. Результат обучения продемонстрирован на рисунке 3. В процессе итерационного обучения происходит улучшение качества классификации нейронной сети.

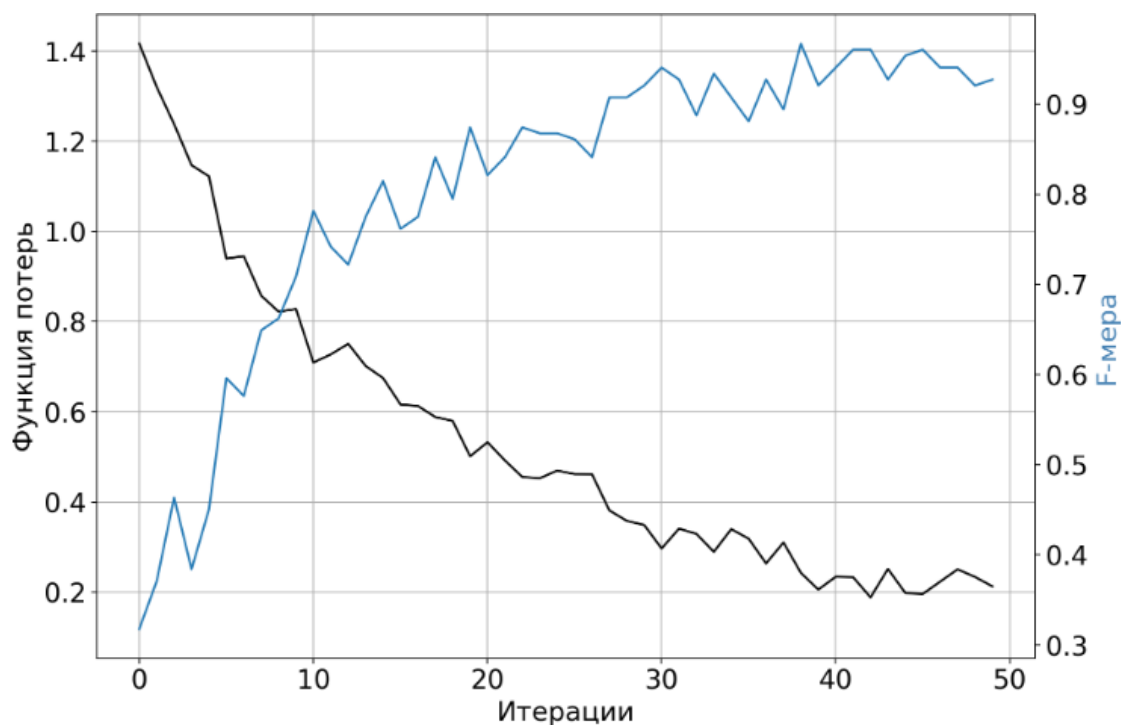


Рис. 3 – Динамика изменения F-меры и функции потерь нейроклассификатора второй щётки в процессе обучения

Проверка качества классификации полученной модели должна быть произведена на тестовой выборке. Нейроклассификатор второй рабочей щётки позволил добиться качества классификации с точностью $a_2 = 97\%$, и F-мерой $F_2 = 98\%$, ошибившись лишь в одном наблюдении из 32 и классифицировав состояние слабого искрения второй рабочей щётки как стабильное.

Таблица 1 – Матрица ошибок нейроклассификатора второй рабочей щётки

Щётка 2				
Реальное состояние	Диагностированное состояние			
	Класс	0	1	2
	0	17	0	0
	1	1	11	0
	2	0	0	3

Заключение.

В методах машинного обучения алгоритмы не структурируются в несколько слоёв, что делает их более интерпретируемыми. В случае с диагностикой электрических машин, использование методов машинного обучения, как правило, позволяют понять, какой фактор сыграл решающую роль в определении технического состояния объекта, в то время как методы глубокого обучения, использующие несколько уровней ИНС, не позволяют понять, как вели себя узлы сети, чтобы прийти к имеющемуся результату.

Тем не менее, разработанная нейронная сеть способна с хорошей точностью диагностировать техническое состояние макета УСТ ТГ. В случае, если массив обучающей выборки будет содержать нелинейные данные, то классификаторы, представляющие из себя совокупность нейронных сетей, являются наиболее прагматичным и удачным решением, чем классификаторы, обученные при помощи методов машинного обучения.

Список литературы

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. М. : Машиностроение, 1978. 240с.
2. Клячкин В.Н., Крашенинников В.Р., Кувайскова Ю.Е. Прогнозирование и диагностика стабильности функционирования технических объектов. М. : Русайнс, 2020. 200 с.
3. Северцев Н.А., Бецов А.В., Дарьина А.Н. Методы и модели создания автоматизированных средств контроля для повышения безопасности функционирования технических систем // Надёжность и качество сложных систем. 2019. №2. С. 19-26.
4. Плохов И.В., Андрусич А.В., Ильин А.В., Исаков А.Н., Бандурин И.И., Козырева О.И. Стенд для исследования узла скользящего токосъёма турбогенератора. Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономические и технические науки. 2012. №1. С. 211-215.
5. Котков Н.А., Плохов И.В., Федорченко С.А., Интегральные показатели качества токораспределения и коэффициенты пульсаций сигналов как характеристики технического состояния узла скользящего токосъёма турбогенератора. Научно-технический вестник Поволжья. 2021. №1. С. 89-93.
6. Котков Н.А., Искусственная нейронная сеть как технология диагностики технического состояния узлов скользящего токосъёма турбогенераторов. Научно-технический вестник Поволжья. 2019. №10. С. 42-47.
7. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. М.: «Диалектика». 2018. 688 с.

1.2.2.

Е.В. Львова, П.А. Шаронов, М.А. Шаронов

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

**ОПТИМАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

В статье предложена методика оценивания параметров гармоник тока и напряжения в промышленных сетях, основанная на методе максимального правдоподобия и учитывающая возможные отклонения частоты основной гармоники от 50 Гц. Методика сводится к решению линейной системы уравнений относительно неизвестных параметров с учетом квадратичных ограничений, налагаемых на них. С помощью компьютерного имитационного моделирования проведено исследование эффективности предлагаемого метода путем сравнения его с известной одноканальной методикой для случая, когда в сигнале присутствуют гармоники тока и напряжения. Модельные эксперименты показали высокую эффективность предложенного алгоритма с точки зрения точности и скорости вычисления оценок неизвестных параметров.

Ключевые слова: *Гармоники тока и напряжения, оценка, метод максимального правдоподобия, амплитуда, частота, фаза, реактивная мощность.*

Введение

Как известно, большинство современных электрических нагрузок в силовых сетях являются нелинейными или нестационарными (их параметры изменяются во времени). Это связано с широким распространением среди промышленных, коммерческих и бытовых потребителей электроэнергии оборудования силовой электроники: управляемых выпрямителей, приводов с регулируемой скоростью вращения, дуговых и индукционных печей, понижающих преобразователей частоты и т.п. Такие нелинейные нагрузки зачастую создают множество помех для своего предприятия и для оборудования других потребителей [1].

Причиной большинства проблем является «утекание» реактивной энергии, порождаемой несинусоидальными токами и напряжениями [1]. Поэтому проблема измерения активной и реактивной энергии, когда в силовых сетях возникают негармонические сигналы, становится очень важной. В литературе можно найти различные предложения по этому вопросу [2,3]. Стандарт института инженеров электриков и электронщиков (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*, IEEE, США) определяет понятия измерения электрической мощности [4] и способы проведения измерений различными методами, при гармонических или негармонических сигналах, сбалансированных или несбалансированных условиях основных электрических величин, относящихся к мощности, таких как кажущаяся, активная, реактивная мощности и коэффициент мощности. Стандарт помог выявить ситуации, когда неверное применение методов измерения мощности ведет к ошибочным результатам измерения.

Другой подход предложен в циркуляре Международной электротехнической комиссии (МЭК) [5], изданном для характеристики точности активных статических измерителей. В нем гармонический сигнал взят за опорный, а некоторое ухудшение качества электроэнергии рассматривается как влияние мешающих факторов, которые уменьшают точность измерителей. К сожалению стандарт МЭК предлагает учитывать для характеристики точности статических измерителей реактивных параметров только гармонические токи и напряжения, содержащие одну основную частоту без гармоник [6]. Никаких рекомендаций не дается относительно того, что надо измерять в случае присутствия гармонических искажений.

Следуя этому, серийно выпускаемые измерители, построенные в соответствии со стандартом МЭК, проектируются для измерения гармонических сигналов, а при проверке, когда измеряются негармонические сигналы, они не могут улучшить невысокую точность, которую позволяет стандарт в этих условиях. Более того, до сих пор нет ясного руководства, какой алгоритм следует использовать при цифровых измерениях. [7].

Все сказанное показывает, что проблема верификации измерителей электрической энергии с метрологической точки зрения до сих пор не решена, но, в то же самое время, это крайне сложная задача. В работе предлагается методика оценивания параметров гармоник сигналов тока и напряжения, основанная на методе максимального правдоподобия, точность которой сравнивается с наиболее точным из известных алгоритмов [8] с помощью имитационного моделирования в среде MATLAB.

1. Теоретические основы

В однофазных силовых сетях их состояние во времени t описывается с помощью негармонических мгновенных значений питающего напряжения и тока:

$$v(t) = \sqrt{2} \sum_{k=1}^K V_k \sin[2\pi k(f_0 - \mu)t - \theta_k], \quad (1)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \sum_{k=1}^K I_k \sin[2\pi k(f_0 - \mu)t - \psi_k], \quad (2)$$

где k — номер гармоники синусоидального сигнала частоты f_0 , μ — некоторое неизвестное отклонение от частоты основной гармоники исходного сигнала; V_k и I_k — амплитуды гармоник напряжения и тока; θ_k и ψ_k — начальные фазы гармоник напряжения и тока.

Активную мощность P , связанную с передачей электроэнергии в силовой сети, можно определить следующим образом: $P = \frac{1}{nT} \int_{\tau}^{\tau+nT} v(t)i(t)dt$, где: $T = 1/f_0$ — период основной частоты, на которой передается электроэнергия, n — любое целое число.

Тогда реактивная мощность может быть задана выражением [9]:

$$Q = \sum_{k=1}^K V_k I_k \sin \varphi_k, \quad \varphi_k = \theta_k - \psi_k.$$

Определение реактивной мощности, включенное в стандарт IEEE на измерение мощности [4], следующее:

$$Q_I = \frac{2\pi f_0}{nT} \int_{\tau}^{\tau+nT} i(t) \left[\int_{\tau}^{\tau+nT} v(t) dt \right] dt. \quad (3)$$

Для негармонических напряжения (1) и тока (2) выражение (3) можно преобразовать к:

$$Q_I = \sum_{k=1}^K \frac{V_k I_k \sin \varphi_k}{k}.$$

Последнее выражение означает, что с точки зрения стандарта IEEE реактивная мощность представляет собой сумму реактивных мощностей на отдельных гармониках из (1) и (2), взятых с весовыми коэффициентами, равными обратными величинам порядков гармоник. Но для оценивания активной и реактивной мощностей по любой из существующих методик необходимо знать с максимальной точностью параметры гармоник V_k , I_k , μ , ψ_k , θ_k из выражений (1) и (2).

2. Методика оценивания

В литературе предлагаются альтернативные подходы к оцениванию параметров гармоник, основанные на цифровой обработке оцифрованных сигналов напряжения и тока [10–17], например, с применением фильтра Калмана. Однако, при оценивании желательно не использовать никакой априорной информации, кроме имеющихся выборок измерений сигналов. Поэтому авторы предлагают проводить оценивание параметров гармоник сигналов по методу максимального правдоподобия, который в случае нормальных законов

распределения погрешностей измерений сводится к методу наименьших квадратов (МНК) [18]. К тому же оценки максимального правдоподобия обладают тремя важными свойствами: состоятельностью, асимптотической несмещенностью и эффективностью, что делает этот метод оптимальным для широкого круга задач, включая и сформулированную выше.

При известном значении промышленная частота сети $f_0 = 50$ Гц, нахождение реактивной мощности можно свести к задаче оценивания параметров $V_k, I_k, \mu, \psi_k, \theta_k$ по дискретным отсчетам мгновенных значений тока и напряжения в сети. Тогда каждый дискретный отсчет значения напряжения (здесь и далее приводятся рассуждения только для напряжения, для гармоник тока рассуждения будут аналогичными) может быть представлен в виде:

$$v_i = \sqrt{2} \sum_{k=1}^K V_k \sin[2\pi k(f_0 - \mu)t_i - \theta_k] + \delta_i, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где t_i — моменты взятия отсчетов напряжения; δ_i — погрешности измерения напряжения, которые предполагаются распределенными нормально с неизвестными дисперсиями; N — число измерений напряжения в выборке. Предполагается, что $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ — постоянная величина (равномерная дискретизация по времени).

В работах [19, 20] показано, что при выполнении условия $\mu\Delta t \ll 1$ и после следующей замены переменных:

$$\begin{aligned} q_{k1} &= V_k \cos \theta_k, & w_{ik1} &= \sin(k2\pi f_0 t_i), \\ q_{k2} &= V_k \sin \theta_k, & w_{ik2} &= \cos(k2\pi f_0 t_i), \\ q_{k3} &= V_k \mu \cos \theta_k, & w_{ik3} &= k t_i \cos(k2\pi f_0 t_i), \\ q_{k4} &= V_k \mu \sin \theta_k, & w_{ik4} &= -k t_i \sin(k2\pi f_0 t_i), \quad (k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{1, N}) \end{aligned} \quad (5)$$

уравнения (4) приводятся к линейному виду относительно новых переменных q_{kj} :

$$v_i = \sqrt{2} \sum_{k=1}^K (q_{k1} w_{ik1} + q_{k2} w_{ik2} + q_{k3} w_{ik3} + q_{k4} w_{ik4}) + \delta_i, \quad (i = \overline{1, N}), \quad N \geq 4K + 1 \quad (6)$$

с системой квадратичных ограничений:

$$q_{1k} q_{4k} - q_{2k} q_{3k} = 0, \quad k = \overline{1, K} \quad (7)$$

В работах [21–24] показано, что решение задачи оценивания (6), (7) по МНК можно искать в следующем итерационном виде:

$$\hat{\mathbf{Q}}^{(m+1)} = \hat{\mathbf{Q}}^{(m)} - \frac{\hat{\mathbf{Q}}^{(m)T} \mathbf{H} \hat{\mathbf{Q}}^{(m)}}{\hat{\mathbf{Q}}^{(m)T} \mathbf{H} (\mathbf{W}^T \mathbf{W})^{-1} \mathbf{H}^T \hat{\mathbf{Q}}^{(m)}} (\mathbf{W}^T \mathbf{W})^{-1} \mathbf{H} \hat{\mathbf{Q}}^{(m)}, \quad (8)$$

где $\hat{\mathbf{Q}} = (\hat{q}_{11}, \hat{q}_{12}, \hat{q}_{13}, \hat{q}_{14}, \dots, \hat{q}_{K1}, \hat{q}_{K2}, \hat{q}_{K3}, \hat{q}_{K4})^T$ — вектор оценок неизвестных параметров $\mathbf{Q}$; m — номер итерации; T и $^{-1}$ — операторы транспонирования и обращения матрицы соответственно; $\mathbf{H}$ — матрица размерности $K \times K$, задающая ограничения (7) [24]; $\mathbf{W}$ — матрица плана эксперимента:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{111} & w_{121} & \text{L} & w_{1K4} \\ w_{211} & w_{221} & \text{L} & w_{2K4} \\ \text{M} & \text{M} & & \text{M} \\ w_{N11} & w_{N21} & \text{L} & w_{NK4} \end{bmatrix},$$

а нулевое приближение задается по МНК:

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{W}^T \mathbf{W})^{-1} (\mathbf{W}^T \mathbf{V}), \quad (9)$$

$\mathbf{V} = (v_1, v_2, \dots, v_N)$ — вектор измеренных значений напряжения.

Зная оценку вектора $\hat{\mathbf{Q}}$ из (6)–(9), с помощью (5) находятся оценки искомых параметров,

а именно:

$$\hat{V}_k = \sqrt{\hat{q}_{k1}^2 + \hat{q}_{k2}^2}, \quad \hat{\mu} = \sqrt{(\hat{q}_{k3}^2 + \hat{q}_{k4}^2)/(\hat{q}_{k1}^2 + \hat{q}_{k2}^2)}, \quad (10)$$

$$\hat{\theta}_k = \begin{cases} \Theta_k, & \text{при } \hat{q}_{k3} \geq 0, \hat{q}_{k4} \geq 0 \\ \Theta_k + \pi, & \text{при } \hat{q}_{k3} < 0 \\ \Theta_k + 2\pi, & \text{при } \hat{q}_{k3} \geq 0, \hat{q}_{k4} < 0 \end{cases}, \quad \text{где } \Theta_k = \arctg\left(\frac{\hat{q}_{k4}}{\hat{q}_{k3}}\right)$$

Аналогичным образом могут быть вычислены параметры гармоник тока.

Количество неизвестных в системе (6) равно $4K+1$, где K — суммарное количество учитываемых гармоник. Поэтому при оценивании параметров нескольких десятков гармоник, количество решаемых уравнений будет большим, что может привести к большим погрешностям вычислений оценок из выражений (8), (9). В работе [22] предложен эмпирический алгоритм предварительного определения только значимых гармоник тока и напряжения, что позволяет значительно сократить число уравнений в системе (6) и снизить возможные погрешности вычислений.

Таким образом, при использовании описанного метода, основанного на МНК, с предварительным расчетом значимых гармоник можно с достаточной точностью определить параметры гармоник тока и напряжения и рассчитать паразитные реактивную мощность в промышленных сетях.

2.5 Результаты имитационного моделирования с учетом гармоник сигналов тока и напряжения

Оценка эффективности предложенного метода для оценки параметров гармоник проводилась с помощью моделирования в среде MATLAB, где он был реализован. Проведено несколько тестов методом имитационного компьютерного моделирования. К сожалению, авторам из анализа литературы не удалось найти другие реализованные двухканальные алгоритмы совместной оценки основной частоты и гармоник напряжения и тока, поэтому точность оценки сравнивалась с аналогичным одноканальным алгоритмом, описанным в [8].

Конечная цель модельного эксперимента — определение среднеквадратических отклонений (СКО) погрешностей оценок амплитуд и фаз. Поэтому для каждого набора тестируемых параметров было проведено 100000 имитационных экспериментов, которые заключались в оценке параметров гармоник обоими методами (предложенным выше и описанным в работе [8]) для различных реализаций аддитивного нормального шума, задаваемого генератором случайных чисел, с нулевым средним и заданными дисперсиями. Дисперсии задавались, исходя из требуемого отношения сигнал/шум (ОСШ). После этого были рассчитаны соответствующие СКО ошибок оценок. В каждом эксперименте начальные фазы гармоник ψ_k , θ_k выбирались равномерно распределенными на интервале $-\pi$ и π . Основная частота сигнала $f_0 = 50$ Гц, девиация частоты μ задавалась равномерно распределенной в диапазоне от $-0,5$ до $0,5$ Гц. «Истинные» амплитуды сигнала основной частоты, как и прежде, — $I_1 = 5$ А и $V_1 = 220$ В, а ОСШ $S/N = 40$ дБ. Амплитуды гармоник выбирались в диапазоне от $0,01$ до $0,2$ от основной амплитуды. Эти амплитуды и фазы считаются истинными значениями. В каждом отдельном эксперименте количество отсчетов сигнала в каналах составляло $N = 2000$. Важно отметить, что во всех модельных экспериментах в измеренных сигналах тока и напряжения присутствовало не более 17 значимых гармоник, а некоторые из гармоник тока и напряжения специально выбирались различными. Далее вычислялись значения векторов сигналов v_i и i_i с использованием выражений (4), к которым добавлялись случайные ошибки δ_i . После этого все величины I_k , V_k , μ , ψ_k , θ_k считались неизвестными. Их оценки находились по методике из работы [8] и по методике, предлагаемой авторами (с предварительным определением значимых гармоник тока и напряжения с помощью алгоритма из [22]). На основании результатов проведенных модельных экспериментов вычислялись СКО оценок.

Анализ точности оценки амплитуд гармоник тока и напряжения дал следующие результаты. На рис. 1 представлены СКО оценок амплитуд для обоих алгоритмов в процентах от самих значений амплитуд гармоник. Сравнивая оба алгоритма, можно увидеть, что результаты предлагаемой методики оценивания в 1,5 раза превосходят по точности известный алгоритм аппроксимации мультигармоник [8].

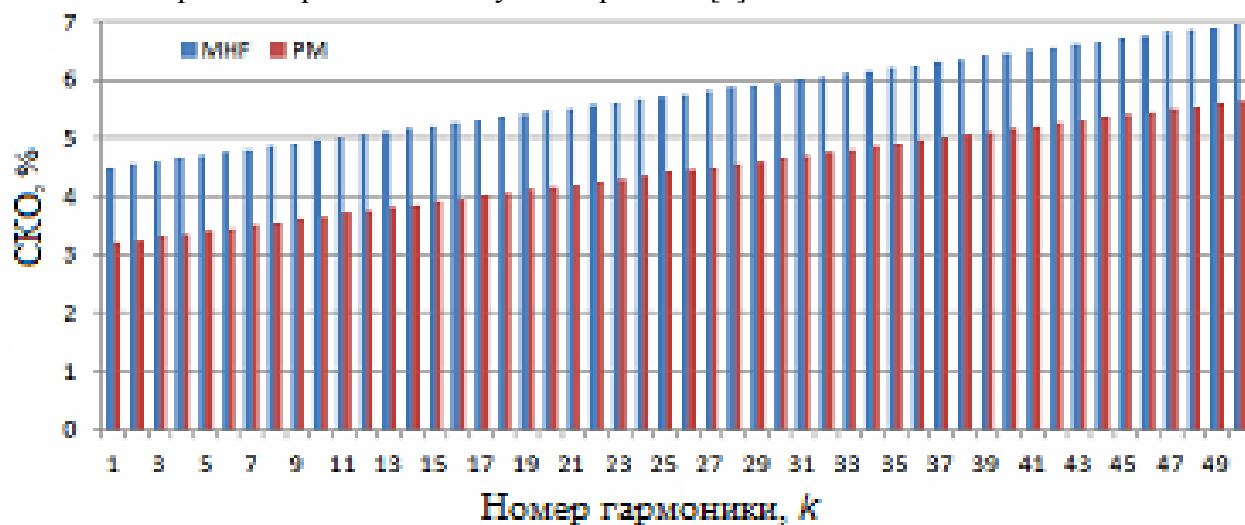


Рис. 1 – СКО оценки амплитуды гармоник в процентах от истинного значения амплитуды:

MHF — алгоритм аппроксимации мультигармоник из [8]; PM — предлагаемый метод

Анализ точности оценки начальных фаз гармоник двумя исследованными алгоритмами показан на рис. 2, на котором отображены соответствующие результаты для СКО начальных фаз гармоник в процентах от максимально возможной фазы π . Здесь преимущество от использования предлагаемого метода еще более заметно. Это можно объяснить тем, что предложенный алгоритм (6)–(9) оценивает частоту основной гармоники $f = f_0 + \mu$, используя сигналы выборок и тока, и напряжения.

Сравнение точности измерения основной частоты f этими алгоритмами не проводилось из-за отсутствия данных о точности измерения в работе [8].

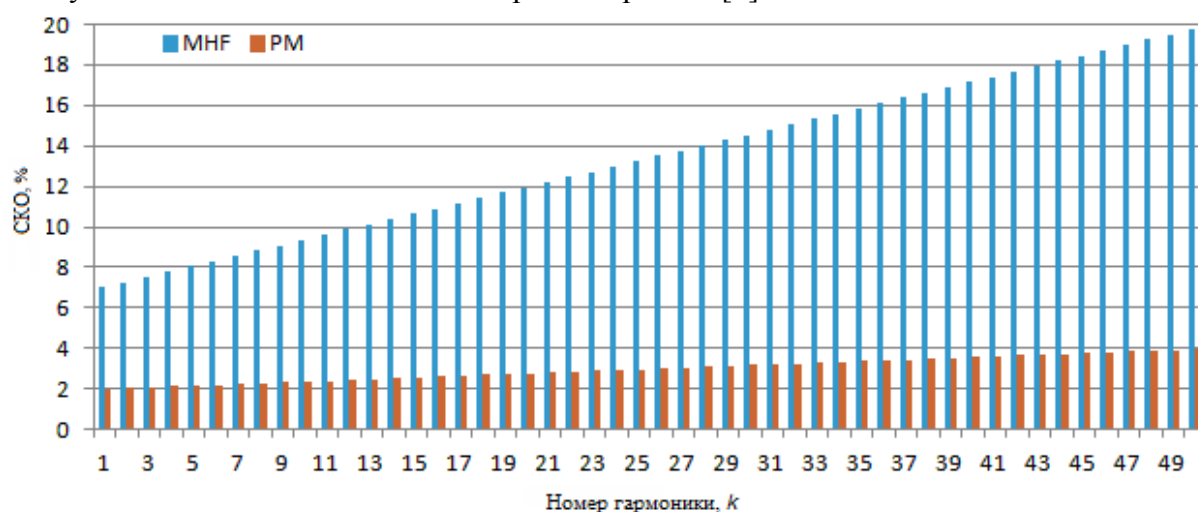


Рис. 2 – СКО оценки начальных фаз гармоник в % от максимального значения фазы π : MHF — алгоритм аппроксимации мультигармоник из [8]; PM — для предлагаемого метода

Скорость вычисления оценок гармоник сигналов тока и напряжения предложенным методом (в сочетании с алгоритмом поиска значимых гармоник) была примерно в 1,5 раза выше, чем у метода из работы [8]. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что предложенный метод оценки весьма перспективен, хотя и имеет некоторые ограничения относительно возможного количества существенных гармоник, которые могут быть учтены.

Заключение

В работе предложен новый двухканальный метод измерения параметров гармоник тока и напряжения, учитывающий возможные колебания основной частоты и основанный на обработке исследуемых измеренных выборок тока и напряжения методом максимального правдоподобия. Метод сводится к решению линейной системы уравнений относительно неизвестных параметров с учетом квадратичных ограничений, налагаемых на них.

С помощью компьютерного имитационного моделирования проведено исследование эффективности предлагаемого метода путем сравнения его с известной одноканальной методикой для случая, когда в сигнале присутствуют гармоники тока и напряжения. Модельные эксперименты показали высокую эффективность предложенного алгоритма с точки зрения точности и скорости вычисления оценок неизвестных параметров.

Данная методика может применяться в энергетике с целью определения значений реактивной мощности сигнала, содержащего несколько гармоник, в том числе и с целью обеспечения правильного учета потребляемой электроэнергии.

Список литературы

1. A New Methodological Approach to Quality Assurance of Energy Meters Under Non-Sinusoidal Conditions / D. Gallo, C. Landi, N. Pasquino, N. Polese // Proc. of the IEEE Instrum. & Meas. Technology Conf., Sorrento, Italy: IEEE, 2006. P. 1626–1631.
2. Emanuel A.E. Powers in Non-Sinusoidal Situations – A Review of Definitions and Physical Meaning / A.E. Emanuel // IEEE Trans. on Power Delivery, 1990. Vol. 5. No 3. P.1387–1389.
3. Filipski P.S. Discussion of Power Definitions Contained in the IEEE Dictionary / P.S. Filipski, Y. Baghzouz, M.D. Cox // IEEE Trans. on Power Delivery, 1994. Vol. 9. No 3. P.1237–1244.
4. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Non-sinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions, IEEE 1459, 2000.
5. IEC EN 62053-21 – Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements Part 21: Static meters for active energy (classes 1 and 2), 2003-11.
6. IEC EN 62053-23 - Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements Part 23: Static meters for reactive energy (classes 2 and 3), 2003-11.
7. Львов А.А. Неоднозначность методов измерения реактивной мощности в промышленных сетях переменного тока / А.А. Львов, И.И. Артюхов, М.А. Соломин // Проблемы управления, обработки и передачи информации: сб. тр. IV Междунар. науч. конф.: в 2 т. Саратов: Издательский дом «Райт-Экспо», 2015. Т. 2. С. 164-172.
8. Simulation and Experimental Results of Multiharmonic Least-Squares Fitting Algorithms Applied to Periodic Signals / P.M. Ramos, M.F. da Silva, R.C. Martins, A.C. Serra // IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 2006. Vol. 55. Iss. 2. P. 646–651.
9. Budeanu C.I. Reactive and Fictitious Powers / C.I. Budeanu // Romanian National Institute, Bucharest, Pub. No. 2, 1927.
10. Tichavsky P. Comparative study of four adaptive frequency trackers / P. Tichavsky, A. Nehorai // IEEE Trans. on Signal Processing, 1997. Vol. 45, No. 6. P. 1473–1484.
11. Проблема измерения реактивной мощности несинусоидальных сигналов в системах электроснабжения / О.М. Балабан, Е.В. Львова, А.А. Серанова, Ю.Б. Томашевский // Надежность и качество: сб. тр. XXII Междунар. симп.: в 2 т. – Пенза: ПГУ, 2017. Т. 2. С. 128–132.
12. Исследования измерителей мощности в режиме несинусоидальных сигналов / О.М. Балабан, Е.В. Львова, А.А. Серанова, Ю.Б. Томашевский // Надежность и качество: сб. тр. XXII Междунар. симп.: в 2 т. – Пенза: ПГУ, 2017. Т. 2. С. 124-128.
13. Ardeleanu A.S. Real Time PC Implementation of Power Quality Monitoring System Based on Multiharmonic Least-Squares Fitting / A.S. Ardeleanu, P.M. Ramos // Metrology & Measurement Systems, 2011. Vol. 18. No. 4. P. 543–554.

14. An Extended Complex Kalman Filter for Frequency Measurement of Distorted Signals / P.K. Dash, R.K. Jena, G. Panda, A. Routray // IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 2000. Vol. 49, No. 4. P. 746–753.
15. Ramos P.M. A New Sine-Fitting Algorithm for Accurate Amplitude and Phase Measurements in Two, Channel Acquisition Systems / P.M. Ramos, A.C. Serra // Measurement, 2008. Vol. 41. No. 2. P. 135–143.
16. Ramos P.M. Comparison of Impedance Measurements in a DSP Using Ellipse-Fit and Seven-Parameter Sine-Fit Algorithms / P.M. Ramos, F.M. Janeiro, T. Radil // Measurement, 2009. Vol. 42. No. 9. P. 1370–1379.
17. Долинина О.Н. Сравнительный анализ двухканальных алгоритмов оценки параметров синусоидальных сигналов в системах управления качеством электроэнергии / О.Н. Долинина, Е.В. Львова, А.А. Серанова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018. Вып. 5. С. 46-59.
18. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – М.: ГИФМЛ, 1958. 336 с.
19. Оценивание параметров квазигармонических сигналов методом максимального правдоподобия / А.А. Львов, В.П. Глазков, В.П. Краснобельмов и др. // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2014. Т. 4. № 1 (77). С. 147-154.
20. Казаков К.В. Алгоритм двухканального оценивания параметров квазигармонических сигналов / К.В. Казаков, А.А. Львов, В.А. Пыльский // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2009. Т. 4. № 2(43). С. 38-41.
21. Репин В.Г. Статистический синтез в условиях априорной неопределенности и адаптация информационных систем // В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. М.: Сов. радио, 1977. 242 с.
22. Estimating Algorithm for Harmonics of Current and Voltage Signals When Measuring Reactive Power in Industrial Power Networks / O. Dolinina, O. Toropova, E. L'vova, N. Vagarina // Information and Communication Technologies for Research and Industry. – Springer Nature Switzerland, 2020. Vol. 337. P. 250–271.
23. L'vov A. Improvement of Piezoresistive Pressure Sensor Accuracy by Means of Current Loop Circuit Using Optimal Digital Signal Processing / A. L'vov, P. L'vov, R. Konovalov // Proc. 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conf. –St. Petersburg, Russia: IEEE, 2016. P. 279–282.
24. L'vov A.A. Radar-Based Wireless Sensor Network for Distributed Measurement Systems / A.A. L'vov, D.V. Klenov, S.A. Kuzin, et al. // Proc. 2018 Int. Conf. on Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – Minsk, Belarus, 2018. – P. 1-6. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8457040/

1.2.2.

¹Е.А. Петрова, ²Т.К. Филимонова, ²Г.А. Овсенко, ³Э.Ш. Кремлева¹ООО «Элина-Компьютер»,²Казанский государственный энергетический университет,³Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева-КАИ,

Казань, galinka.ovsenko@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТА

В данной работе рассматривается математическое моделирование транспортного маршрута- процесса создания математических моделей, которые описывают и предсказывают поведение транспортных потоков, таких как движение общественного транспорта, на основе различных факторов, таких как дорожные сети, дорожные условия, потоки транспортных средств. Математическое моделирование также способствует планированию инфраструктуры и разработке улучшенных стратегий управления транспортом.

Ключевые слова: модель, маршрут, пассажиропоток, движение автобуса, пассажиронапряженность.

Моделирование транспортных потоков позволяет исследовать и оптимизировать различные аспекты транспортной системы, такие как пропускная способность дорог, эффективность движения, временные задержки и так далее. Математическое моделирование транспортных потоков является важной областью исследования, так как допускает предсказывать и оптимизировать различные аспекты транспортной системы. С развитием инфраструктуры и увеличением числа транспортных средств на дорогах, эффективное управление транспортными потоками становится все более важным для обеспечения безопасности и комфорта пассажиров[1].

Цель данной работы заключается в разработке точной и эффективной модели, которая может быть использована для оптимизации управления транспортными потоками и принятия обоснованных решений в планировании транспортной инфраструктуры. Основными характеристиками, определяющими работу общественного транспорта, является количество эксплуатируемых транспортных единиц, интервалов между поступлением маршрута на остановку, а также объем пассажиропотока[2].

В работе описаны основные показатели характеристика маршрута с учетом пассажиропотока.

1. Часовой пассажиропоток на маршруте – $Q_{\text{ч}}$, пассажиров/час.

$$Q_{\text{ч}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{stop}}} Q_{\text{вош}i} = \sum_{i=1}^{N_{\text{stop}}} Q_{\text{выш}i}$$

где i – номер остановки на маршруте, N_{stop} – количество остановок на маршруте, $Q_{\text{вош}i}$, $Q_{\text{выш}i}$ – количество вошедших и вышедших на i -ой остановке пассажиров соответственно.

2. Часовой пассажирооборот маршрута – $P_{\text{ч}}$, пассажиров – км/час.

$$P_{\text{ч}} = \sum_{j=1}^{N_{\text{stop}}} P_j$$

где $P_j = Q_j * L_j$ – пассажирооборот на j -ом участке маршрута, Q_j – пассажиронапряженность на j -ом участке маршрута, L_j – протяженность j -ого участка маршрута.

3. Коэффициент неравномерности пассажиропотоков по участкам маршрута – $K_{\text{неравн}}$.

$$K_{\text{неравн}} = \frac{Q_j^{\max}}{Q_j^{\text{cp}}}$$

где $Q_j^{\max}$ – максимальная пассажиронапряженность на маршруте, Q_j^{cp} – среднее значение пассажиронапряжения на маршруте[3].

Расчет необходимого количества транспортного средства на маршруте учитывает время ожидания наибольшего спроса, на участке, соответствующему максимальному пассажиропотоку и рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{bus}} = \frac{Q_{\text{ч_max}} * T_{\text{оборот}}}{q}$$

где $Q_{\text{ч_max}}$ – максимальный часовой пассажиропоток на наиболее наполненном участке, $T_{\text{оборот}}$ – время обратного рейса, q – количество мест в автобусе.

Сформулируем следующую задачу и решим её в общем виде: необходимо определить интервал движения автобусов. Были использованы следующие обозначения переменных и установлен диапазон значений. В таблице 1 приведена характеристика обозначений.

Таблица 1 – Обозначения переменных математической модели

Обозначение	Наименование	Диапазон значений	Единица измерений
j	Количество автобусных маршрутов	1 – 6	Ед.
X_j	Среднее количество перевезенных пассажиров на j -ом маршруте	0 – 15 000	Чел.
$\lambda_{j \max}$	Суммарный пассажиропоток на наиболее загруженном участке j -го маршрута	0 – 15 000	Чел.
i	Количество автобусов на j -ом маршруте	0 – 20	Ед.
p	Количество временных промежутков	1 – 4	Ед.
M_{jp}	Количество автобусов необходимых для j -го маршрута p -го промежутка времени	1 – 20	Ед.
T_{jp}	Интервал движения автобусов на j -ом маршруте p -го промежутка времени	00:00 – 22:00	Часы:Мин
$t_{\text{exit}j}$	Время выхода первого автобуса на 1-ый рейс j -го маршрута	05:00 – 07:00	Часы:Мин
$t_{\text{trip}j}$	Время рейса на j -ом маршруте	30 – 180	Мин.
t_{jpi}	Время выхода на 1-ый рейс i -ого автобуса j -го маршрута p -промежутка времени	00:00 – 22:00	Часы:Мин
L_j	Длина рейса j -го маршрута	8 – 20	Км.
v_{jpi}	Скорость движения i -ого автобуса j -го маршрута p -промежутка времени	const.	Км/час
q_{ji}	Количество мест в i -ом автобусе j -го маршрута	Const.	Ед.

Ограничения:

1. Интервал движения автобусов на маршруте:

$$T_{jp} > 0, \text{ когда } j = 1, 2, \dots, 6; \quad p = 1, 2, \dots, 4$$

2. Время выхода автобусов на маршрут:

$$t_{jpi} > 0, \text{ когда } j = 1, 2, \dots, 6; \quad p = 1, 2, \dots, 4; \quad i = 1, 2, \dots, 20$$

3. Средний объем перевезенных пассажиров на j -ом маршруте не может быть меньше нуля. При этом, в целях обеспечения оптимально удобных маршрутов, средний объем перевозок должен стремиться к максимуму:

$$\begin{cases} X_j > 0 \\ X_j \rightarrow \max, \end{cases} \text{ при } j = 1, 2, \dots, 6$$

4. Расчет необходимого количества автобусов j -го маршрута p -го промежутка времени:

$$M_{jp} = \frac{\lambda_{jmax} * L_j}{q_{ji} * v_{jpi}}, \text{ где } j = 1, 2, \dots, 6; \quad p = 1, 2, \dots, 4; \quad i = 1, 2, \dots, 20$$

5. Расчет интервала движения автобусов j -го маршрута p -го промежутка времени:

$$T_{jp} = \frac{L_j}{M_{jp} * v_{jpi}} = \frac{t_{trip j}}{M_{jp}}, \text{ где } j = 1, 2, \dots, 6; \quad p = 1, 2, \dots, 4; \quad i = 1, 2, \dots, 20$$

6. Вычисление времени выхода i -автобуса на j -ый маршрут p -го промежутка времени:

$$t_{jpi} = t_{jp(i-1)} + T_{jp}, \text{ где } j = 1, 2, \dots, 6; \quad p = 1, 2, \dots, 4; \quad i = 1, 2, \dots, 20$$

Согласно выше приведенных формул итоговая математическая модель для решения задачи определения интервалов движения автобусов выглядит так:

$$\begin{cases} X_j > 0 \\ X_j \rightarrow \max \end{cases}, \quad M_{jp} = \frac{\lambda_{jmax} * L_j}{q_{ji} * v_{jpi}}, \quad T_{jp} = \frac{L_j}{M_{jp} * v_{jpi}} = \frac{t_{trip j}}{M_{jp}}, \quad t_{jpi} = t_{jp(i-1)} + T_{jp},$$

где $j = 1, 2, \dots, 6; \quad p = 1, 2, \dots, 4; \quad i = 1, 2, \dots, 20$.

Разработанная математическая модель успешно применена на практике для маршрута автобуса №54 г. Казани. Программное обеспечение по оптимизации маршрута движения общественного транспорта был использован пакет GPSS (GeneralPurposeSimulationSystem – система моделирования общего назначения)[4]. На рис. 1 приведены результаты отображает количество ожидающих пассажиров на остановках в виде столбчатой диаграммы.

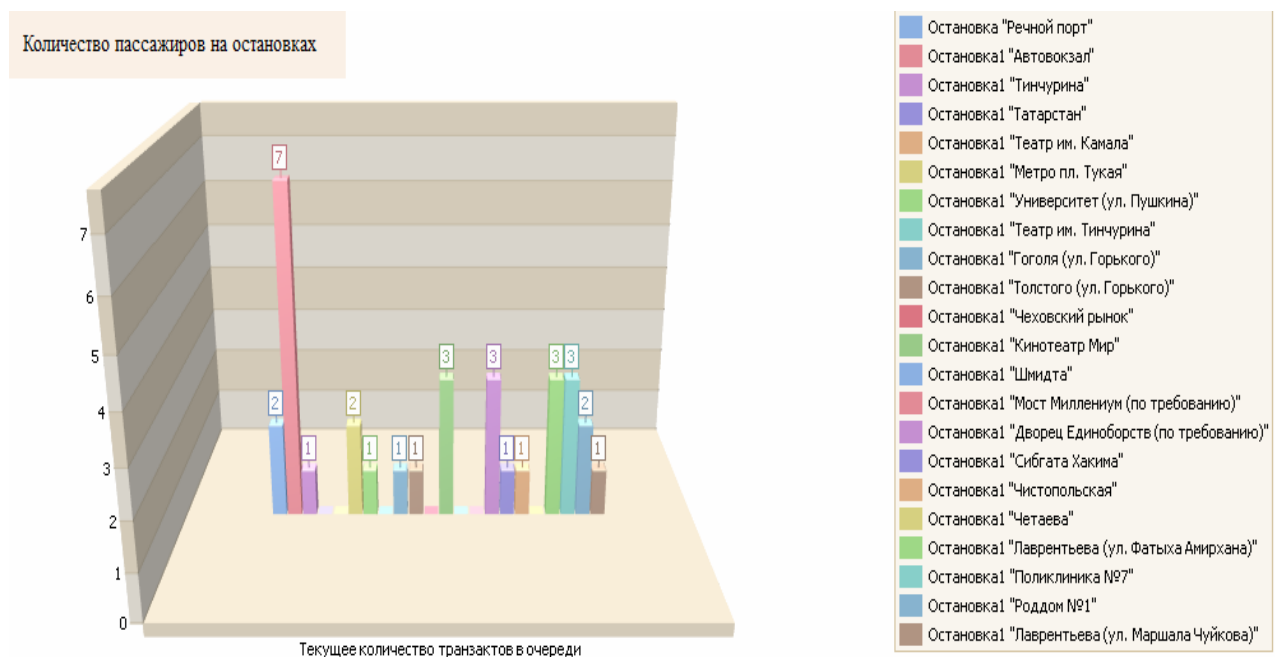


Рис. 1 – Динамика количества пассажиров на остановках в направлении Речной порт – Гаврилова (ул. Чуйкова) г. Казани

Актуальность данной работы состоит в потребности реализации программно-математического обеспечения, позволяющего производить анализ работы системы общественного транспорта с изменением входных параметров, факторов моделирования, целевых показателей, а также выбора метода произведения имитационных экспериментов[5,6], в том числе, оптимизационных.

Список литературы

1. Хебель К. Источники и факторы, предопределяющие величину спроса на городские транспортные услуги (на примере городов Польши) // Вестник РГУ им. И. Канта. Экономические и юридические науки. 2008. №3. С. 89-96.
2. Shakirzyanov M., Gibadullin R., & Nuriyev M. Prerequisites for the system of automatic comparison of video and audio tracks by speaker's articulation. In E3S Wed of Conferences. 2023. (Vol. 419, p. 02029). EDP Sciences.
3. Петрова Е.А., Филимонова Т.К. Имитационное моделирование при планировании сетей общественного транспорта // Международная молодежная конференция «Гинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный сборник статей по материалам конференции: [в 3 томах]– Казань: КГЭУ, 2022. – Т. 3. С. 117-120.
4. Петрова Е.А., Филимонова Т.К., Овсеенко Г.А. Разработка системы оптимизации маршрута движения общественного транспорта // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies. 2023. Том. 13. №2-2. С. 63-69.
5. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. 2003. № 11. С. 3–46.
6. Заринова Р.С., Рочева О.А., Гарипова Г.Р. Оптимизация дорожного движения с использованием имитационного моделирования / InternationalJournalofAdvancedStudies. 2022. Т.12. №3-2. С. 40-45.

1.2.2.

**И.З. Самерханов, Е.А. Печеный канд. техн. наук,
Н.К. Нуриев д-р педагог. наук, канд. техн. наук**

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, ildar.samerhanov@mail.ru

О РАЗДЕЛЕНИИ N-КАНАЛЬНОЙ СМО С КАНАЛАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НА N НЕЗАВИСИМЫХ ОДНОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

В работе представлены результаты комплекса численных экспериментов, в ходе которых исследовалось влияние на показатели эффективности разделения n -канальной системы массового обслуживания на n независимых одноканальных систем. В качестве примеров рассмотрены математические модели 3-х и 4-х канальных систем с отказами, функционирующие в режиме пуассоновских потоков, а в качестве основного показателя эффективности рассматривалась абсолютная пропускная способность. В рамках экспериментов варьировались соотношения интенсивностей каналов и интенсивность входного потока. Установлено, что в условиях управления потоком разделение каналов различной производительности на независимые одноканальные СМО значительно ухудшает показатели эффективности.

Ключевые слова: система массового обслуживания, каналы различной производительности, эффективное управление, разделение каналов.

Введение

В настоящее время аппарат теории массового обслуживания применяется для решения широкого круга теоретических и прикладных задач в самых разных областях, в том числе производственных, логистических, телекоммуникационных и компьютерных системах.

Вместе с тем, несмотря на множество приложений данной теории и ее достаточно стремительное развитие, при моделировании реальных систем и объектов зачастую используется ряд допущений, одним из которых является одинаковая скорость работы обслуживающих устройств. Такого рода допущения не всегда применимы: как правило, логистические, производственные и многие другие системы обладают каналами различной производительности, а одинаковая скорость работы приборов возможна преимущественно только в механических или, к примеру, электронных объектах. В то же время большинство систем, связанных с деятельностью человека, априори не может обладать каналами одинаковой производительности (к примеру, call-центры, службы доставки, агрегаторы такси и др.). Кроме того, допущение об одинаковых скоростях работы каналов зачастую может приводить к неадекватности моделей.

По всей видимости, впервые системы с каналами различной производительности привлекли внимание исследователей в начале 60-х годов XX века. Первые подобные системы были рассмотрены в работах Х. Гамбеля (Gumbel H.) [1], А.А. Шахбазова [2], Б. Кришнамурти (Krishnamoorthy B.) [3]. С тех пор модели и их модификации значительно усложнились, однако несмотря на кажущуюся разработанность подобных систем, в данной области остается ряд нерешенных задач.

В настоящей работе рассматриваются вопросы влияния на показатели эффективности разделения n -канальной системы массового обслуживания (СМО) на n независимых одноканальных систем. Авторам неизвестны публикации, посвященные данной тематике, вместе с тем она представляет немалый прикладной и теоретический интерес: вопросы «системного» и «раздельного» функционирования каналов встречаются в реальных системах повсеместно, в том числе в рамках, к примеру, специализации обслуживающих устройств.

Применительно к классическим системам с каналами одинаковой производительности такая задача рассмотрена в [4], где на примере 2-х канальной системы продемонстрировано, что при одинаковой интенсивности потока обслуживания разделение каналов приводит к ухудшению показателей эффективности, а в [5] приведен вывод о том, что разделение каналов при увеличении интенсивности потока обслуживания имеет смысл только для СМО в режиме работы, близком к критическому.

Наличие неэквивалентных приборов (как было отмечено ранее, что присуще для большинства реальных систем) может значительно увеличить влияние разделения каналов обслуживания на показатели эффективности системы. В следующем разделе приводится постановка задачи.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим систему массового обслуживания вида $M/M/n$, на вход которой поступает пуассоновский поток заявок интенсивности λ , $\lambda > 0$. Система состоит из n , $n > 0$ каналов различной производительности, причем $0 < \mu_1 < \mu_2 \dots < \mu_n$. Обозначим суммарную интенсивность каналов через

$$M = \sum_{i=1}^n \mu_i,$$

а величину нагрузки на систему через

$$\gamma = \frac{\lambda}{\sum_{i=1}^n \mu_i} = \lambda M^{-1}$$

Представим, что данную систему разделили на n независимых одноканальных систем, на вход каждой из которых поступает пуассоновский поток интенсивностью $\frac{\lambda}{n}$. Суммарная интенсивность обслуживающих устройств n одноканальных систем также равна M , а величины нагрузки на системы равны соответственно $\gamma_1 = \frac{\lambda}{n\mu_1}, \dots, \gamma_n = \frac{\lambda}{n\mu_n}$. Проанализируем влияние разделения каналов на эффективность системы.

Здесь стоит отметить, что важной особенностью систем с каналами различной производительности является возможность управления потоком (распределения заявок между каналами). В литературе рассматриваются различные схемы администрирования потока заявок, среди них:

- равновероятное распределение заявок между свободными каналами обслуживания;
 - распределение заявок между каналами обслуживания с вероятностью, пропорциональной интенсивности их обслуживания;
 - распределение заявок с приоритетом наиболее «быстрого» канала;
 - распределение заявок с приоритетом наименее «быстрого» канала;
- и другие.

В [6] представлена общая математическая модель системы массового обслуживания с каналами различной производительности. В [7] показано, что для систем с отказами наиболее эффективной схемой администрирования является схема, при которой заявка поступает на свободный канал наибольшей производительности (FFS, Fastest Free Server), а в [8] представлены области параметров СМО, при которых система с неэквивалентными каналами в условиях администрирования с приоритетом наиболее «быстрого» канала может быть эффективнее классической системы с каналами одинаковой производительности. В рамках настоящей работы также исследуются модели с данной политикой управления.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве простейшего примера рассмотрим модель 3-х канальной системы с отказами. На Рис 1. представлен граф состояний данной СМО, а также графы состояний 3 независимых одноканальных систем. 3-х канальная СМО имеет 8 возможных состояний – $P_0 \dots P_7$, где P_0 – вероятность состояния, при котором система свободна, P_7 – вероятность состояния, при котором оба канала системы заняты (очевидно, что в данном случае это также вероятность отказа в обслуживании). Числа в нижней части квадратов имеют смысл номеров каналов обслуживания, задействованных при конкретном состоянии системы. Интенсивности

обслуживания каналов равны μ_1 , μ_2 и μ_3 , $0 < \mu_1 < \mu_2 < \mu_3$, интенсивность входного потока – λ . Для одноканальных систем производительности приборов равны соответственно μ_1 , μ_2 и μ_3 , интенсивность входного потока для каждой СМО равна $\frac{\lambda}{3}$.

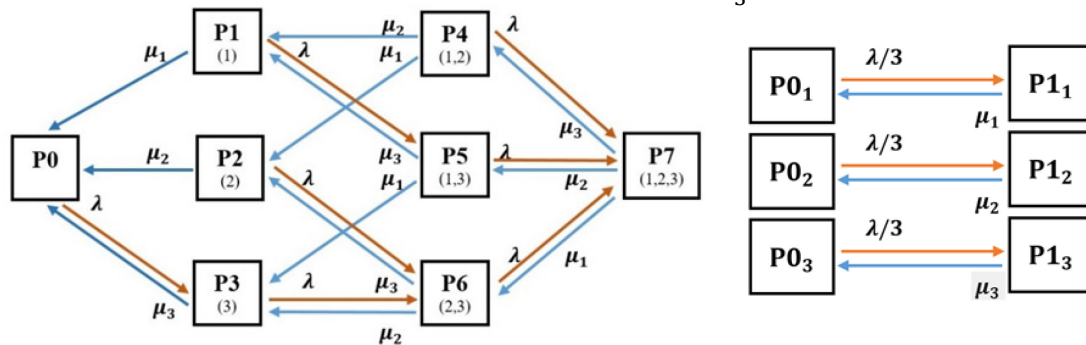


Рис. 1 – Графы состояний 3-х канальной СМО и 3-х одноканальных СМО

В рамках настоящей работы наибольший интерес представляют вероятности состояний в стационарном режиме. Предельные вероятности для одноканальных систем, представленных на Рис. 2, вычисляются по формулам:

$$P_{01} = \frac{3\mu_1}{3\mu_1 + \lambda}, P_{11} = \frac{\lambda}{3\mu_1 + \lambda}; P_{02} = \frac{3\mu_2}{3\mu_2 + \lambda}, P_{12} = \frac{\lambda}{3\mu_2 + \lambda}; P_{03} = \frac{3\mu_3}{3\mu_3 + \lambda}, P_{13} = \frac{\lambda}{3\mu_3 + \lambda}$$

Система дифференциальных уравнений Колмогорова, описывающая распределение вероятностей состояний 3-х канальной СМО при схеме администрирования с приоритетом наиболее «быстрого прибора», представленной на Рис. 1, имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = \mu_1 P_1 + \mu_2 P_2 + \mu_3 P_3 - \lambda P_0 \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \mu_2 P_4 + \mu_3 P_5 - (\mu_1 + \lambda) P_1 \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \mu_1 P_4 + \mu_3 P_6 - (\mu_2 + \lambda) P_2 \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \mu_1 P_5 + \mu_2 P_6 + \lambda P_0 - (\mu_3 + \lambda) P_3 \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \mu_3 P_7 - (\mu_1 + \mu_2 + \lambda) P_4 \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = \mu_2 P_7 + \lambda P_1 - (\mu_1 + \mu_3 + \lambda) P_5 \\ \frac{dP_6(t)}{dt} = \mu_1 P_7 + \lambda P_2 + \lambda P_3 - (\mu_2 + \mu_3 + \lambda) P_6 \\ \frac{dP_7(t)}{dt} = \lambda P_4 + \lambda P_5 + \lambda P_6 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) P_7 \\ P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) = 1 \end{array} \right.$$

Для одноканальных СМО относительная пропускная способность Q равна величине P_{01} , P_{02} и P_{03} соответственно для первой, второй и третьей систем, а абсолютная пропускная способность A равна $P_{01} \frac{\lambda}{3}$, $P_{02} \frac{\lambda}{3}$ и $P_{03} \frac{\lambda}{3}$.

Рассчитаем показатели эффективности для каждой из систем. Для наиболее полного анализа рассмотрим результаты для различных соотношений между интенсивностями каналов и при различных вариантах нагрузки на систему: при $\gamma < 1$ (система «недогружена»), $\gamma = 1$ (система «загружена равномерно»), $\gamma > 1$ (система «перегружена»).

Рассмотрим результаты численных экспериментов, представленных в Таблице 1. В ячейках блока «Разделенные каналы» значения относятся к 1-й, 2-й и 3-й одноканальным системам соответственно.

Таблица 1 – Результаты численных экспериментов

λ	μ_1	μ_2	μ_3	Многоканальная система				Разделенные каналы			
				P_0	$P_{отк}$	Q	A	P_0	$P_{отк}$	Q	A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\gamma < 1$ (система «недозагружена»)											
10	5	6	9	0,266	0,127	0,873	8,73	0,6	0,4	0,6	2
								0,643	0,357	0,643	2,143
								0,730	0,270	0,730	2,433
10	3	6	11	0,267	0,127	0,873	8,73	0,474	0,526	0,474	1,58
								0,643	0,357	0,643	2,143
								0,767	0,233	0,767	2,556
10	1	6	13	0,187	0,149	0,851	8,51	0,230	0,769	0,230	0,767
								0,643	0,357	0,643	2,143
								0,796	0,204	0,796	2,653
$\gamma = 1$ (система «загружена равномерно»)											
10	2,5	3,5	4	0,081	0,343	0,657	6,57	0,429	0,571	0,429	1,43
								0,512	0,488	0,512	1,707
								0,545	0,454	0,545	1,817
10	1,5	3,5	5	0,075	0,348	0,652	6,52	0,310	0,690	0,310	1,033
								0,512	0,488	0,512	1,707
								0,6	0,4	0,6	2
10	0,5	3,5	6	0,040	0,372	0,628	6,28	0,130	0,870	0,130	0,433
								0,512	0,488	0,512	1,707
								0,643	0,357	0,643	2,143
$\gamma > 1$ (система «перегружена»)											
10	1	2	3	0,023	0,533	0,467	4,67	0,231	0,769	0,231	0,77
								0,375	0,625	0,375	1,25
								0,474	0,526	0,474	1,58
10	0,5	2	3,5	0,015	0,544	0,456	4,56	0,130	0,870	0,130	0,433
								0,375	0,625	0,375	1,23
								0,512	0,488	0,512	1,707
10	0,5	1	4,5	0,011	0,559	0,441	4,41	0,130	0,870	0,130	0,433
								0,231	0,769	0,231	0,77
								0,574	0,425	0,574	1,913

По результатам анализа таблицы представляется возможным сформулировать важный, по мнению авторов, вывод: разделение каналов различной производительности значительно ухудшает показатели эффективности системы. Иными словами, в условиях управления потоком заявок система с каналами различной производительности работает лучше, чем ее каналы по отдельности. К примеру, рассмотрим показатели системы при $\lambda = 10, \mu_1 = 5, \mu_2 = 6, \mu_3 = 9$ (первая строка Таблицы 1). Величина абсолютной пропускной способности в случае системы из трех каналов ($A = 8,73$) превышает суммарную величину абсолютной пропускной способности трех одноканальных систем ($A_1 + A_2 + A_3 = 6,576$). Таким образом, при разделении каналов по показателю абсолютной пропускной способности система теряет 24,67%. Увеличение диспропорции между интенсивностями каналов обслуживания увеличивает данный эффект: так, при $\lambda = 10, \mu_1 = 1, \mu_2 = 6, \mu_3 = 13$ (третья строка Таблицы 1) разница между абсолютными пропускными способностями составит уже 34,63%.

Снижение эффективности функционирования системы при разделении каналов наблюдается и для других вариантов нагрузки при $\gamma = 1$ и $\gamma > 1$. Такие результаты объясняются тем, что в многоканальной системе имеется возможность задействования свободного прибора. Иными словами, при разделении системы на независимые одноканальные СМО значительно увеличивается вероятность отказа в обслуживании.

Рассмотрим модель 4-х канальной системы. На Рис. 2 представлены графы состояний 4-х канальной и 4-х независимых одноканальных СМО.

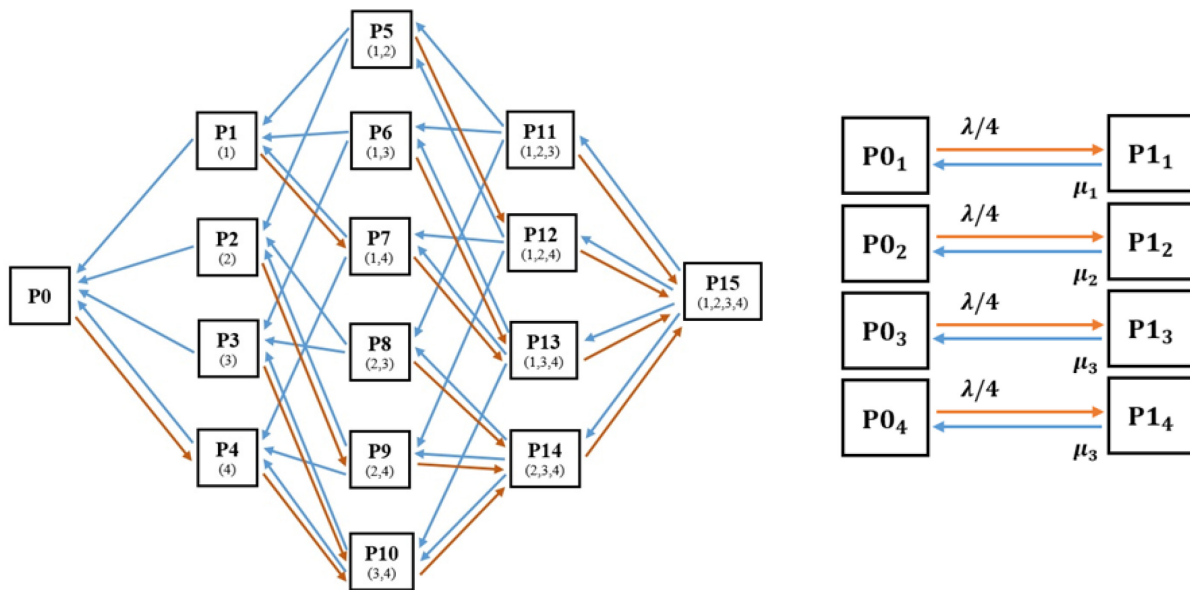


Рис. 2 – Графы состояний 4-х канальной СМО и 4-х одноканальных СМО

Система дифференциальных уравнений Колмогорова, описывающая вероятности распределения состояний 4-х канальной СМО с каналами различной производительности, состоит уже из 15 уравнений и 1 нормировочного условия. Данную систему в настоящей работе мы приводить не будем, ограничившись лишь результатами численных экспериментов, представленных в Таблице 2. Стационарные вероятности одноканальных систем вычисляются для величины входного потока $\frac{\lambda}{4}$.

$$P_{01} = \frac{4\mu_1}{4\mu_1 + \lambda}, P_{11} = \frac{\lambda}{4\mu_1 + \lambda}; P_{02} = \frac{4\mu_2}{4\mu_2 + \lambda}, P_{12} = \frac{\lambda}{4\mu_2 + \lambda};$$

$$P_{03} = \frac{4\mu_3}{4\mu_3 + \lambda}, P_{13} = \frac{\lambda}{4\mu_3 + \lambda}; P_{04} = \frac{4\mu_4}{4\mu_4 + \lambda}, P_{14} = \frac{\lambda}{4\mu_4 + \lambda};$$

Таблица 2 – Результаты численных экспериментов

λ	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	Многоканальная система				Разделенные каналы			
					P_0	$P_{отк}$	Q	A	P_0	$P_{отк}$	Q	A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\gamma < 1$ (система недогружена)												
10	4	5	6	7	0,199	0,069	0,931	9,31	0,615	0,385	0,615	1,537
									0,667	0,333	0,667	1,667
									0,706	0,294	0,706	1,765
									0,737	0,263	0,737	1,842
10	2	4	7	9	0,215	0,067	0,933	9,33	0,444	0,556	0,444	1,11
									0,615	0,385	0,615	1,537
									0,737	0,263	0,737	1,842
									0,783	0,217	0,783	1,957
10	1	3	8	10	0,185	0,074	0,926	9,26	0,286	0,714	0,286	0,715
									0,545	0,454	0,545	1,362
									0,762	0,238	0,762	1,905
									0,8	0,2	0,8	2
$\gamma = 1$ (система загружена равномерно)												
10	1	2	3	4	0,030	0,310	0,690	6,90	0,286	0,714	0,286	0,715
									0,444	0,556	0,444	1,11
									0,545	0,455	0,545	1,362
									0,615	0,385	0,615	1,537

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	0,5	1	3,5	5	0,017	0,333	0,667	6,67	0,167	0,833	0,167	0,417
									0,286	0,714	0,286	0,715
									0,583	0,417	0,583	1,457
									0,667	0,333	0,667	1,667
10	0,5	1	2	6,5	0,015	0,345	0,655	6,55	0,167	0,833	0,167	0,417
									0,286	0,714	0,286	0,715
									0,444	0,556	0,444	1,11
									0,722	0,278	0,722	1,805
γ > 1 (система перегружена)												
10	0,5	1	2	3	0,006	0,489	0,511	5,11	0,167	0,833	0,167	0,417
									0,286	0,714	0,286	0,715
									0,444	0,556	0,444	1,11
									0,545	0,455	0,545	1,362
10	0,5	1	1,5	3,5	0,005	0,493	0,507	5,07	0,167	0,833	0,167	0,417
									0,286	0,714	0,286	0,715
									0,375	0,625	0,375	0,937
									0,583	0,417	0,583	1,457
10	0,5	1	1,2	3,8	0,005	0,496	0,504	5,04	0,167	0,833	0,167	0,417
									0,286	0,714	0,286	0,715
									0,324	0,676	0,324	0,81
									0,603	0,397	0,603	1,507

Рассмотрев результаты, представленные в Таблице 2, также можно отметить, что разделение каналов существенно ухудшает показатели функционирования системы, к примеру при $\mu_1 = 1, \mu_2 = 2, \mu_3 = 3, \mu_4 = 4$ разделение каналов ухудшит абсолютную пропускную способность на 31,54%. Увеличение диспропорции многоканальной системы до $\mu_1 = 0,5, \mu_2 = 1, \mu_3 = 2, \mu_4 = 6,5$ при той же общей нагрузке на систему увеличивает эту разницу до 38,21%.

В рамках настоящей работы также представляет интерес вопрос о том, как изменяются показатели эффективности многоканальной системы при разделении приборов в зависимости от величины нагрузки на систему. Рассмотрим данную задачу на примере 3-х канальной системы с $\mu_1 = 2, \mu_2 = 3, \mu_3 = 4$ при увеличении значения λ от 1 до 15. В Таблице 3 представлены результаты численных экспериментов – разница абсолютной пропускной способности для 3-х канальной системы и 3 одноканальных систем.

Таблица 3 – Влияние нагрузки на показатели эффективности

λ	Абсолютная пропускная способность для 3-х канальной СМО	Суммарная абсолютная пропускная способность 3-х одноканальных СМО	Абсолютная разница	% разница
1	0,997	0,894	0,103	10.33%
2	1,958	1,616	0,342	17.47%
3	2,832	2,217	0,615	21.72%
4	3,588	2,723	0,865	24.11%
5	4,245	3,157	1,088	25.63%
6	4,764	3,534	1,23	25.82%
7	5,257	3,864	1,393	26.50%
8	5,6	4,155	1,445	25.80%
9	5,904	4,413	1,491	25.25%
10	6,16	4,647	1,513	24.56%
11	6,435	4,858	1,577	24.51%
12	6,612	5,048	1,564	23.65%

13	6,747	5,221	1,526	22.62%
14	6,944	5,376	1,568	22.58%
15	7,125	5,525	1,6	22.46%

По результатам анализа данной таблицы обращают на себя внимание следующие особенности. При разделении каналов разница в абсолютных значениях между пропускной способностью 3-х канальной системы и суммарной пропускной способностью 3-х независимых одноканальных систем растет при увеличении нагрузки на систему. Так, при $\lambda = 1$ разница между абсолютными пропускными способностями составляет 0,103, а при $\lambda = 15$ разница составляет уже 1,6. В процентном выражении начиная с $\lambda = 1$ она увеличивается и достигает максимума в 26,5% при $\lambda = 7$, и начинает уменьшаться до 22,46% при $\lambda = 15$.

Выводы

В рамках работы с помощью численных экспериментов показано, что в условиях управления потоком заявок в многоканальной системе разделение приборов различной производительности на несколько одноканальных систем ухудшает ее показатели эффективности, т. е. система работает лучше, чем ее каналы по отдельности. При этом, данный эффект возрастает при увеличении диспропорции между приборами. Также в работе показано, что увеличение нагрузки на систему приводит к увеличению разницы в абсолютных значениях между многоканальной СМО и одноканальными, состоящими из приборов той же интенсивности.

Список литературы

1. Gumbel H. Waiting lines with heterogeneous servers. Operations Research. 1960. Vol. 8, Iss. 4. P. 504–511.
2. Шахбазов А.А. Обслуживание приборами разной производительности. Ученые записки Азербайджанского Государственного университета, сер. физ.-мат. и хим. наук, N 3, 1962.
3. Krishnamoorthy B. On Poisson queue with two heterogeneous servers // Oper. Res. 1963. V. 11. P. 321-330.
4. Фадеев С.Н. О разделении каналов в системе массового обслуживания с неограниченной очередью каналов в системе массового обслуживания с неограниченной очередью / С. Н. Фадеев // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. – 2019. – № 3(71). – С. 37-40.
5. Фадеев С.Н. Оценка эффективности разделения каналов в системе массового обслуживания с неограниченной очередью / С. Н. Фадеев, Н. А. Брейдер // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2021. – Т. 64, № 5. – С. 351-356.
6. Нуриев, Н.К. Математическое моделирование системы массового обслуживания с каналами разной производительности / Н. К. Нуриев, Е. А. Печеный, С. Д. Старыгина // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 1. – С. 31-36.
7. Печеный Е.А. Модель управления системой массового обслуживания с неэквивалентными каналами / Е. А. Печеный, И. З. Самерханов, Н. К. Нуриев // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 4. – С. 83-88.
8. Самерханов И.З. Об областях эффективности систем массового обслуживания с неэквивалентными каналами / И. З. Самерханов // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 5-1. – С. 70-76.

1.2.2.

Р.З. Хайруллин

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет, Мытищинский филиал,
кафедра фундаментального образования,
Главный научный метрологический центр Минобороны России,
Мытищи, zrkzrk@list.ru

**ФОРМИРОВАНИЕ ПОРЯДКОВЫХ СТАТИСТИК ДЛЯ ЗАДАЧ ПОСТРОЕНИЯ
ОЦЕНОК ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ВЫБОРОК**

Проведена адаптация метода построения порядковых статистик к задачам метрологического обеспечения сложных технических систем. Основу метода составляют алгоритмы построения порядковых статистик для крайних и средних членов соответствующего вариационного ряда. Приведен пример для выборки размерности 5 для случая нормального распределения погрешности измерения. Продемонстрирована статистическая устойчивость разработанного метода. Сформулировано правило проверки гипотезы о принадлежности результатов измерений нормальной генеральной совокупности.

Ключевые слова: *малая выборка, оценивание, погрешность измерения, нормальное распределение.*

В процессе эксплуатации сложных технических систем с метрологическим обеспечением проводятся периодические поверки средств измерений [1]. Для описания составляющих погрешности измерения используют либо набор стандартных аппроксимирующих функций распределения (нормальное распределение, равномерное распределение, распределение Симпсона и т.д.), либо смесь этих распределений. В настоящей статье рассматривается составляющая погрешности, описываемая нормальным законом. Нормальную функцию распределения имеют флуктуационные погрешности разного рода, случайные погрешности средств измерений, погрешности, складывающиеся из достаточно большого числа (на практике можно считать, что более 5) независимых составляющих при отсутствии доминирующей составляющей.

В настоящее время существует потребность разработки методов и соответствующего аналитического аппарата для эффективной переработки и интерпретации ограниченного объема статистической информации в условиях малых выборок [2,3].

Поэтому адаптация метода построения порядковых статистик к задачам метрологического обеспечения сложных технических систем в условиях ограниченного объема информации представляется актуальной задачей.

Адаптация метода построения порядковых статистик. Исследуем задачу проверки статистической гипотезы о принадлежности функции распределения погрешности некоторому классу распределений [4] на основе анализа выборок малого объема, для которых, с одной стороны, применение общепринятых критериев (статистик) χ^2 - Пирсона и Колмогорова не является справедливым, с другой стороны, количество наблюдений при эксперименте превышает минимально необходимое число наблюдений, требуемое для формирования статистики ζ - критерия [2].

Предположим, что $x_1, x_2, \dots, x_n$ - выборка конечного объема n из генеральной совокупности с функцией распределения $F(x)$. Не нарушая общности рассуждений, для определенности, будем считать, что функция распределения характеризуется двумя параметрами. Тогда любым трем числам из выборки $x_1, x_2, \dots, x_n$, можно поставить в

соответствие ζ - статистику и закон распределения $F(\zeta)$ может быть построен методом статистического моделирования (методом Монте-Карло) [2]. Упорядочим исходную выборку по возрастанию и представим в виде вариационного ряда: $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ (нижний индекс в круглых скобках соответствует порядковому номеру члена вариационного ряда), которому соответствует вариационный ряд ζ - статистик:

$$\zeta_1^{(n)} \leq \zeta_2^{(n)} \leq \dots \leq \zeta_{n-2}^{(n)}. \quad (1)$$

Распределение членов вариационного ряда (1) можно представить в виде

$$P\{\zeta_m^{(n)} < \zeta\} = \frac{(n-2)!}{(m-1)!(n-2-m)! \int_0^{F(\zeta)} y^{m-1} (1-y)^{n-2-m} dy}. \quad (2)$$

Распределение (2) принадлежит классу бета-распределений и может быть после вычисления интеграла записано следующим образом:

$$P\{\zeta_m^{(n)} < \zeta\} = \frac{(n-2)!}{(m-1)!(n-2-m)!} \cdot \frac{F^m(\zeta)}{m} \cdot F(m, m+2-n; m+1, F(\zeta))$$

где $B_\zeta(p, q)$ - неполная бета-функция; $F(\alpha, \beta; \gamma, z)$ - гипергеометрическая функция Гаусса.

Для крайних членов вариационного ряда ζ - статистик распределения имеют вид:

$$P\{\zeta_1^{(n)} < \zeta\} = 1 - [1 - F(\zeta)]^{n-2}, \quad P\{\zeta_{n-2}^{(n)} < \zeta\} = F(\zeta)^{n-2} \quad (3)$$

Распределения порядковых ζ - статистик представляется возможным использовать для проверки статистической гипотезы о принадлежности функции распределения $F(x)$ генеральной совокупности некоторому классу распределений.

Пусть, например, в результате испытаний получены пять чисел $x_1, x_2, \dots, x_5$. Требуется при уровне значимости α проверить гипотезу о том, что измеряемые величины распределены по нормальному закону.

Составим вариационный ряд $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(5)}$ и ряд порядковых ζ - статистик $\zeta_1^{(5)} \leq \zeta_2^{(5)} \leq \zeta_3^{(5)}$, где: $\zeta_1^{(5)} = (x_{(2)} - x_{(1)}) / (x_{(5)} - x_{(1)})$, $\zeta_2^{(5)} = (x_{(3)} - x_{(1)}) / (x_{(5)} - x_{(1)})$, $\zeta_3^{(5)} = (x_{(4)} - x_{(1)}) / (x_{(5)} - x_{(1)})$, где верхний индекс – объем выборки.

Расчет порядковых статистик для крайних членов вариационного ряда. Опишем расчет для левого крайнего члена. Независимые одинаково распределенные случайные величины x_1, x_2, x_5 нормального распределения $N(m, \sigma^2)$ с параметрами m и σ можно представить в виде:

$$x_1 = m + \sigma\eta_1, \quad x_2 = m + \sigma\eta_2, \quad x_5 = m + \sigma\eta_5,$$

где η_1, η_2, η_5 - выборка из стандартного нормального распределения $N(0,1)$.

После упорядочивания: $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq x_{(5)}$ введем в рассмотрение статистику: $\zeta = (x_{(2)} - x_{(1)}) / (x_{(5)} - x_{(1)})$, которая не будет зависеть от параметров распределения генеральной совокупности, а будет определяться выборкой из стандартного нормального распределения, упорядоченной по возрастанию $\eta_{(1)} \leq \eta_{(2)} \leq \eta_{(5)}$:

$$\zeta = (x_{(2)} - x_{(1)}) / (x_{(5)} - x_{(1)}) = (\eta_{(2)} - \eta_{(1)}) / (\eta_{(5)} - \eta_{(1)}).$$

Методом Монте-Карло рассчитываются значения для вероятности $P\{K < \zeta\} = F(\zeta)$, которые предоставлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения функции $F(\zeta)$ для крайнего левого члена $\zeta_1^{(5)}$

ζ	$F(\zeta)$	ζ	$F(\zeta)$	ζ	$F(\zeta)$	ζ	$F(\zeta)$	ζ	$F(\zeta)$	ζ	$F(\zeta)$	ζ	$F(\zeta)$
0	0,0000	0,15	0,1053	0,30	0,2194	0,45	0,3492	0,60	0,4895	0,75	0,6171	0,90	0,7309
0,05	0,0315	0,20	0,1414	0,35	0,2623	0,50	0,3969	0,65	0,5332	0,80	0,6539	0,95	0,7653
0,10	0,0681	0,25	0,1798	0,40	0,3035	0,55	0,4445	0,70	0,5754	0,85	0,6937	1,00	1,0000

Функции $F(\zeta)$ для крайнего правого члена $\zeta_{(3)}^{(5)}$ рассчитывается аналогично.

Расчет статистики для среднего члена вариационного ряда. Распределение среднего члена вариационного имеет вид:

$$P\{\zeta_2^{(5)} < \zeta\} = \frac{3!}{1!(5-2-2)!} \cdot \frac{F^2(\zeta)}{2} \cdot F(2, -1; 3, F(\zeta)).$$

Гипергеометрическая функция $F(\alpha, \beta; \gamma, z)$ может быть вычислена по формуле:

$$F(\alpha, \beta; \gamma, z) = 1 + \frac{\alpha \cdot \beta}{\gamma \cdot 1} z + \frac{\alpha \cdot (\alpha + 1) \cdot \beta(\beta + 1)}{\gamma \cdot (\gamma + 1) \cdot 1 \cdot 2} z^2 + \dots$$

Отметим, что параметр $\beta < 0$, поэтому гипергеометрический ряд будет обрываться, и окончательная зависимость для функции распределения будет иметь вид:

$$P\{\zeta_2^{(5)} < \zeta\} = 3F^2(\zeta) \left[1 + \frac{2 \cdot (-1)}{3 \cdot 1} F(\zeta) \right] = 3F^2(\zeta) - 2F^3(\zeta).$$

Здесь вычисление $F(\zeta)$ производится с помощью Таблицы 1.

Исследование устойчивости алгоритма. Для оценки статистической устойчивости моделировалось 10 повторений (выборок) по 100000 реализаций. Расхождение D между осредненной функцией распределения $\tilde{F}(\zeta)$ и функцией распределения $F(\zeta)$ представлено на рисунке 1.

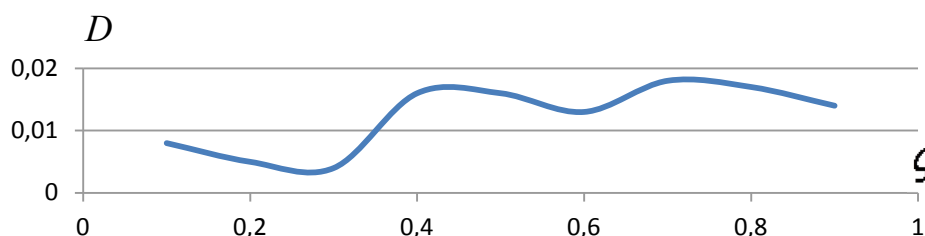


Рис. 1 – Оценка статистической устойчивости метода

Правило проверки гипотезы о принадлежности результатов измерений нормальной генеральной совокупности. По уровню значимости α с использованием квантильных функций [3] выделяется критическая область для статистик порядковых критериев. Если расчетные значения $\zeta_1^{(n)}, \zeta_2^{(n)}, \dots, \zeta_{n-2}^{(n)}$ не попадают в критическую область, то делается вывод о непротиворечивости выдвинутой гипотезы о принадлежности результатов измерений нормальной генеральной совокупности.

Закключение. Представленный адаптированный метод порядковых статистик может быть использован для построения статистических оценок для других видов плотности распределения (равномерного, экспоненциального и т.д.), а также распределений общего вида, в том числе, заданных с помощью неявных функций, характеристических функций и операторных рядов. Для этого необходимо, чтобы минимальное число случайных величин в малой выборке, которое обеспечивает нахождение статистики ζ - критерия, было не менее чем на единицу больше числа параметров рассматриваемого закона распределения.

Список литературы

1. Хайруллин Р.З. Оптимизация процессов эксплуатации и обновления парка измерительной техники. Измерительная техника. 2022. №8. С.28-34.
2. Мартыщенко Л.А. Математические задачи теории малых выборок и их приложения к испытаниям сложных технических систем. Министерство обороны СССР. 1985. 75 с.
3. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. Москва. Статистика. 1978. 248 с.
4. Орлов А.И. Метод проверки гипотез по совокупности малых выборок и его применение в теории статистического контроля. Научный журнал КубГАУ. №104(10). 2014. С.1-15.

1.2.2.

Е.Г. Царькова

Тверской государственный университет,
математический факультет,
Тверь, university69@mail.ru,
Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказаний», НИЦ-1, Москва

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ СИСТЕМ ОХРАНЫ В УЧРЕЖДЕНИЯХ УИС

В работе приведена динамическая модель управления обслуживанием и ремонтами систем безопасности охраняемых объектов ФСИН России. Применен градиентный метод решения задачи, приведены результаты апробации вычислительного алгоритма. Построенная в работе модель и методы решения задачи могут быть использованы для построения систем поддержки принятия решений, используемых при осуществлении мероприятий по совершенствованию ведомственных систем безопасности.

Ключевые слова: *охранная система, техническое обслуживание, надёжность, принцип максимума Понтрягина, метод проекции градиента.*

Исправность технических систем, используемых на территории охраняемых объектов уголовно-исполнительной системы Российской Федерации, является одним из важнейших факторов обеспечения их комплексной безопасности. Рост уровня криминогенных угроз, появление новых видов угроз и технических возможностей потенциального нарушителя приводит к необходимости поддержания высокого уровня надежности охранного оборудования, а также своевременного проведения планово-предупредительных мероприятий в сфере управления эксплуатацией и ремонтами систем безопасности [1]. В связи с этим актуальной задачей является создание и исследование аналитических моделей управления надежностью охранного оборудования, а также разработка эффективных методов их решения в целях поддержки принятия управленческих решений по эксплуатации ведомственных систем безопасности [2]. В работе рассматривается модель нерезервированной охранной системы, работоспособность которой непрерывно контролируется в процессе обслуживания. Пусть в каждый из моментов времени система находится в одном из состояний: «Г» – готова к работе, «О» – отказ в работе. Полагаем, что переход системы в состояние «Г» осуществляется с вероятностью P_1 , а состояние отказа «О» возникает с вероятностью P_2 . В случае отказа системы осуществляется переход к восстановлению ее работоспособности. На рис. 1 приведен граф состояний при обслуживании рассматриваемой охранной системы.

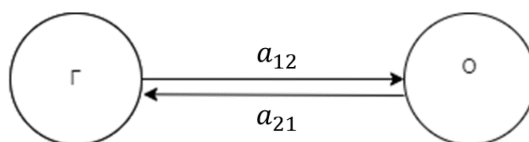


Рис. 1 – Граф состояний системы

С учетом теоремы Колмогорова для систем с непрерывным временем и дискретным множеством состояний представленному графу состояний соответствует система дифференциальных уравнений следующего вида [3]:

$$\frac{dP_1}{dt} = -a_{12}P_1(t) + a_{21}P_2(t), \quad \frac{dP_2}{dt} = -a_{12}P_2(t) + a_{12}P_1(t). \quad (1)$$

Здесь $t \in [0, T]$ – время работы, $a_{12} = \omega_{\text{НП}}$, $a_{21} = \frac{1}{T_{\text{устр}}^{\text{НП}}} = \mu$, $\omega_{\text{НП}}$ – параметр потока отказов,

$T_{\text{устр}}^{\text{НП}}$ – среднее время на устранение отказа, μ – интенсивность восстановления работоспособности системы. На рис. 2 приведены графики изменения вероятностей состояний системы на рассматриваемом временном промежутке. Исходные данные представлены в таблице 1.

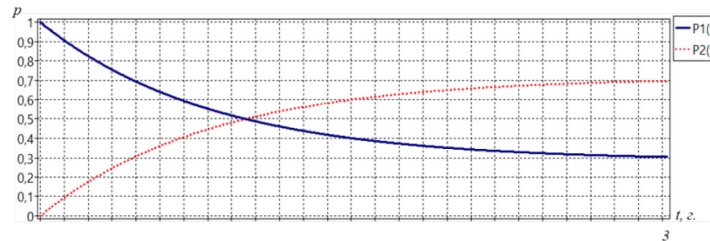


Рис. 2 – Графики вероятностей $P_1(t)$, $P_2(t)$

Таблица 1 – Значения P_1 при различных значениях $\omega_{\text{НП}}$, $T_{\text{устр}}^{\text{НП}}$

$T_{\text{устр}}^{\text{НП}}$, ч	$\omega_{\text{НП}}$, 1/ч.		
	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
10	0,9901	0,9990	0,9999
25	0,9756	0,9975	0,9998
50	0,9524	0,9950	0,9995
100	0,9091	0,9901	0,9990

Графики зависимости значений P_1 от $\omega_{\text{НП}}$, $T_{\text{устр}}^{\text{НП}}$ приведены на рис. 3.

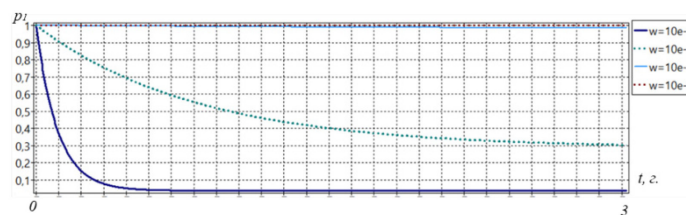


Рис. 3 – Вид графиков $P_1(t)$ при изменении $\omega_{\text{НП}}$, $T_{\text{устр}}^{\text{НП}}$

Можем видеть, что в случае $\omega_{\text{НП}} \leq 10^{-5}$ 1/ч значение параметра $\omega_{\text{НП}}$ не оказывает существенного влияния на значение P_1 , однако с ростом $\omega_{\text{НП}}$ (при $\omega_{\text{НП}} > 10^{-5}$ 1/ч) наблюдается изменение ситуации. Так, например, увеличение $T_{\text{устр}}^{\text{НП}}$ на 90% ($\omega_{\text{НП}} = 10^{-4}$ 1/ч) способствует росту вероятности работоспособного состояния системы: P_1 увеличивается на 0,9%, а в случае $\omega_{\text{НП}} = 10^{-3}$ 1/ч P_1 увеличивается на 8%.

Пусть значение $\frac{1}{T_{\text{устр}}^{\text{НП}}}$ – управляющий параметр ($u = \frac{1}{T_{\text{устр}}^{\text{НП}}}$), обозначим $x_1(t) = P_1(t)$, $x_2(t) = P_2(t)$, $t \in [0, T]$. Требуется обеспечить максимально высокий уровень надежности охранной системы при наличии ограничений на финансовые ресурсы по ее обслуживанию и ремонту [4].

Задача состоит в минимизации функционала:

$$J(u) = -\int_0^T x_1(t) dt + M \max^2 \{a - x_1^q, 0\} \rightarrow \min \quad (2)$$

с учетом динамических ограничений:

$$\dot{x}_1(t) = -a_{12}x_1(t) + x_2(t)u(t), \quad \dot{x}_2(t) = -x_2(t)u(t) + a_{12}(t)x_1(t) \quad (3)$$

и ограничений на управление:

$$0 \leq u(t) \leq u_{\max}. \quad (4)$$

В начальный момент времени выполнены условия:

$$x_1(0) = 1, \quad x_2(0) = 0, \quad u(0) = 0. \quad (5)$$

Полученная задача оптимального управления может быть решена аналитически либо численно [5]. Для построения решения приведем необходимые условия оптимальности в виде принципа максимума Понтрягина. Функция Понтрягина в задаче (2) – (5) имеет вид:

$$H(\lambda_0, t, x_1, x_2, u, p_1(t), p_2(t)) = \lambda_0 x_1 - p_1(t) a_{12} x_1(t) + p_2(t) a_{12}(t) x_1(t) + (p_1(t) - p_2(t)) x_2(t) u(t). \quad (6)$$

Пусть $\varphi(t) = (p_1(t) - p_2(t)) x_2(t)$ – функция переключения. Тогда

$$H(\lambda_0, t, x_1, x_2, u, p_1(t), p_2(t)) = \lambda_0 x_1 - p_1(t) a_{12} x_1(t) + p_2(t) a_{12}(t) x_1(t) + \varphi(t) u.$$

Для оптимального управления выполняются условия [5]:

$$H(\lambda_0, t, \bar{x}_1(t), \bar{x}_2(t), \bar{u}(t), \bar{p}_1(t), \bar{p}_2(t)) = \max_{u \in U} H(\lambda_0, t, \bar{x}_1(t), \bar{x}_2(t), u, \bar{p}_1(t), \bar{p}_2(t)). \quad (7)$$

Пусть $[\bar{x}, \bar{u}]$ – оптимальный процесс. Тогда для оптимального управления и сопряженных функций $p_1(t), p_2(t)$ справедливы соотношения:

$$\bar{u}(t) = \begin{cases} u_0, & \text{если } p_1(t) > p_2(t), \\ 0, & \text{если } p_1(t) < p_2(t), \\ \gamma \in [0, u_{\max}], & \text{если } p_1(t) = p_2(t), t \in [0, T], \end{cases} \quad (8)$$

$$\bar{p}_1 = -\frac{\partial H}{\partial x_1} = \lambda_0 + p_1(t) a_{12} - p_2(t) a_{12}(t), \quad \bar{p}_2 = -\frac{\partial H}{\partial x_2} = (p_2(t) - p_1(t)) u(t). \quad (9)$$

Выполнены условия трансверсальности: $p_1(T) = -2M \max\{a - x_1(T), 0\}$, $p_2(T) = 0$.

Применим схему Эйлера 1-го порядка точности для приближения производных и правило левых прямоугольников с шагом дискретизации $\Delta t = \frac{T}{q}$ (q – количество точек разбиения

$[0, T]$) для вычисления целевого функционала. Получим дискретную задачу оптимального управления (ДЗОУ), которая аппроксимирует задачу (2) – (5).

Требуется минимизировать функцию:

$$I([x], [u]) = -\sum_{i=0}^{q-1} x_1^i \Delta t + M \max^2\{a - x_1^q, 0\} \rightarrow \inf, \quad (10)$$

где $x_1^{i+1} = x_1^i + \Delta t_i (-a_{12} x_1^i + x_2^i u^i)$, $x_2^{i+1} = x_2^i + \Delta t_i (-x_2^i u^i + a_{12}^i x_1^i)$. Заданы начальные условия: $x_1^0 = 1, x_2^0 = 0$, а также ограничения на управление: $0 \leq u^i \leq u_{\max}, i = \overline{0, q-1}$. Для построения численного алгоритма применим метод быстрого автоматического дифференцирования, для учета ограничений на управления используем проекцию градиента [5]. На рис. 4, 5 приведены графики оптимального управления и траектории, полученные при следующих значениях: $q=1000$, $T=3$ с., $\omega_{\text{НП}} = 10^{-4} 1/\text{с}$, $x_1^0=1$, $x_2^0=0$, $u^{(0)}=0$, $a=0,9997$, $\alpha^{(0)}=0,1$, $\varepsilon_I=10^{-8}$, $\varepsilon_x=10^{-8}$.

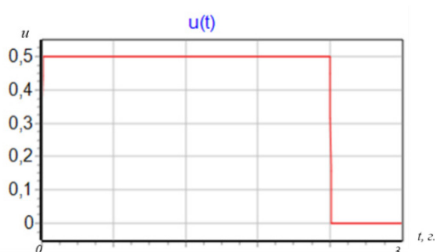


Рис. 4 – График $\bar{u}(t)$

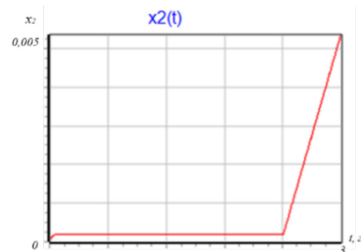


Рис. 5 – График $\bar{x}_2(t)$

Предложенный подход может быть использован при создании систем поддержки принятия решений по повышению надежности систем безопасности на охраняемых объектах УИС.

Список литературы

1. *Омельченко В.В.* Информационное обеспечение системы государственного управления национальными ресурсами: риск-ориентированный подход // Правовая информатика, 2019, № 1. С. 4-17.
2. *Сумин В.И., Чураков Д.Ю., Царькова Е.Г.* Разработка моделей и алгоритмов информационных структур и процессов объектов особой важности // Промышленные АСУ и контроллеры, 2019, № 4. С. 30-39.
3. *Душкин А.В., Цветков В.В.* Вопросы моделирования состояний инженерно-технических средств охраны и надзора // Вестник Воронежского института ФСИИ России, 2014, №3, с. 28-31.
4. *Царькова Е.Г.* Методы автоматизированного построения решения задачи оптимального управления ресурсом при обеспечении безопасности объектов // Научно-технический вестник Поволжья, 2022, № 3. С. 67-69.
5. *Dushkin A.V., Kasatkina T.I., Novoseltsev V.I., Ivanov S.V.* An improved method for predicting the evolution of the characteristic parameters of an information system. Journal of Physics: Conference Series. 2018;973(1):012031.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ — 2.3.1.**

2.3.1.

¹Г.Н. Аглямзянова, ²Л.З. Гумерова

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет,
передовая инженерная школа,
кафедра математики,
Казань, dina.airat@mail.ru,

Набережночелнинский государственный университет,
кафедра математики, физики и методик их обучения,

²Казанский (Приволжский) федеральный университет,
передовая инженерная школа,
кафедра автоматизации и управления,
Казань, gum9370@mail.ru

**ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ МОДУЛЯ
ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ЗНАНИЙ
НА ОСНОВЕ БИБЛИОТЕК PYTHON**

В данной статье представлен пример создания модуля для интеграции онтологий при проектировании систем управления техническими объектами. В качестве инструмента выбрана библиотека RDFLib.

Ключевые слова: *Python, онтологии, объединение, RDFLib, базы знаний.*

Онтология – это формальная модель, которая описывает понятия и отношения между ними в некоторой предметной области [3]. Онтологии могут использоваться для стандартизации и организации знаний в предметной области. Например, онтология может описывать понятия и отношения между ними в медицинской области, что позволяет лучше управлять медицинской информацией.

Онтологии обычно представляются в виде дерева или графа, где узлы представляют собой понятия, а ребра – отношения между ними. Для описания онтологий используются специальные языки, такие как OWL (Web Ontology Language) и RDF [2] (Resource Description Framework).

В развивающихся информационных технологиях и распределенных системах возникает необходимость в эффективном совместном создании и управлении знаниями. Один из важных инструментов в технических системах для распределенной разработки онтологий – это объединение онтологий.

Для хранения онтологических баз знаний обычно используются различные форматы файлов, такие как OWL, RDF, RDFS, TTL и др. Каждый формат имеет свои особенности и преимущества, которые могут быть полезны в конкретных ситуациях.

OWL (Web Ontology Language) – это язык описания онтологий, используемый для представления знаний в машинно-читаемом формате. Он позволяет описывать классы, свойства, отношения между ними и аксиомы (логические утверждения) о них.

Выбор языка программирования для разработки модуля, объединяющего онтологические базы данных, является важным этапом проекта. В данной работе выбор пал на язык программирования Python. Этот выбор обоснован тем, что Python имеет множество библиотек и инструментов для работы с онтологическими базами данных [6], такими как RDFlib [5] и OWLready2 [4]. Кроме того, Python является популярным и широко используемым языком программирования, что облегчает разработку и поддержку модуля.

Для работы с онтологическими данными на языке Python были рассмотрены две основные библиотеки: RDFLib и OWLready2. При выборе библиотеки мы руководствовались следующими критериями:

- Функциональность. Библиотека должна поддерживать все необходимые нам операции по объединению и обработке онтологий.
- Скорость работы. Библиотека должна иметь высокую производительность и быстрое время выполнения операций.
- Удобство использования. Библиотека должна иметь простой и понятный интерфейс для работы с онтологическими данными.
- Документация. Библиотека должна иметь хорошо оформленную и понятную документацию.
- Сообщество разработчиков. Библиотека должна иметь достаточно активное и поддерживаемое сообщество разработчиков.

По результатам анализа было решено выбрать библиотеку RDFLib. OWLready2, в свою очередь, имеет слабую поддержку и некоторые ограничения, что может затруднить реализацию модуля. RDFLib, в свою очередь, является широко используемой библиотекой, которая поддерживает все необходимые нам операции по работе с онтологическими данными, имеет хорошо оформленную документацию и активное сообщество разработчиков.

Первым шагом инициализируется объект класса Graph из библиотеки RDFLib. Далее определяется метод `__repr__` для строкового представления объекта, который возвращает словарь с типами объектов в графе и их количеством.

Для объединения двух онтологий используется метод `add_database`, который принимает вторую базу знаний в формате XML и загружает ее в отдельный объект Graph. Затем происходит объединение графов с помощью оператора `+=` в RDFLib.

Для обработки пропущенных объявлений классов и свойств второй онтологии используется цикл по триплетам второй онтологии. Если объект в трипле является экземпляром класса OWL. Class или OWL. Property, то происходит проверка наличия эквивалентного объявления в графе. Если такого объявления нет, то оно добавляется с помощью методов `add`.

Также в методе `add_database` происходит обновление URI для классов и свойств. Создается объект класса Namespace с базовым URI `'http://example.org/ont/'`, который заменяет URI в графе. Если в трипле субъект или объект является экземпляром OWL. Thing, то соответствующий URI заменяется на новый URI из базового Namespace.

Метод `bytes` возвращает сериализованный граф в формате XML в виде объекта BytesIO. Для сериализации используется метод `serialize` из библиотеки RDFLib.

Листинг модуля прилагается ниже

```
from io import BytesIO
from rdflib import Graph, OWL, Namespace
from collections import Counter
```

```
class OWLMerger:
```

```
    def __init__(self):
        self.graph = Graph()

    def __repr__(self):
        return dict(
            Counter(
                map(lambda item: type(item).__name__, self.graph.objects())
            )
        ).__repr__()
    __str__ = __repr__
```

```
def add_database(self, other):
    # загрузка второй базы знаний
    other_graph = Graph().parse(other, format='xml')

    # объединение онтологий
    self.graph += other_graph

    # добавление пропущенных объявлений классов и свойств
    for s, p, o in other_graph.triples((None, None, None)):
        if isinstance(o, OWL.Class) and (s, OWL.equivalentClass, o) not in self.graph:
            self.graph.add((s, OWL.equivalentClass, o))
        elif isinstance(o, OWL.Property) and (s, OWL.equivalentProperty, o) not in self.graph:
            self.graph.add((s, OWL.equivalentProperty, o))

    # обновление URI
    base_uri = Namespace('http://example.org/ont/')
    for s, p, o in self.graph:
        if isinstance(s, OWL.Thing):
            self.graph.remove((s, p, o))
            self.graph.add((base_uri[s], p, o))
        if isinstance(o, OWL.Thing):
            self.graph.remove((s, p, o))
            self.graph.add((s, p, base_uri[o]))

def bytes(self):
    result = BytesIO()
    self.graph.serialize(result, 'xml')
    result.seek(0)
    return result
```

Несмотря на то, что модуль уже работает и выполняет свою задачу, существует несколько возможных улучшений, которые могут улучшить его эффективность и функциональность: улучшение производительности, добавление поддержки других форматов, улучшение обработки коллизий.

Список литературы

1. Муртазина М.Ш. Система поддержки принятия решений при гибком подходе к инженерии требований на основе OWL-онтологии / М. Ш. Муртазина . – Текст : электронный // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-podderzhki-prinyatiya-resheniy-pri-gibkom-podhode-k-inzhenerii-trebovaniy-na-osnove-owl-ontologii>.
2. unittest — Unit testing framework — Python 3.11.3 documentation : [сайт]. – URL: <https://docs.python.org/3/library/unittest.html>. – Текст: электронный.
3. Welcome to Flask — Flask Documentation (2.3.x) : [сайт]. – URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/2.3.x/> – Текст: электронный.

2.3.1.

С.С. Акимов, М.В. АрхапчеваОренбургский государственный университет,
sergey_akimov_work@mail.ru**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА ОРГАНИЗМА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА**

Рассматривается влияние микроэлементного статуса на продуктивность животных. Отмечено, что микроэлементы перемещаются из почвы и семян в корма и далее в организм животных, что позволяет регулировать их на каждом этапе. Для этих целей составлены модели, позволяющие комплексировать данные и управлять продуктивностью животных через регулирование микроэлементного состава.

Ключевые слова: *продуктивность животноводства, микроэлементный состав, управление, математические модели, оптимизация.*

Введение

В настоящее время одной из главных проблем практики управления является достижение максимизации эффекта от воздействия на те или иные параметры. Данная проблема существует вне зависимости от отрасли и сферы деятельности предприятия.

Актуальность обозначенной темы заключается в важность молочного производства для экономики страны [1]. Основой проблематики управления в рассматриваемой отрасли является бессистемность оперативной оценки показателей, описывающих конкретные характеристики состояния животных. Указанные показатели нуждаются в анализе и корректировке для достижения высокой эффективности работы предприятий молочной отрасли и продуктивности самих животных. Важнейшим аспектом поставленной задачи является то, что все показатели, собираемые в молочной отрасли, имеют различную природу, формат и принадлежность, что является сильным затруднением для их сопоставления [2].

В настоящее время для оценки внутреннего состояния различных живых организмов зачастую используют оценку состава показателей микроэлементов. Данный состав, как правило, определяется набором из 25-и элементов, оказывающих существенное влияние на организм [3]. Необходимо, также, отметить, что рассматриваемый микроэлементный состав, являясь индивидуальным показателем, оказывает существенное влияние на совокупную продуктивность стада [4]. Разумеется, микроэлементный состав не является единственным показателем, оказывающим подобное влияние: к таковым можно отнести генетические факторы, нормы содержания и питания, порода и возраст и т.д. [5]. Для более объективной оценки существуют специализированные методики кластеризации животных [6].

Таким образом, микроэлементный состав, с одной стороны, может являться индикатором состояния (и, как следствие продуктивности) системы «корма-животные-продуктивность», а с другой относительно прост с точки зрения оперативного сбора данных и мониторинга для оценки продуктивности. Указанные обстоятельства делают микроэлементный состав необходимой характеристикой при проектировании и реализации системы управления продуктивностью молочного животноводства [7].

Методология и методы исследования

Целью любого молочного хозяйства является получение максимальной продуктивности. Можно предположить, что существует такой микроэлементный состав системы «корма-животные-продуктивность», при котором продуктивность молочного скота является максимальной [8].

Специфика сельскохозяйственной отрасли находит свое отражение в виде множества управляющих внешних воздействий и относительно малого числа механизмов. Каждый из учтенных факторов имеет собственные связи с одним или несколькими другими факторами, образуя сложную, но структурированную взаимосвязь. Создание обобщенной схемы позволяет выявить факторы, оказывающие влияние на тот или иной параметр.

Помимо выявленных факторов, при оценке производительности необходимо учитывать микроэлементный статус, который может быть измерен на каждом этапе процесса производства. При этом непосредственно изменять микроэлементный состав можно только путем добавления при выращивании кормов и кормлении животных [9].

Полученная структурированная совокупность позволяет совместить все составляющие в комплексный процесс. Сведенные потоки в единое целое, формируют схему процесса молочного производства (рисунок 1).

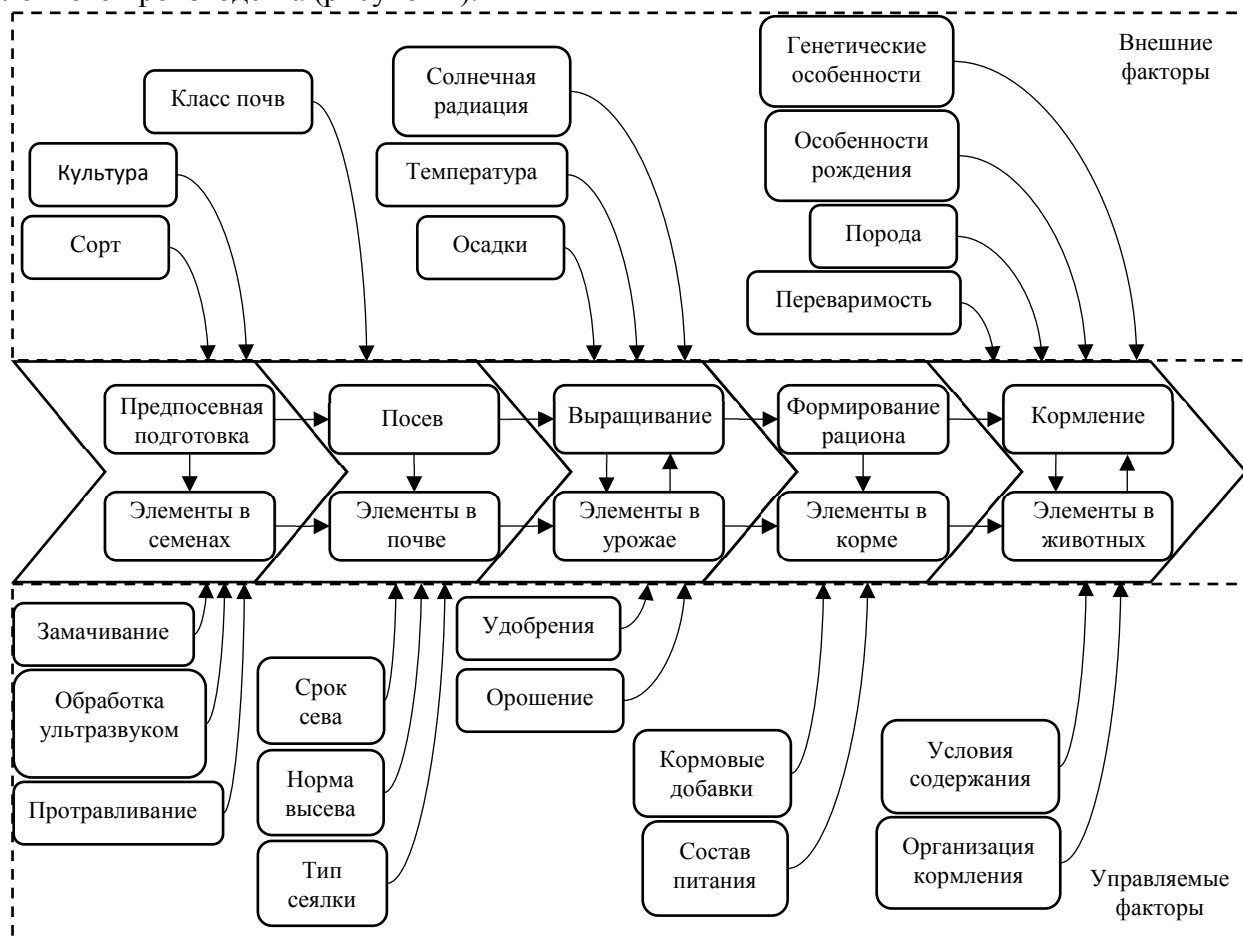


Рис. 1 – Схема последовательных этапов молочного производства с учетом основных влияющих факторов

Оценка взаимного влияния факторов на итоговый результат создает возможность построения моделей, их применение позволяет определить необходимую степень воздействия на управляемые факторы для достижения максимальной эффективности производства молочной продукции.

Результаты исследования

Задача повышения производительности сводится к многокритериальной задаче оптимизации микроэлементного состава. В поставленной многокритериальной задаче функция полезности содержит как внутренние, так и внешние переменные, поэтому оптимизация процесса регулирования микроэлементного состава может предполагать использование системы математических моделей.

Пусть существует некий состав микроэлементов V^{wh} в организме животных конкретной группы $w^h \in W$, при котором продуктивность $Z \rightarrow \max$:

$$Z = L(V^{wh}) \rightarrow \max. \quad (1)$$

Состав микроэлементов V^{wh} может быть выражен соотношением:

$$V^{wh} = V^{w_0} + V^j + V^g + V^c - V^p, \quad (2)$$

где V^{w_0} – это микроэлементный состав организма в группе животных до поступления туда веществ;

V^j – это микроэлементы, поступающие в организм животных совместно с кормами;

V^g – это микроэлементы, поступающие в организм животных совместно с кормовыми добавками;

V^c – это микроэлементы, поступление которых в организм не связано с питанием;

V^p – это выбытие микроэлементов из организма по всем причинам.

Отметим, что количество микроэлементов, поступление которых в организм не связано с питанием V^c и выбытие микроэлементов из организма по всем причинам считаются величинами постоянными V^p для определенной группы животных. Приведенное соотношение выражено для стационарной системы. Отображение ее в динамике приведет к следующей интерпретации:

$$V^{wh}(t) = V^{wh}(t) + V^j(t) + V^g(t) + V^c - V^p. \quad (3)$$

Окончательная зависимость продуктивности от микроэлементного состава:

$$Z(t) = L(V^{wh}(t-1) + V^j(t) + V^g(t) + V^c - V^p) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Таким образом, разработанная модель позволяет комплексировать разнородные и разноформатные данные, среди которых можно выделить видовые особенности кормовых культур, добавок, непищевые факторы, а также различные показатели, характеризующие особенности животных.

Функция L определена с помощью уравнений нелинейной регрессии (полином второй степени), на основе статистических данных о продуктивности и микроэлементном статусе животных. Оценку непищевого поступления микроэлементов можно проводить экспериментальным путем.

Поскольку проведенный анализ исследований показал, что значительная часть моделей приведена в стационарном виде, то разработанная система учитывает временные изменения, отображая накопление и выбытие микроэлементов из организма животных.

Подобные формулы позволяют оперативно оценивать изменение микроэлементного баланса животных и корректировать его, что положительно сказывается на молочной продуктивности.

Список литературы

1. Иванов Ю.А. Скоркин В.К. Цифровая молочная ферма на 400 коров // Международный технико-экономический журнал. 2019. № 1. С. 7-13.
2. Акимов С.С. Построение СППР на основе онтологии молочного производства / С. С. Акимов, И. П. Болодурина // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11, № 1(39). – С. 64-75.
3. Некрасов Д., Колганов А. Влияние отдельных факторов на пожизненную продуктивность коров // Молочное и мясное скотоводство. 2006. №5. С. 28-31.
4. Анищенко А.Н. О направлениях активизации инновационных процессов в молочном скотоводстве региона // Проблемы развития территории. 2017. №2 (88). С. 192-206.
5. Акимов, С.С. Оценка эффективности кормового производства на основе факторов посева и предпосевной подготовки / С. С. Акимов, И. П. Болодурина // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 7. – С. 9-13.
6. Акимов, С.С. Моделирование продуктивности хозяйства молочного животноводства / С. С. Акимов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2022. – № 1. – С. 25-32.
7. Теплюков, Д.Е., Усов А.Б. Управление количеством вредных веществ в атмосфере // Инженерный вестник Дона. 2022. № 5(89). С. 359-366.
8. Московский М.Н., Литвинов М.А., Адамян А.А. Разработка микропроцессорной системы управления высевом семян // Инженерный вестник Дона. 2019. № 7(58). С. 16.
9. Bolodurina I.P. Intelligent methods for assessing the productivity of dairy cattle based on a comprehensive study of elemental status / I. P. Bolodurina, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 года. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012020.

2.3.1.

¹Д.А. Васильев, ²М.А. Иванова канд. физ. - мат. наук, ³Т.И. Васильева^{1,2}Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
Институт математики и информатики,
Якутск, iv_mari@mail.ru,³ГБОУ РС(Я) "Якутский индустриально-педагогический колледж",
Якутск**РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА JAVA
ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗА**

В научной статье подробно приведён принцип работы нейронной сети. Он представлен как механизм обработки информации. Наглядно объясняется взаимодействие нейронов и слоев. А также описаны важные этапы разработки нейронной сети на Java.

Ключевые слова: *перцептрон, Java, метод обратного распространения ошибки, нейрон, взвешенная сумма, логистическая кривая, активация.*

Нейронные сети — это математические модели, которые используются для анализа сложных данных и решения задач, требующих обучения и адаптации. Они состоят из нескольких слоев нейронов, которые обрабатывают входные данные и выдают результат.

Создание нейронной сети на Java актуально в свете быстрого развития технологий и роста количества данных, которые нужно обрабатывать. Благодаря своей гибкости и возможности интеграции с различными системами, нейронные сети на Java становятся все более популярными для разработки приложений и систем.

Целью работы является разработка нейронной сети на Java для задачи распознавания образа.

Информационная база для данной те включает в себя литературу [1, 2, 3] по теории нейронных сетей, а также официальную документацию и примеры кода на языке Java [3].

Для реализации и более глубокого погружения были выбраны:

- архитектура: перцептрон – со свойствами: простота, быстрое обучение, хорошо подходит для классификации, легко расширяем;
- алгоритм обучения: метод обратного распространения ошибки, его преимущество в том, что он может обучить все слои нейронной сети, и его легко просчитать локально.

Перцептрон — это вид нейронной сети, который состоит из одного или нескольких слоев нейронов. Хотя перцептроны являются простыми моделями нейронных сетей, они играют важную роль в основах глубокого обучения и статистического обучения. Они являются строительными блоками для более сложных моделей и служат важным инструментом для обработки и классификации данных.

Для создания нейронной сети будем обрабатывать данные определённым алгоритмом, который включает в себя три важных этапа: 1) предобработка изображений; 2) обучение нейросети; 3) распознавание образа.

Предобработка изображений: Перед тем, как начать обучение нейронной сети, нужен набор данных. С помощью этих данных созданная нейросеть будет обучаться и распознавать рукописные цифры. Для успешного обучения необходимо использовать объём данных колоссального размера, поэтому было принято решение использовать уже готовый набор данных MNIST.

Образцы из набора были нормализованы, прошли сглаживание и приведены к серому полутоновому изображению размером 28x28 пикселей.

Обучение нейросети: Начинаем обучение разработанной нейронной сети с указания ссылки на библиотеку в коде и запускаем код (рисунок 1):

```

int samples = 60000;
BufferedImage[] images = new BufferedImage[samples];
int[] digits = new int[samples];
File[] imagesFiles = new File( pathname: "C:\\Users\\мипа\\Desktop\\train").listFiles();
for (int i = 0; i < samples; i++) {
    images[i] = ImageIO.read(imagesFiles[i]);
    digits[i] = Integer.parseInt( s: imagesFiles[i].getName().charAt(10) + "");
}

```

Рис. 1 – Код

Подаём цифры нейросети блоками по 100 штук и указываем количество эпох – 1000, с этими переменными она обучается на «среднем» ПК примерно 30 мин.

Распознавание образа: Нейрон – это «вещь, которая содержит число». В частности, число от 0.0 до 1.0. Нейроны могут быть активными и неактивными. А нейронные сети представляют собой набор нейронов, соединенных вместе.

Это число внутри нейрона называется «активацией» этого нейрона, и каждый нейрон загорается, когда его активация является большим числом.

Вся информация, проходящая через нейронную сеть, хранится в этих нейронах. Таким образом, нужно представить входы и выходы сети в терминах этих значений нейронов от 0.0 до 1.0 (рисунок 2).

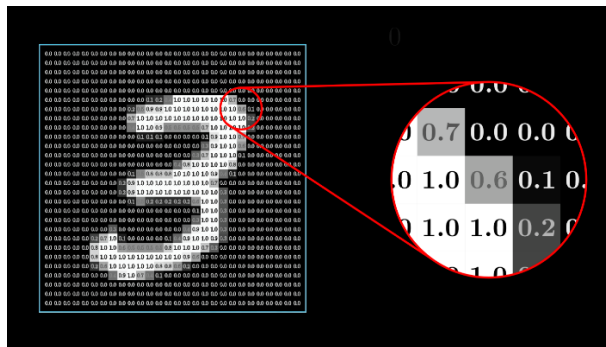


Рис. 2 – Значения пикселей в исходном изображении

Все цифровые изображения имеют $28 \times 28 = 784$ пиксели. Чтобы представить это в сети, создадим слой из 784 нейронов, где каждый нейрон соответствует определенному пикселю.

Когда хотим передать в сеть изображение, устанавливаем активацию каждого входного нейрона на яркость соответствующего пикселя. Последний слой сети будет состоять из 10 нейронов, каждый из которых представляет одну из возможных цифр. Активация в этих нейронах, опять же некоторое число от 0.0 до 1.0, будет отражать, насколько система считает, что изображение соответствует данной цифре (рисунок 3).

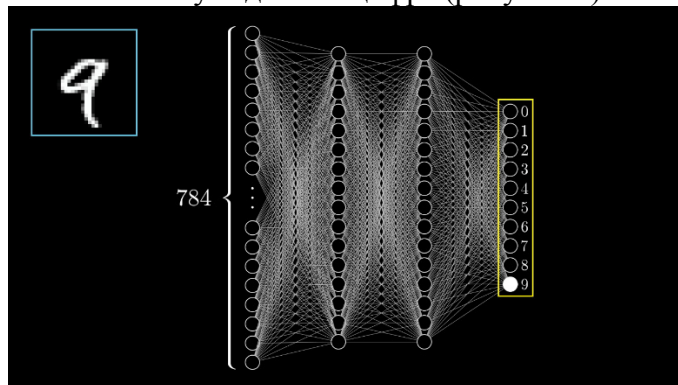


Рис. 3 – Пример нейросети

Мы не можем уместить все 784 нейрона на диаграмме, поэтому видите только первый и последний нейроны, которые соответствуют первым пикселям первой строки и последним пикселям последней строки изображения. Многие нейроны, которые вы не видите, активны.

Между входным и выходным слоями также будут некоторые слои, называемые «скрытыми слоями». В этой сети у нас есть 2 скрытых слоя, каждый из которых имеет 16 нейронов, что является своего рода произвольным выбором. 16 было просто хорошим числом, чтобы поместиться на экране. На практике есть много возможностей для экспериментов с конкретной структурой. В конечном варианте остановились на 5 слоях по 784, 512, 128, 32 и 10 нейронов соответственно.

Каждый нейрон из одного слоя соединен с каждым нейроном следующего небольшой линией. Это предназначено для того, чтобы показать, как активация каждого нейрона в одном слое, небольшого числа внутри него, оказывает некоторое влияние на активацию каждого нейрона в следующем слое.

Однако не все эти соединения одинаковы. Некоторые из них будут сильнее других.

Присвоим вес каждой из связей между нашим нейроном и нейронами из первого слоя. Эти веса - всего лишь цифры (рисунок 4).

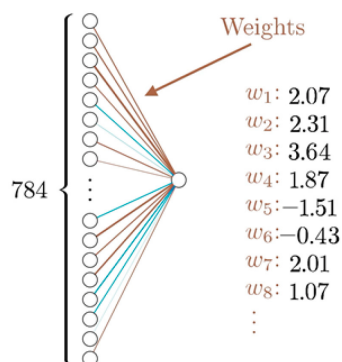


Рис.4 – Веса нейронов

Каждый вес является показателем того, как его нейрон в первом слое коррелирует с этим новым нейроном во втором слое. Если нейрон в первом слое включен, то положительный вес предполагает, что нейрон во втором слое также должен быть включен, а отрицательный вес предполагает, что нейрон во втором слое должен быть выключен.

Итак, чтобы вычислить значение этого нейрона второго уровня, берём все активации от нейронов первого уровня и вычисляем их взвешенную сумму.

$$\omega_1 a_1 + \omega_2 a_2 + \omega_3 a_3 + \omega_4 a_4 + \dots + \omega_n a_n,$$

где ω – вес связи между нейронами; a – значение нейрона.

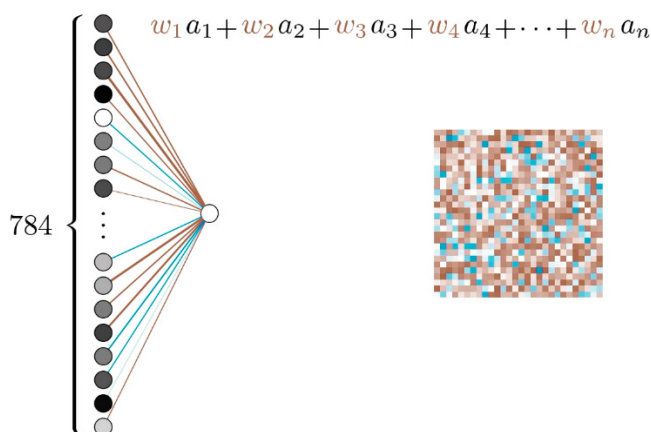


Рис. 5 – Сеть весов

Каждый вес связан с одним из 784 входных пикселей (рисунок 5). Расположение весов в этой сетке размером 28x28 делает четкими корреляции между входным изображением и активацией на выходе. Используем синие пиксели для обозначения отрицательного веса и коричневые пиксели для обозначения положительного веса, причем яркость этого пикселя является некоторым отображением значения веса.

Что, если установим веса, связанные почти со всеми пикселями, равными 0, за исключением некоторых положительных весов, связанных с этими пикселями в области, где хотим обнаружить ребро? При таких весах нейрон во втором слое будет более активирован, когда пиксели в этой области будут более активированы. Тогда получение взвешенной суммы всех значений пикселей на самом деле просто сводится к суммированию значений пикселей в этой области, которая нас интересует.

Результатом взвешенной суммы, подобной этой, может быть любое число, но для этой сети хотим, чтобы активациями были значения от 0 до 1. Поэтому обычно эту взвешенную сумму вводим в какую-нибудь функцию, которая сжимает строку действительных чисел в диапазоне от 0 до 1. Нет никаких ограничений на то, насколько большой или маленькой может быть взвешенная сумма. Но новое значение нейрона должно быть между 0 и 1, поэтому нужно каким-то образом уменьшить диапазон возможных выходных данных до нужного размера. Одна распространенная функция, которая делает это, называется “сигмовидной” функцией, также известной как логистическая кривая. Очень отрицательные входные данные в конечном итоге близки к 0, очень положительные входные данные в конечном итоге близки к 1, и они неуклонно увеличиваются в районе 0. Таким образом, активация нейрона здесь, по сути, будет показателем того, насколько положительна взвешенная сумма.

В случае, когда необходимо чтобы какое-то смещение было неактивным, добавляем некоторое число, например «-10» к взвешенной сумме, прежде чем вводим его к сигмовидной функции σ , которая сжимает всё в диапазоне от 0 до 1. Это дополнительное число «-10» называется смещением (от англ. Bias).

$$\sigma(\omega_1 a_1 + \omega_2 a_2 + \omega_3 a_3 + \omega_4 a_4 + \dots + \omega_n a_n - 10)$$

Таким образом, веса говорят, какой пиксельный паттерн улавливает этот нейрон во втором слое, а смещение говорит, насколько большой должна быть эта взвешенная сумма, прежде чем нейрон станет значимо активным.

И это всего лишь один нейрон! Каждый второй нейрон во втором слое также будет иметь взвешенные связи со всеми 784 нейронами из первого слоя. У каждого нейрона также есть некоторое смещение, какое-то другое число, которое нужно добавить к взвешенной сумме, прежде чем сжать ее сигмовидной функцией. С этим скрытым слоем из 16 нейронов получается 784×16 весов и 16 смещений. И всё это – всего лишь соединение от первого слоя ко второму. Связи между другими слоями также имеют множество весов и смещений. В целом, эта сеть имеет: $(784 \times 16 + 16 \times 16 + 16 \times 10) + (16 + 16 + 10) = 13\,002$ весов и смещений.

Когда говорим об обучении, подразумеваем, что компьютер должен найти оптимальную настройку для всех этих множества чисел, которая позволит решить поставленную задачу. Для этого пишем код, где веса заполняются случайными числами. Здесь берутся значения входных нейронов и рассчитываются выходные нейроны. Далее нейросеть уже обучается, тем самым обратным распространением ошибки.

Тестирование проводилось в той же среде разработки IntelliJ IDEA с использованием обученной модели нейронной сети.

Было определено, что нейросеть определяет цифру правильно при обучении с точностью 93,59%. Нейросеть быстро обучается и довольно хорошо может определить цифры из тестового набора.

При уменьшении объёма обучения нейросеть очень быстро пришла к 100 процентам угадывания, но при этом ошибка всё ещё не понизилась на этот момент до конца, и она продолжила медленно понижаться, в таком случае говорят, что нейросеть переобучилась, то есть она обучилась слишком сильно и теперь она просто наизусть помнит все картинки вместо того, чтобы запоминать какие-то общие закономерности.

В итоге нейросеть способна определить, где какие цифры даже на маленькой выборке данных, но при этом сильнее «сомневается» (вероятность ниже).

Список литературы

1. *Анисимов Б.В.* Распознавание и цифровая обработка изображений / Б. В. Анисимов, В. Д. Курганов, В. К. Злобин. - М.: Высшая школа, 2015. - 295 с.
2. *Lecun Y.* Gradient-based learning applied to document recognition / L. Bottou, Y. Bengio Y, P. Haffner P. // Proceedings of the IEEE Nov. - 2014.- Vol. 86. – № 11. - pp. 2278–2324.
3. *Sadykhov R.* New training algorithm of neural network «Neokognitron» for a recognition of hand-written symbols / R. Sadykhov, M. Vatin. // Pattern Recognition and Image Processing. – 2016. – pp. 203-212.

2.3.1.

А.В. Волков канд. техн. наук, А.В. Марченко, Е.М. Мигачева

Национальный исследовательский
Мордовский государственный Университет им. Н. П. Огарёва,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
elsoldador@rambler.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОТРУДНИКОВ
НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В данной статье исследовано влияние работоспособности сотрудников администрации Плодопитомнического с.п. Рузаевского муниципального района Республики Мордовия на качество и безопасность обслуживания информационных систем. В результате исследования для данной организации была проведена методика регулярной оценки работоспособности, применен однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ, которые позволили более глубоко исследовать взаимосвязи между переменными факторами, влияющими на работоспособность и обеспечение информационной безопасности в организации при обслуживании информационных систем.

Ключевые слова: *работоспособность, информационная безопасность, информационные системы, анализ.*

Введение. В современном динамичном мире эффективность работы организации и обеспечение ее информационной безопасности зависит от множества факторов, включая качество обслуживания, уровень работоспособности сотрудников и безопасность информационных систем. Однако понимание того, какие именно факторы оказывают наибольшее влияние на эти аспекты, остается важным вопросом для многих организаций.

Целью данной статьи является выявление и анализ связи между качеством обслуживания и уровнем работоспособности, а также на выявлении взаимосвязи между работоспособностью сотрудников и информационной безопасностью при обслуживании ИС.

Результаты анализа помогут организации лучше понять, как работоспособность влияет на качество обслуживания и как качество обслуживания связано с информационной безопасностью. Какие меры могут быть предприняты для улучшения безопасности в зависимости от уровня работоспособности.

Двухфакторный дисперсионный анализ. По результатам исследования предыдущей статьи [2] с помощью корреляционного и регрессионного анализа было выявлено, что сотрудники обслуживают информационные системы (далее ИС) не в полном объеме, а также при ряде определенных случаев работники не в полной мере смогут обслужить жителей Плодопитомнического с. п. Также были представлены результаты регрессионного анализа, результаты исследования показали, что только 32,92 % работников могут полностью обслужить ИС.

Для выявления факторов влияющих на работоспособность сотрудников был проведен статистический анализ с помощью двухфакторного дисперсионный анализа [1].

Результаты исследования выявили какой фактор в наибольшей степени оказывает влияние на работоспособность сотрудников администрации: совокупность физических и психологических факторов или профессиональные факторы.

В ходе двухфакторного дисперсионного анализа были достигнуты и проанализированы следующие результаты:

- значение r для физического и психологического фактора составило 1. Это не является статистически значимым при уровне альфа 0,05;

- значение p для воздействия профессионального фактора составил 0,068655. Это не является статистически значимым при уровне альфа 0,05;

- значение p для взаимодействия между физическими и психологическими особенностями и профессиональной составило 0,0228326. Это статистически значимо при уровне альфа 0,05.

Так же среднее значение влияния факторов у каждого сотрудника равен 0,5, это показывает, что совокупность профессиональных и психофизических факторов влияет в равной степени на работоспособность организации.

Таким образом, результаты показывают, что на работоспособность и качественное обслуживание ИС в администрации Плодопитомнического сельского поселения влияют оба фактора.

Оценка работоспособности сотрудников. Для оценки уровня работоспособности каждого сотрудника использовалась «Методика регулярной оценки», которая включала обратную связь от руководителя, оценку достижений, неудач и развитие сотрудников. Методика проводилась систематически раз в неделю на протяжении двух месяцев. Опрос содержал вопросы учитывающие основные факторы, влияющие на работоспособность и продуктивность сотрудников [3]:

1) профессиональные факторы

- знания, умения и навыки;
- профподготовленность, опыт;
- отношения в коллективе;
- условия деятельности.

2) физические и психологические факторы

- направленность (мотивы, интересы, установки, способности);
- воля и характер;
- переутомление, монотонность, бдительность, режим питания.

На рисунке 1 приведена диаграмма показателей работоспособности сотрудников.



Рис. 1 - Диаграмма показателей работоспособности сотрудников

По результатам данной оценки видно, что «высокая» работоспособность у Главы и Ведущего специалиста, «средняя» - Специалиста, Заместителя главы, Военно-учетного работника, «низкая» у второго военно-учетного работника.

Однофакторный дисперсионный анализ. Для исследования связи между работоспособностью сотрудников и информационной безопасностью обслуживания ИС использовался однофакторный дисперсионный анализ [1].

Процесс исследования включал определение показателей, которые отражают работоспособность сотрудников и метрик, связанных с информационной безопасностью. В качестве основного фактора были взяты показатели случаев допущенных ошибок в области

информационной безопасности при работе с информационными системами. Данные показатели были разделены на группы на основе работоспособности каждого сотрудника (например, группа с высокой, средней и низкой работоспособностью).

Однофакторный дисперсионный анализ позволил определить, есть ли статистическая взаимосвязь между группами работоспособности сотрудников и безопасностью обслуживания ИС.

Проверка соответствия модели проводилась по следующим показателям:

Статистика F-теста – это любой статистический тест, в котором тестовая статистика имеет F-распределение при нулевой гипотезе.

Критическое значение F – это статистический критерий, тестовая статистика которого при выполнении нулевой гипотезы имеет распределение Фишера (F-распределение).

В данном случае статистика F-теста равна 1,25, а критическое значение F равно 9,55209. Поскольку статистика F-теста меньше критического значения F, нет достаточных доказательств, чтобы отклонить нулевую гипотезу о том, что существует связь между работоспособностью сотрудников и безопасностью обслуживания ИС.

Это означает, что нет достаточных доказательств того, что уровень работоспособности не влияет на информационную безопасность при работе с информационными системами.

Также можно рассмотреть p-значение, которое подтверждает выше обоснованные выводы. Число p-значение равно 0,402844 что больше, чем альфа-уровень 0,05. Это означает, что нет достаточных доказательств, чтобы отвергнуть нулевую гипотезу о том, что связь между работоспособностью сотрудников и безопасностью обслуживания ИС существует.

Заключение. В данной статье был представлен статистический анализ влияния работоспособности сотрудников на качество и безопасность обслуживания ИС, с помощью однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа. Результаты двухфакторного анализа позволили выявить, что на работоспособность и качественное обслуживание ИС в администрации Плодопитомнического сельского поселения влияют профессиональный и психофизиологические факторы. Результаты исследования с помощью методики регулярной оценки сотрудников позволили выявить уровень работоспособности каждого сотрудника и его влияние на качественное обслуживание ИС. Результаты исследования однофакторного анализа позволили рассмотреть, как уровень работоспособности каждого сотрудника влияет на информационную безопасность обслуживания ИС. Полученные результаты показали, что связь между работоспособностью сотрудников и информационной безопасностью существует. Это значит, что работоспособность и определяющие ее факторы, влияют и информационную безопасность организации при обслуживании информационных систем.

Список литературы

1. Буре В.М. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник / В. М. Буре, Е. М. Парилина. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 416 с. — ISBN 978-5-8114-1508-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211250> (дата обращения: 18.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Волков А.В. Исследование проблем в области аудита информационных систем / Волков А. В., Заварцева Е. В., Марченко А. В. // Научный вестник Поволжья. 2023. № 6. С. 141-144
3. Лемешевская Е.П. Основы физиологии труда. Влияние особенностей трудовой деятельности на организм человека : учебное пособие / Е. П. Лемешевская. — Иркутск : ИГМУ, 2022. — 42 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/343475> (дата обращения: 18.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2.3.1.

¹А.В. Ганичева канд. физ.-мат. наук, ²А.В. Ганичев^{1,2}Тверская государственная сельскохозяйственная академия,
кафедра физико-математических дисциплин и информационных технологий,³Тверской государственный технический университет,
кафедра информатики и прикладной математики,
Тверь, alexej.ganichev@yandex.ru**ГРАММАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА**

В статье разработан метод описания движения автоматических устройств – роботов. Для этого используется аппарат теории формальных грамматик. Показано, что изменение положения робота из начального положения в конечное можно представить цепочкой языка КС-грамматики. Введены нетерминальные символы и разработаны правила вывода грамматики.

Ключевые слова: двуногий робот, формальная грамматика, правила, символ, нетерминалы, углы поворота, цепочка вывода.

Одной из важнейших задач искусственного интеллекта является разработка методов описания движения мобильных роботов.

Проблема разработки методов описания движения робота является важной и актуальной [1]. При решении данной проблемы решаются многие, разнообразные задачи, например, описание движения робота, оптимизация параметров шагательного цикла робота [2] и т.д.

Одним из методов описания движения робота является применение контекстно-свободной грамматики (КС-грамматики) [3] для генетического алгоритма.

Целью настоящей работы является разработка модели движения из семи кинематических звеньев и ее формализация с помощью КС-грамматики.

Рассмотрим метод структурного распознавания движущихся объектов, основанный на применении языка формальных грамматик. Для описания перемещения частей объекта рассматривается изменение углов. Моделирование изменения углов осуществляется с помощью функциональных нетерминальных символов управления и соответствующих меток терминальных цепочек.

КС-грамматики являются удобным и эффективным средством для разработки и анализа алгоритмов, создания универсального программного кода (автокода), не привязанного к конкретным системам программирования.

Сущность разработанного метода рассмотрим на конкретном примере.

Для формирования модели движения ног шагового двуногого робота рассмотрим упрощенную модель из семи кинематических звеньев (рис. 1).

Введем систему координат OXY . В начальный момент времени точка O находится в центре опорных стоп робота, направление оси Y противоположно стопе, а направление движения вперед связано с осью X .

Изобразим отрезки $OA, AB, BC, DC, CD, CE, EG$. Они кодируются следующим образом: отрезок $OA = u...u = u^{11}$ (11 раз), $AB = a...a = a^{12}$ (12 раз), $BC = b...b = b^{14}$ (14 раз), $CE = b...b = b^{14}$ (14 раз), т.к. $CE=BC$, $EF = a...a = a^{12}$ (12 раз), т.к. $AB=EL$, $LG = u...u = u^{11}$ (11 раз), т.к. $OA=LG$. Здесь a, b, c – терминалы.

Введем в рассмотрение нетерминальные символы $F_0, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$. Это символы управления, будем называть «шарнирными». На рисунке данные символы изображены кружками. Из рис. 1 следует, что отрезки, имеющие начальные символы $F_i (i = \overline{0,6})$

поворачиваются на некоторый угол α_{ij} . Угол рассматривается между вертикальной осью и данным отрезком.

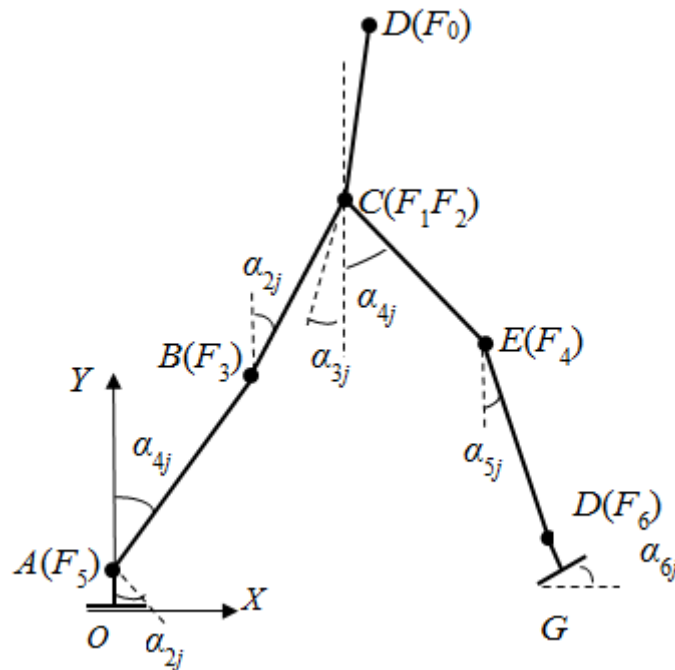


Рис. 1 - Движение ног робота

Для обозначения значения угла поворота используем для символа F_i верхний индекс, то есть будем использовать символ $F_i^{\alpha_{ij}}$. Индекс α_{ij} показывает угол поворота α_{ij} при шаге с номером $j = \overline{0, m}$ движущегося робота (для заданного значения m).

При описании движения робота будем использовать последовательность изображений рисунка 1 при разных значениях j ($j = \overline{0, m}$).

В конечной цепочке вывода нет управляющих символов, содержащих информацию об углах поворота. В данной ситуации с целью сохранения в цепочке индикатора поворотов после каждой терминальной цепочки в скобках будем записывать соответствующий угол. Процесс перехода робота из начального положения в конечное можно описать цепочкой языка формальной КС-грамматики, у которой левые части всех продукций являются одиночными с начальным символом I , нетерминалами I_j ($j = \overline{1, m}$), F_j ($j = \overline{0, 6}$) и правилами:

$$\begin{aligned} &1) I_j \rightarrow F_0^{\alpha_{3j}}; 2) F_0^{\alpha_{3j}} \rightarrow F_1^{\alpha_{2j}} c^{14}(\alpha_{3j}) F_2^{\alpha_{4j}}; 3) F_1^{\alpha_{2j}} \rightarrow F_3^{\alpha_{1j}} b^{13}(\alpha_{2j}); \\ &4) F_2^{\alpha_{4j}} \rightarrow b^{13}(\alpha_{4j}) F_4^{\alpha_{5j}}; 5) F_3^{\alpha_{1j}} \rightarrow F_5^{\alpha_{0j}} a^{12}(\alpha_{1j}); 6) F_4^{\alpha_{5j}} \rightarrow a^{12}(\alpha_{5j}) F_6^{\alpha_{6j}}; 7) F_5^{\alpha_{0j}} \rightarrow u^{11}(\alpha_{0j}); \\ &8) F_6^{\alpha_{6j}} (v)_{\alpha_{41}} \rightarrow u^{11}(\alpha_{6j}); 9) I \rightarrow I_1 I_2 \dots I_m. \end{aligned}$$

Вывод цепочки ω , соответствующей ситуации на рис. 1, которая повторяется 2 раза при $j = 1, 2$ будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} &F_0^{\alpha_{31}}, F_1^{\alpha_{21}} c^{14}(\alpha_{31}) F_2^{\alpha_{41}}, F_3^{\alpha_{11}} b^{13}(\alpha_{21}) c^{14}(\alpha_{31}) F_2^{\alpha_{41}}, \\ &F_3^{\alpha_{11}} b^{13}(\alpha_{21}) c^{14}(\alpha_{31}) b^{13}(\alpha_{41}) F_4^{\alpha_{51}}, F_5^{\alpha_{01}} a^{12}(\alpha_{11}) b^{13}(\alpha_{21}) c^{14}(\alpha_{31}) b^{13}(\alpha_{41}) a^{12}(\alpha_{51}) F_6^{\alpha_{61}}, \\ &\omega_1 = u^{11}(\alpha_{01}) a^{12}(\alpha_{11}) b^{13}(\alpha_{21}) c^{14}(\alpha_{31}) b^{13}(\alpha_{41}) a^{12}(\alpha_{51}) u^{11}(\alpha_{61}), \omega = \omega_1 \omega_2, \end{aligned}$$

где цепочка ω_2 получается из ω_1 при $j=2$.

Рассмотрен случай при фиксированных длинах фрагментов ног. Построенную грамматику можно обобщить для переменных длин ног. Например, если фрагмент BC имеет переменную длину, то с помощью терминала « b » фрагмент длины l можно промоделировать цепочкой l ,

порождаемой автоматной грамматикой: $R_0 \rightarrow bR$, $R \rightarrow bR$, $R \rightarrow b$, $R_0 \rightarrow b$.

При описании более обобщенной картины движущегося робота, у которого в движении участвуют руки и голова, к правилам построенной для описания движения ног робота грамматике добавляются аналогичные правила, моделирующие движение рук и головы.

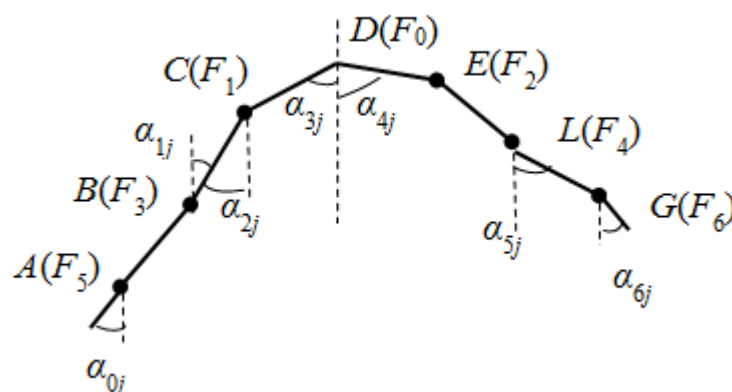


Рис. 2 – Движение рук робота

Так, движение рук представлено на рис. 2 и в данном случае аналогичными грамматикой и правилами, как при описании движения ног.

При движении голова в общем случае может поворачиваться влево, вправо, отклоняться вперед или назад. Для плоскостного варианта, который рассмотрен в данной работе, опишем движение головы вперед-назад (рис. 3) и построим соответствующую грамматiku:

$$1) K_j \rightarrow F_o; 2) F_o \rightarrow F_1^{\gamma_{1j}} v^6 F_2^{\gamma_{2j}}; 3) F_1^{\gamma_{1j}} \rightarrow w^6(\gamma_{1j}); 4) F_2^{\gamma_{2j}} \rightarrow w^6(\gamma_{2j}).$$

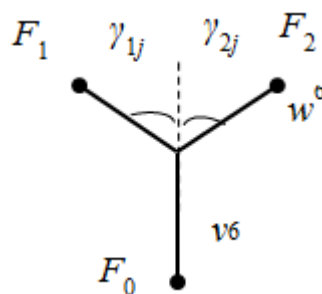


Рис. 3 - Движение головы робота

Пусть J_j начальный символ грамматик, описывающей движение рук. Тогда совместное движение ног, рук и головы описывается грамматикой с общим первым правилом

$$Q \rightarrow I_1 J_1 K_1 I_2 J_2 K_2 \dots I_m J_m K_m.$$

Разработанный в данной статье метод может найти большое практическое применение при разработке и оптимизации программ движения роботов. Он может использоваться в таких областях применения робототехники, как: оборонная промышленность, автомобильное движение, сельскохозяйственная техника, охранные системы, аварийно-спасательные работы, роботы-манипуляторы, которые перевозят грузы на складе, и многое другое.

Список литературы

1. Алексеев Р.А., Мирошник И.В. Алгоритм управления движением шагающего робота // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2005. – № 19. – С. 67-75.
2. Васильянов Г.С., Лавров А.А., Лупин А.В., Малышев И.А. Оптимизация параметров шагательного цикла робота на основе регрессионной модели // Вестник кибернетики. - 2022. - № 4 (48). - С. 14–22. DOI 10.34822/1999-7604-2022-4-14-22.
3. Иванов С.В. Вывод грамматик с использованием генетических алгоритмов для описания движения робота // Проблемы современной науки и образования. – 2014. - №5. С. 11 – 13.

2.3.1.

И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, Ю.Н. Кондрашов д-р техн. наук, Д.А. Макаров

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

**ИЗУЧЕНИЕ БИБЛИОТЕК ЯЗЫКА PYTHON
ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СРЕДЕ JUPYTERLAB**

В статье рассмотрены задачи дистанционного обучения при проведении лабораторных и практических занятий по использованию языка программирования Python для машинного обучения и обработки полученных результатов. Предложено решение для обеспечения проведения дистанционного обучения с использованием веб-приложения и программных модулей для машинного обучения, установленных на сервере. Это позволяет проводить занятия без дополнительных программных средств, кроме стандартного веб-браузера, на стороне клиента, а также с использовать специализированное оборудование на сервере.

Ключевые слова: дистанционное обучение, лабораторный практикум, проблемы дистанционного обучения, Python, Project Jupyter, машинное обучение.

Для использования машинного обучения при анализе данных необходимо наличие различного программного обеспечения (ПО) и специфических вычислительных средств, таких как нейропроцессоры или видеоадаптеры с CUDA-ядрами. Вычислительные системы для анализа данных с помощью машинного обучения должны иметь большой объем оперативной и постоянной памяти.

Для специалистов, которые ежедневно решают задачи по анализу данных наличие набора необходимого оборудования и ПО является обязательным. Но при обучении студентов методам анализа данных с использованием машинного обучения, требовать от учащихся наличия необходимой аппаратно-программной конфигурации невозможно. Использование лабораторных классов с соответствующими персональными компьютерами (ПК) решает проблему единой конфигурации, но делает невозможным дистанционное обучение, если отсутствует возможность удаленного подключения студентов к ПК в лабораторных классах. Кроме того, в лабораторном классе каждому студенту приходится предоставлять отдельный ПК с дорогостоящей аппаратной конфигурацией для решения достаточно простых учебных задач, т.е. ресурсы этого ПК при использовании одним человеком за сеанс будут загружены не полностью.

Аналогично дистанционному обучению анализу данных [1] для дистанционного изучения библиотек языка Python для машинного обучения и проведения лабораторных и практических работ по этой тематике может успешно применяться унифицированная клиент-серверная среда с веб-интерфейсом на основе JupyterLab. Это позволяет размещать все необходимое ПО на сервере, а также сформировать единую аппаратную конфигурацию, более производительную, чем ПК, и с более рациональным распределением ресурсов между пользователями. Использование сервера или кластера серверов позволит обеспечить высокую пиковую производительность и минимальные простои оборудования.

Что касается прикладных программных компонентов на языке Python для машинного обучения, то для этого создано множество библиотек, применение которых стало отраслевым стандартом для решения различных задач. Все эти библиотеки можно установить и использовать в JupyterLab, что облегчает их изучение. Рассмотрим основные из них.

Scikit-learn [2] – популярная библиотека для машинного обучения с открытым исходным кодом для Python. Построена на основе NumPy, SciPy, Matplotlib и pandas. Подходит для новичков или для разработки небольших проектов, не связанных с нейронными сетями и

обработкой больших объемов данных. Содержит традиционные алгоритмы машинного обучения, используемые для кластеризации, классификации, регрессии и т.д. Имеет относительно небольшое количество настроек, что позволяет сосредоточиться на использовании алгоритмов. Не имеет встроенной поддержки вычислений на графическом процессоре и глубокого обучения.

Scikit-learn годится для начинающих и случаев, когда нужна модель для статистического анализа, прогнозирования, классификации или кластеризации. Scikit-learn хорошо работает с относительно небольшими наборами данных.

TensorFlow [3] – библиотека машинного обучения с открытым исходным кодом, которая специализируется на глубоком обучении и нейронных сетях. TensorFlow поддерживает несколько языков программирования, таких как Python, C/C++, Java, Javascript, Go и др. Лучше всего подходит для глубокого обучения с аппаратным ускорением с помощью графических и тензорных процессоров или на кластере компьютеров, что scikit-learn не поддерживает. Является низкоуровневой библиотекой глубокого обучения, обеспечивающей работу высокоуровневых API, таких как Keras. Является одной из двух популярных низкоуровневых библиотек наряду с PyTorch.

TensorFlow следует выбирать, когда требуются широкая функциональность и высокая производительность при работе с большими наборами данных, но для её использования следует обладать определенным багажом знаний и опытом.

PyTorch [4] – это программная библиотека глубокого обучения для Python, C++ и Julia. PyTorch в основном используется для построения и глубокого обучения нейронных сетей с возможностью создания собственных моделей и алгоритмов обучения. Подходит для разработки приложений, решающих ресурсоёмкие задачи, такие как обработка естественного языка, компьютерное зрение и т.д. Позволяет использовать аппаратное ускорение графического процессора. Обладает высокой производительностью. Имеет больше возможностей для отладки и тестирования, чем TensorFlow.

PyTorch выбирают опытные разработчики в области глубокого обучения, если основным языком разработки является Python, планируется создание собственной модели, и потребуются возможности для отладки.

Keras [5] – высокоуровневая библиотека глубокого обучения, создающая упрощённые абстракции для многих низкоуровневых функций TensorFlow. Это позволяет Keras уменьшить сложность и повысить наглядность кода, несмотря на то, что данная библиотека является библиотекой для глубокого обучения. Благодаря этому Keras хорошо подходит новичкам, делающим первые шаги в глубоком обучении с использованием многослойных нейронных сетей и больших объемов данных. Keras поддерживает языки Python и R. Поскольку Keras является высокоуровневым интерфейсом для TensorFlow, то он обладает несколько меньшей производительностью, чем TensorFlow, что накладывает ограничения на использование Keras.

Keras следует использовать начинающим, чтобы разобраться в глубоком обучении и применять API высокого уровня для доступа к возможностям TensorFlow. Однако, более низкая производительность Keras по сравнению с TensorFlow позволяет использовать Keras для разработки алгоритмов и моделей глубокого обучения только для работы с относительно небольшими наборами данных.

Набор библиотек для машинного обучения в составе scikit-learn, PyTorch, TensorFlow и Keras может быть установлен в веб-лабораторию на основе JupyterLab, что позволит изучать одновременно все эти распространенные инструменты для машинного обучения, предлагаемые ими алгоритмы и подходы, а также с создавать на их основе собственные решения и сравнивать их в единой тестовой среде, которая позволит точно оценить преимущества и недостатки того или иного решения без необходимости поправок на отличия тестовых конфигураций.

Пользоваться данным набором ПО и веб-средой разработки можно с любого устройства без установки на стороне клиента при наличии доступа в Интернет. Можно также установить локально весь набор ПО, но потребуется ПК с графическим ускорителем для использования аппаратного ускорения. Все составляющие среды разработки и библиотеки для машинного обучения являются ПО с открытым исходным кодом.

Развертывание средств для машинного обучения на сервере, в отличие от клиентского устройства, позволяет обеспечить полнофункциональный доступ сразу ко всем перечисленным библиотекам, и дать учащимся возможность последовательного их изучения, начиная с простых учебных задач и восходя к более сложным исследовательским задачам разработки и обучения своих моделей, а также обработки массивов данных.

Таким образом, изучение библиотек языка Python для машинного обучения должно включать в себя изучение библиотек scikit-learn, PyTorch, TensorFlow и Keras, а использование JupyterLab позволяет делать это с любого клиентского устройства.

С помощью веб-среды для машинного обучения на базе JupyterLab может решаться множество учебных и практических задач по машинному обучению на языке Python при очном, дистанционном и гибридном обучении, а также могут быть созданы веб-приложения для анализа данных методами машинного обучения, которые позволят учащимся и исследователям данных использовать нейронные сети, собственные модели и алгоритмы для обработки данных.

Список литературы

1. Воробьева В.В., Гинзбург И.Б., Кондрашов Ю.Н. Изучение библиотек языка Python для анализа данных в среде JupyterLab // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. №4. С. 66-68.
2. scikit-learn: machine learning in Python – scikit-learn 1.3.0 documentation [Электронный ресурс] URL: <https://scikit-learn.org/stable/> (дата обращения 27.07.2023).
3. Tensorflow [Электронный ресурс] URL: <https://www.tensorflow.org/?hl=ru> (дата обращения 27.07.2023).
4. PyTorch [Электронный ресурс] URL: <https://pytorch.org/> (дата обращения 27.07.2023).
5. Keras: Deep Learning for humans [Электронный ресурс] URL: <https://keras.io/> (дата обращения 27.07.2023).

2.3.1.

Е.В. Гусев канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
Кафедра 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем»,
ccg-gus@mail.ru

**АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОВЕРКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Целью работы является разработка алгоритмов оптимизации последовательности проверок сложных систем с ограниченным временем восстановления. При проведении практических расчетов на стадии проектирования сложных технических систем или в процессе эксплуатации часто требуется решать задачу определения оптимального порядка проведения проверки элементов системы на исправность или работоспособность в условиях ограниченного времени восстановления. При восстановлении сложной технической системы часто возникает задача обнаружения неисправного или отказавшего элемента в течение ограниченного времени. Поскольку надёжность элементов и продолжительность проведения их проверки неодинаковы, то вероятность выявления неисправного или отказавшего элемента в заданное время существенно зависит от выбранного порядка проверки элементов и узлов сложной технической системы.

Ключевые слова: *надёжность, время восстановления, интенсивность отказа, интенсивность восстановления, метод оптимизации.*

Высокая стоимость проектирования и испытаний сложных технических систем требует разработки методов и алгоритмов, позволяющих произвести оценку качества системы с учетом реальных условий эксплуатации до ее изготовления [1], [2]. Решение этой задачи приводит к построению сложных математических моделей, которые находят широкое практическое применение.

Основной характеристикой при оценке надежности восстанавливаемой технической системы является наработка на отказ T_0 . Эта характеристика в ряде случаев существенно отличается от математического ожидания времени работы до первого отказа T_1 — за счет эффекта замен, отказавших элементов.

Проанализируем учет эффекта восстановлений (замен) отказавших элементов сложных технических систем при оценке надежности. Рассмотрим последовательность замен одинаковых элементов в определенном месте восстанавливаемой технической системы. В этом случае общее время функционирования технической системы будет состоять из последовательности взаимно независимых одинаково распределенных случайных периодов времени безотказной работы элементов. Работа каждого элемента начинается с момента отказа предыдущего. Процесс называется процессом восстановления и характеризуется функцией восстановления (замен) $H(t)$ или интенсивностью восстановления. Функция восстановления связана с плотностью распределения времени безотказной работы элемента интегральным уравнением вида (1):

$$H(t) = G(t) + \int_0^t H(t - \tau) dG(\tau) \quad (1)$$

Практически при оценке надежности сложных технических систем аналитическими методами учесть эффект восстановлений (замен) отказавших элементов удастся без больших погрешностей только при условии, что поток восстановлений достаточно близок к пуассоновскому потоку. Исходными данными для моделирования являются количество элементов различных типов, входящих в состав оцениваемой технической системы, и законы распределения времени безотказной работы каждого элемента. Все элементы технической системы разбиваются на две группы:

- простые, состоящие из одного элемента;
- сложные, представляющие собой резервированную группу, состоящую из n основных и m резервных элементов.

В результате моделирования возможно оценить такие параметры технической системы как: коэффициент характера отказов на заданном промежутке времени; интенсивность потока восстановлений в любой момент времени; среднее число восстановлений на заданном промежутке времени; вероятность отсутствия отказов в течение заданного промежутка времени; момент времени, после которого устанавливается стационарный режим работы технической системы и рассмотренные выше характеристики стабилизируются.

Рассмотрим постановку задачи оптимизации последовательности проведения проверок сложной системы при условии ограниченного времени. Пусть имеется аппаратура, состоящая из N разнотипных элементов. Каждый элемент характеризуется определенной вероятностью выхода из строя p_i и временем его проверки τ_i . Время проверки i -го элемента – случайная величина с известным распределением $G(\tau_i)$. Предполагается, что появление отказов аппаратуры события независимые, независимыми событиями являются также проверки элементов. Каждый элемент проверяется только один раз [3], [4].

Требуется определить такой порядок проверки аппаратуры, который обеспечил бы наибольшую вероятность выявления неисправного элемента $P(T)$ в ограниченное время T . Сущность оптимизации проверки аппаратуры, состоящей из 8 элементов, иллюстрируется на рис.1, где приведены эпюры при произвольном порядке проверки (а) и при оптимальном порядке (б), максимизирующем вероятность обнаружения неисправного элемента за время T .

Рассмотрим случай, когда время проверки любого из N элементов подчиняется одному и тому же закону распределения $G_i(t)$. Тогда первым условием успешной проверки некоторого числа n элементов из N за время T будет:

$$\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n \leq T \quad (2)$$

$$\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_{n+1} > T, \quad (3)$$

где для проверки $(n+1)$ – го элемента требуется времени больше, чем T , следовательно, число элементов n – случайная величина, зависящая от T .

Учитывая независимость величин τ_i , на основании теории восстановления [5] можно записать выражение для вероятности того, что будет проверено k элементов:

$$P_n(n = k) = G^{(k)}(T) - G^{(k+1)}(T), \quad (4)$$

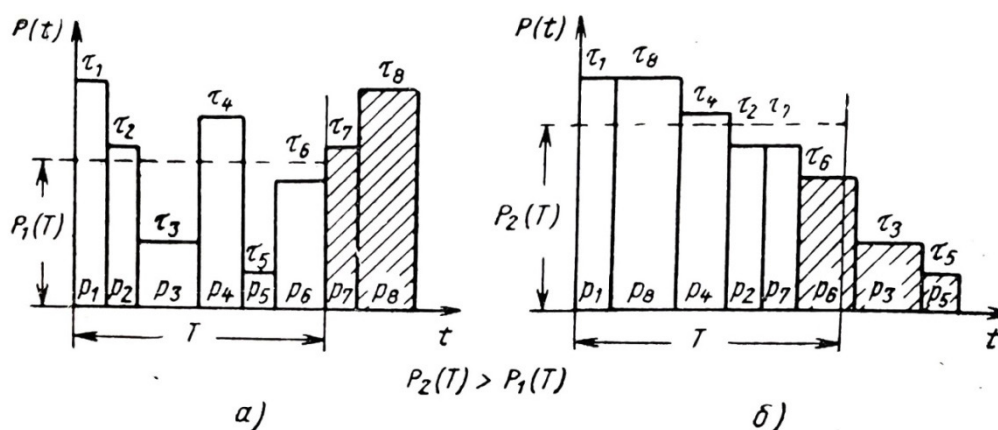


Рис. 1 – Эпюры вероятности выявления неисправного элемента в зависимости от порядка проверки аппаратуры

Рассмотрим второе условие [6], [7]. Допустим, что уже был выбран порядок проверки и проверено k элементов. Тогда вероятность обнаружения неисправного элемента $P_{\Sigma k}$ определяется следующим образом:

$$P_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k p_i, \quad (5)$$

где p_i – вероятность того, что аппаратура отказала по причине i -го элемента.

Совместное событие (с учетом первого и второго условия) определяется вероятностью $P(T)$ того, что отказавший элемент будет обнаружен за время

$$t \leq T. P(t < T) = \sum_{k=1}^N P_n(n = k) \sum_{i=1}^k p_i. \quad (6)$$

Учитывая (5) и изменяя порядок суммирования, получим

$$P(t < T) = \sum_{i=1}^N p_i \sum_{k=1}^N P_n(n = k) = \sum_{i=1}^N p_i G^{(i)}(T) \quad (7)$$

Следовательно, выражение (6) можно записать в виде

$$P(t < T) = \sum_{i=1}^N p_i G^{(i)}(T) \quad (8)$$

где, в свою очередь $P_n(n = N) = G^{(N)}(T)$

Выражение (8) справедливо, как уже было указано ранее, для выбранного порядка проверки. Необходимо найти такой порядок проверки, который максимизировал бы вероятность $P(T)$. Поскольку все элементы имеют одинаковое распределение времени проверки, то, очевидно, максимум величины $P(T)$ достигается в случае, когда проверка начинается с менее надежного элемента $p_i > p_j$.

Необходимо отметить, что указанный метод оптимизации целесообразно применять только при экспоненциальном законе распределения времени проверки. В остальных случаях предпочтительней альтернативные методы решения.

Заключение. Создание сложных технических систем требует решение целого ряда проблем, среди которых следует выделить разработку и обоснование принципов построения оптимальных структур эксплуатации сложной аппаратуры. В результате проведенного исследования разработаны аналитические алгоритмы по оптимизации последовательности проведения проверок сложных технических систем при ограниченном времени восстановления. Решение этой проблемы возможно лишь при разумном сочетании экспериментальных работ с широким применением вычислительной техники. Для разработки эффективных вычислительных алгоритмов необходимо дальнейшее совершенствование аналитических моделей и алгоритмов, использование последних результатов, полученных в теории случайных процессов.

Список литературы

1. *Золотов А.А.* Методика учета требований по надежности при выборе проектно-конструкторских решений силовых конструкций ракет-носителей / А. А. Золотов, В. В. Родченко, Е. В. Гусев // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. – 2023. – № 1-2. – С. 61-69. – EDN SDYTCK;
2. *Гусев Е.В.* Разработка математической модели оценки надежности аппаратуры летательного аппарата на основе метода статистического моделирования / Е. В. Гусев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 24-27. – EDN QRUSBP;
3. *Смит В.Л.*, Теория восстановления и смежные с ней процессы. «Математика», №3-5, 1961.
4. *Золотов А.А.* Методика выбора проектных параметров многоразовых ракет-носителей/ Золотов А.А., Родченко В.В., Гусев Е.В // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. – 2022. – № 8-9. – С. 63-69. – EDN ZMUOAB;
5. *Гусев Е.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619616 Российская Федерация. Программа расчета параметров системы технического обслуживания: № 2021618549: заявл. 02.06.2021: опубл. 15.06.2021 / Е. В. Гусев. – EDN RLPJAR.
6. *Беллман Р., Дрейфус С.*, Прикладные задачи динамического программирования. Пер. с англ. Под ред. А.А. Первозванского. Изд-во Наука 1961;
7. *Гусев Е.В.* Модель подтверждения надежности элементов и систем ракетно-космической техники при экспоненциальном законе наработки на отказ / Е. В. Гусев, Е. В. Шеметова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 7. – С. 29-33. – EDN WPTVFB.

2.3.1.

¹А.С. Дулесов д-р техн. наук, ²Н.В. Дулесова канд. эконом. наук, ¹Н.С. Федоренко

¹Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра цифровых технологий и дизайна,
Абакан,

²Хакасский технический институт – филиал СФУ,
кафедра электроэнергетики, машиностроение и автомобильный транспорт,
Абакан, nikolas@khsu.ru

ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭНТРОПИИ А. ХИНЧИНА В АНАЛИЗЕ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В работе предложен подход к анализу структурной надежности технических систем, базирующийся на теориях вероятностей и информации с учетом применения основополагающих методик К. Шеннона и А. Хинчина. Предлагаемый подход получил свое применение в качестве меры неопределенности информации (энтропии) для анализа структурной надежности распределительной электрической сети, когда требуется оценить её состояние, рассматривая различного рода события случайного характера. Предложенные в работе актуализированные и скорректированные под данную задачу основополагающие вычислительные процедуры, базируются на теоретических выкладках, представленных в работе А. Хинчина. Обоснована потребность в дополнительной разработке методов анализа надежности при проектировании и эксплуатации сетей, когда необходимо учесть разнообразие состояний элементов и выбрать эффективную структуру сети. Рассматривая важность измерения неопределенности информации в процессе анализа, подтверждается значимость вычисления энтропии состояний элементов и сети в целом. Понятийный аппарат вычисления энтропии включает в себя математическую процедуру, когда в качестве показателя надежности принята безотказность, а результатом обработки – вероятность безотказной работы и вероятность возникновения отказа элемента сети. Предлагаемые вычисления справедливы для рассмотрения как двух независимо функционирующих элемента сети, так и последовательно соединенных между собой, каждый элемент при этом может с определенной долей вероятности находиться в одном из двух состояний: работоспособное и неработоспособное. Для более полной картины восприятия предлагаемых решений даны примеры расчета.

Ключевые слова: электрическая сеть; неопределенность информации; энтропия; структурная надежность; анализ надежности.

Введение. В процессе эксплуатации электрических сетей, внимание уделяется анализу структурной надежности. Электрические сети (особенно высокого напряжения) высоконадежны, однако наличие в них большого числа связей осложняет задачу управления процессами передачи и распределения электроэнергии. Необходимость при этом контроля и сбора огромного количества данных требует дополнительного включения в процесс анализа современных методов и информационных технологий.

Одна из задач анализа структурной надежности – выбор эффективных схем, не исключая при этом оценку их вероятностных состояний по надежности. Согласно ГОСТ Р 51901.14–2007 (МЭК 61078:2006) в расчетах, рассматривая структуру, выделяют независимые элементы/блоки и вычисляются показатели безотказности. Такого рода задача востребована при проектировании, когда достижение цели связано с поиском или выбором эффективной архитектуры, соответствующей требованиям надежности. Анализ надежности, согласно

вышеупомянутому ГОСТ, предусматривает наличие положительных факторов и ограничений, накладываемых на возможности применения предлагаемых методов и не отрицая дальнейшей разработки новых, эффективных методов.

Важную роль в системном анализе занимает неопределенность информации – составной части теории информации, включающая в себя вероятностный подход (использования вероятностной меры) к измерению информации. При этом получатель информации обращает внимание на появление различного рода событий, которые не вполне достоверны и являются случайными. Вероятность является основополагающим показателем определения меры неопределенности, характеризующейся функцией от совокупности имеющихся значений вероятности. Важное значение совместного применения двух мер (вероятности и энтропии) было обосновано А. Хинчиным [1], указывающим на выросшее из практики понятие энтропии как меры неопределенности информации, непосредственно связанной с теорией вероятности. Он обобщил опыт применения энтропии для конечных схем, опираясь на работу К. Шеннона [2].

В процессе анализа надежности, энтропия является мерой непредсказуемого появления какого-либо события, например, отказ элемента системы. Если событие опознано и зафиксировано, то энтропия численно равна количеству информации на одно событие. Именно на этом условии далее построены математические уравнения и примеры вычисления энтропии.

Далее в работе рассматриваются возможности применения меры неопределенности информации (энтропии) для анализа структурной надежности распределительной сети.

Некоторые аспекты понятийного аппарата энтропии. Согласно ГОСТ 27.002–89 надежность – комплексное свойство, которое наделено свойством безотказности, включая такие понятия как работоспособное и неработоспособное состояния объекта, которые характеризуются вероятностью безотказной работы и вероятностью возникновения отказа. Так как данные вероятности взаимосвязаны, достаточно вычислить одну из них.

Как уже было отмечено выше, в основе определения энтропии лежит работа А. Хинчина [1], а также модель классического вычисления энтропии К. Шеннона, представленная в работах [2, 3]. В продолжение применения теории информации в задачах анализа надежности, авторы ранее предлагали решения, имеющие отношение к эквивалентированию структур [4], подготовке исходных данных [5] и оценке состояния и выбора высоконадежных распределительных сетей [6]. Эти работы и настоящая конечной целью имеют потребность в снятии неопределенности информации в задаче анализа.

Энтропия, как и мера вероятности, имеет свое предназначение, поскольку технические объекты (в отличие от теории К. Шеннона [3]) можно рассматривать как источники сигналов. Сигнал рассматривается как некоторый код, переданный от объекта в диспетчерскую систему и отражающий взаимодействие нескольких систем: сети, природы и управления. Смысл и значение сигнала имеют место после регистрации и интерпретации в принимающей системе в виде двоичного противоположного состояния объекта: работоспособное и неработоспособное состояния (обоснованы в работе [7]).

Далее кратко обоснуем возможности определения энтропии для случая, когда сеть имеет два технических объекта A и B (трансформаторы, линии электропередач (ЛЭП), выключатели и др.), каждый из которых случайно принимает одно из двух состояний: работоспособное и неработоспособное. Регистрируя эти дискретные состояния, можно построить ансамбль частот состояний и определить вероятности их возникновения (представлено в работе [8]). Вероятности, присущие данным объектам: $p(A)$ и $q(A)$, $p(B)$ и $q(B)$ – вероятности, соответственно, работоспособного и неработоспособного состояний объектов A и B . Условие: для независимых объектов – $p(A) + q(A) = 1$; $p(B) + q(B) = 1$. Тогда вероятности совокупных состояний $A_k B_l$ ($1 \leq k \leq 2, 1 \leq l \leq 2$) будут равны:

$$p(A) \cdot p(B) + p(A) \cdot q(B) + q(A) \cdot p(B) + q(A) \cdot q(B) = 1. \quad (1)$$

Выражение (1) отражает объединение состояний объектов A и B , которое обозначают как AB . Тогда энтропия объединения определяется в общем виде из выражения:

$$H(AB) = H(A) + H(B) \quad (2)$$

где $H(A)$ и $H(B)$ – энтропия объектов A и B .

Согласно [1], в развернутом виде (2) можно записать следующим образом:

$$H(AB) = - \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 p_k \cdot p_l \cdot (\log_2 p_k + \log_2 p_l) = - \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 p_k \cdot p_l \cdot \log_2 p_k p_l = \sum_{k=1}^2 p_k \sum_{l=1}^2 (-p_l \cdot \log_2 p_l) + \sum_{l=1}^2 p_l \sum_{k=1}^2 (-p_k \cdot \log_2 p_k) \quad (3)$$

Выражение (3) можно представить в иной форме, обозначив вероятности p_k и p_l в следующем виде: для символа k : $p_1 \Rightarrow p(A)$, $p_2 \Rightarrow q(A)$, для l : $p_1 \Rightarrow p(B)$, $p_2 \Rightarrow q(B)$.

Пример 1. Пусть имеются два независимо функционирующих технических объекта A и B : ячейки отходящих от подстанций ЛЭП распределительной электрической сети 35 и 10 кВ. Структура каждой ячейки состоит из последовательно соединенных элементов сети: разъединители, выключатели, трансформаторы, ЛЭП различных уровней напряжения. Показателями надежности элементов представлены в табл. 1 и 2: данные мониторинга надежности районной сети (расположенной на территории Хакасии) и среднестатистические данные сетей, эксплуатируемых на территории Российской Федерации.

Таблица 1 – Количественные показатели ячейки A

Элемент сети	N, шт	Количество внезапных отключений потребителей (мониторинг), λ , откл. /год	Количество внезапных отключений потребителей (статистика), λ , откл. /год	Средняя продолжительность внезапных отключений (мониторинг), τ , час	Средняя продолжительность внезапных отключений (статистика), τ , час
Линейный разъединитель 35 кВ	1	0,015	0,01	7	6
Разъединитель 35 кВ	2	0,015	0,01	7	6
Выключатель 35 кВ	1	0,014	0,007	32	30
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	1	0,009	0,007	67	65
ЛЭП 10 кВ	1	5,87	1,81	8	5
Линейный разъединитель 10 кВ	2	0,02	0,01	4,5	7
Разъединитель 10 кВ	2	0,012	0,01	6	7
Разъединитель ввода 10 кВ	1	0,02	0,007	5,5	7
Выключатель ввода 10 кВ	1	0,02	0,01	23,5	20
Линейный выключатель 10 кВ	1	0,018	0,007	22,5	20
ТП 10/0,4 кВ	1	0,019	0,016	45	50
Итого		6,08	1,93	8,3	5,82

Таблица 2 – Количественные показатели ячейки В

Элемент сети	№, шт	Количество внезапных отключений потребителей (мониторинг), λ , откл./год	Количество внезапных отключений потребителей (статистика), λ , откл./год	Средняя продолжительность внезапных отключений (мониторинг), τ , час	Средняя продолжительность внезапных отключений (статистика), τ , час
Линейный разъединитель 35 кВ	1	0,015	0,01	7	6
Разъединитель 35 кВ	2	0,015	0,01	7	6
Выключатель 35 кВ	1	0,014	0,007	32	30
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	1	0,009	0,007	67	65
ЛЭП 10 кВ	1	6,37	1,62	6,5	5
Линейный разъединитель 10 кВ	2	0,02	0,01	7,5	7
Разъединитель 10 кВ	2	0,012	0,01	4,5	7
Разъединитель ввода 10 кВ	2	0,02	0,007	5,5	7
Выключатель ввода 10 кВ	1	0,02	0,01	23,5	20
Линейный выключатель 10 кВ	1	0,018	0,007	22,5	20
ТП 10/0,4 кВ	1	0,019	0,016	52	50
Итого		6,62	1,75	6,84	5,9

Согласно табличным данным вычислены: вероятности отказа по формуле $q = \lambda \cdot \tau / 8760$ и вероятности безотказной работы $p = 1 - q$. Используя (3), определена энтропия $H(AB)$, бит, для ячеек А и В. Полученным значения представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчета для независимо функционирующих элементов

Результаты	А		В		АВ
	$p(A)$	$q(A)$	$p(B)$	$q(B)$	$H(AB)$, бит
Мониторинг	0,99424	0,00576	0,99484	0,00517	0,098
Статистика	0,99872	0,00128	0,99882	0,00118	0,027

Сопоставляя полученные значения энтропии $H(AB)$, сформулируем вывод: существующая распределительная сеть имеет невысокий уровень надежности по сравнению со среднестатистическим. В процессе эксплуатации сети требуется снятие неопределенности за счет своевременного выполнения планово-предупредительных ремонтов, замены устаревшего оборудования.

Пример 2. Имеем два функционально связанных между собой технических объекта А и В: А – трансформатор главной понижающей подстанции (ГПП) 35/10 кВ, В – отходящая от трансформатора ЛЭП 10 кВ (позиция 4 в табл. 1 и 2). Объекты сети соединены последовательно: выход из строя трансформатора приводит к отключению ЛЭП. Следует определить энтропию объединения событий двух элементов отдельно по каждой из ячеек.

Вероятности состояний элементов определяются исходя и выше представленных формул. Применительно к формуле (3) выполним расчет энтропии для каждой из рассматриваемой группы элементов, параметры надежности которых представлены в табл. 1 и 2. Результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты расчета энтропии для взаимозависимых элементов

Результаты	Трансформатор ГПП 35/10 кВ		ЛЭП 10 кВ		AB
	p	q	p	q	$H(AB)$, бит
Данные ячейки A (табл. 1)	0,9999312	0,0000688	0,9946393	0,0053607	0,0492
Данные ячейки B (табл. 2)	0,9999312	0,0000688	0,9952734	0,0047266	0,0444

По результатам видно, что для трансформатора ГПП 35 значения вероятностей одинаковы, поскольку рассматривается одна подстанция и две отходящие от неё ЛЭП.

Сопоставляя полученные значения энтропии $H(AB)$, отметим следующее: для ячейки A (группа из элементов «трансформатор-ЛЭП») имеем более высокое значение энтропии, что объясняется преобладанием пересечения событий $p \cdot q$ ячейки A над аналогичными, относящимися к ячейке B. Это объясняется тем, что выключатель ячейки A менее надежен, чем выключатель ячейки B.

Заключение. Рассматривая возможности применения меры неопределенности информации в задаче анализа надежности электрической сети, предложена процедура вычисления энтропии, которая является мерой оценивания состояния различных сетевых структур. Разделяя показатели надежности на работоспособное и неработоспособное состояния, для каждого из них появляется возможность определять степень неопределенности (энтропию Хинчина). В зависимости от способа соединения элементов – параллельного или последовательного, рассмотрены варианты вычисления энтропии сети, состоящей из зависимых, либо независимых элементов.

Список литературы

1. Хинчин А.Я. Понятие энтропии в теории вероятностей, УМН, 8:3(55) (1953), 3–20 [Khinchin A. Y. The concept of entropy in probability theory, UMN, 8:3(55) (1953), 3–20 (in Russian)].
2. Shannon C.E. 1948 Mathematical Theory of Communication Bell System Tech. J. 27 379-423.
3. Shannon C.E. 1949 Communication Theory of Secrecy Systems Bell System Tech. J. 28 656-715.
4. Дулесов А.С., Кондрат Н.Н. Эквивалентирование количества информационной энтропии в структуре технической системы // Фундаментальные исследования, 2015, 6(1), 14–19.
5. Dulesov A.S., Karandeev D.J., Ereemeeva O.S., Khrustalev V.I., Dulesova N.V. The logarithmic basis to measure the amount of information related to the assessment of reliability of elements of the technical system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019| conference-paper. DOI: 10.1088/1757-899X/537/5/052003.
6. Карандеев Д.Ю. Методика оценки состояния и выбора структуры высоконадежной распределительной сети, автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2021, 22 с.
7. Dulesov A.S., Karandeev D.J., Dulesova N.V. Improving the operation quality of technical systems using information theory models. MATEC Web of Conferences. 2018| conference-paper. DOI: 10.1051/mateconf/201822404006.
8. Дулесов А.С., Хрусталева В.И. Определение энтропии как меры информации при сопоставлении прогнозных и фактических показателей предприятия // Современные проблемы науки и образования, 2012, №1.

2.3.1.

^{1,3}Д.Ю. Евсюков, ¹А.В. Ломазов канд. техн. наук, ^{1,2}В.А. Ломазов докт. физ. - мат. наук,
²А.А. Боровская, И.В. Мирошниченко канд. биол. наук

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

²Белгородский государственный аграрный университет,

³МГТУ им. Н.Э. Баумана

НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАДРОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Статья посвящена проблеме информационной поддержки управления развитием кадрового потенциала предприятия в условиях инновационной экономики. На основе построенной онтологии предметной области предложено (применительно к задачам краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования) формализованное представление кадровой потребности и влияющих на нее факторов в виде лингвистических переменных Заде, связанных нечеткими продукционными правилами. Разработана нейро-нечеткая модель, позволяющая по результатам экспертной оценки факторов определить прогнозируемое число требуемых специалистов различного профиля и квалификации.

Ключевые слова: инновационное предприятие, кадровое обеспечение, прогнозирование, нейро-нечеткая модель.

Введение

Развитие и широкое внедрение инновационных технологий приводит к повышению требований к внутрифирменной системе повышения квалификации и переподготовки кадров, обеспечивающих эффективное использование этих технологий [1]. Одним из основных компонентов управления кадровым потенциалом инновационного предприятия, ИП (предприятия, реализующего различного рода инновационные проекты [2,3]) является прогнозирование потребности в работниках различного профиля специализации и уровня квалификации, исходя из планируемого развития производства с учетом тенденций спроса на выпускаемую продукцию и ужесточением требований ресурсосбережения, экономической эффективности и экологичности применяемых технологий. Однако в настоящее время исследования, посвященные проблематике краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования кадровой потребности, не в полной мере учитывают высокий уровень неопределенности, характерной для инновационного производства [4-6].

Целью настоящей работы является совершенствование методологического аппарата прогнозирования кадровой потребности ИП на основе применения моделей и методов искусственного интеллекта.

Онтология предметной области кадрового обеспечения инновационных технологий

Для анализа факторов, влияющих на необходимость повышения квалификации работников, была построена с использованием языка моделирования онтологий Web Ontology Language и редактора Protege5.5 (свободное ПО) онтология предметной области (фрагмент приведен на рис.1).

В рамках исследуемой типовой задачи прогнозирования кадровой потребности, состоящей в определении прогнозируемых значений соотношений количества работников разных специальностей (*Spec*) с разным уровнем квалификации (*Qual*), ограничимся рассмотрением факторов, связанных с характеристиками технологического обеспечения производства, такими как материалоемкость (*Mat*), энергоемкость (*Energ*), экономичность (*Econ*), экологичность (*Ecol*) и инновационность (*Innov*).

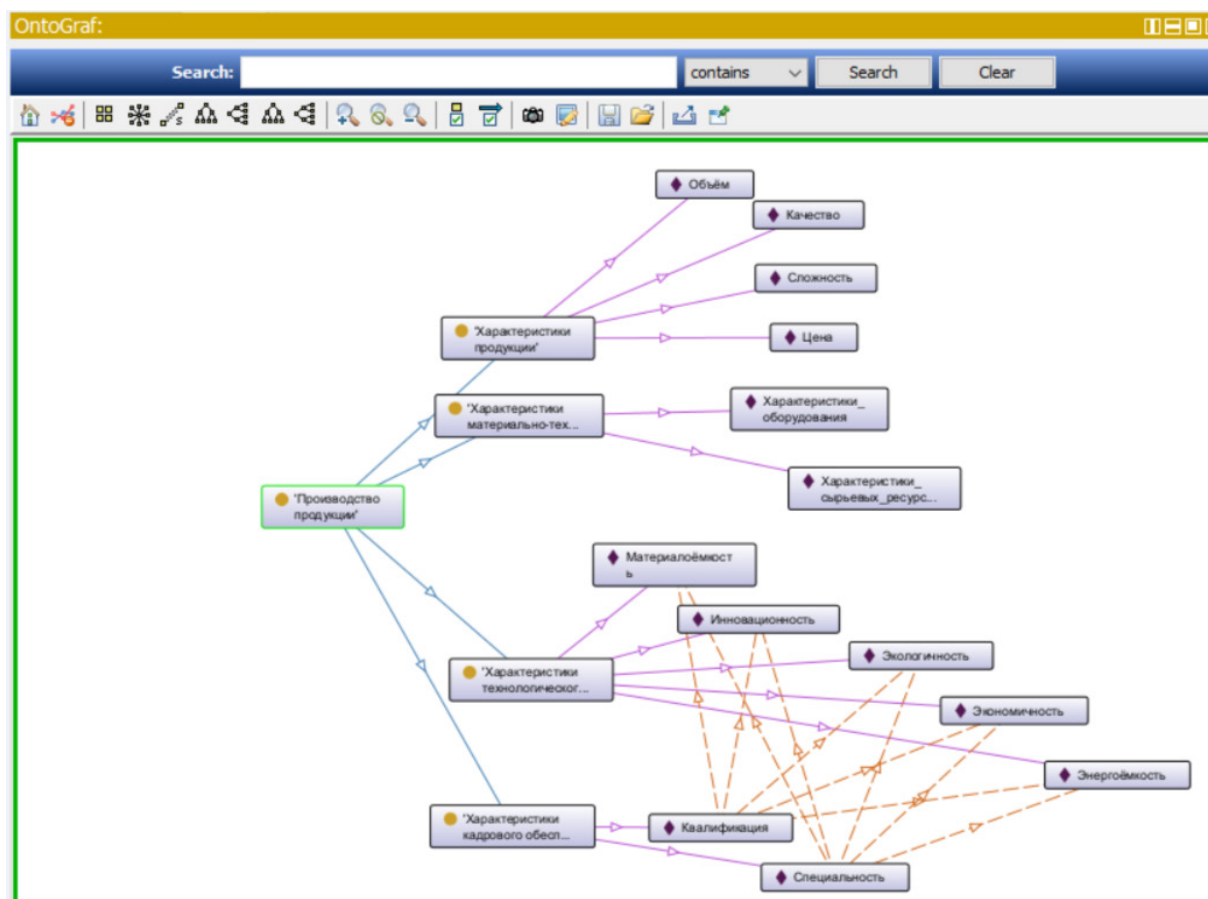


Рис.1 – Экранная форма Protege5.5 фрагмента онтологии предметной области с детализацией технологического и кадрового обеспечения производства инновационной продукции

Нечеткое лингвистическое описание задачи прогнозирования кадровой потребности инновационного предприятия

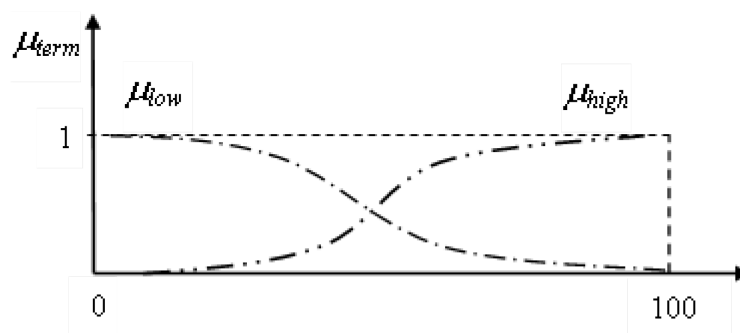
Описываемые онтологией величины связаны с качественными (лингвистическими) понятиями, и для их описания целесообразно использовать экспертные технологии оценивания. Пусть эксперты оценивают характеристики технологии *Mat*, *Energ*, *Econ*, *Ecol*, *Innov* по балльной шкале от 0 до 100, где минимальное значение 0 соответствует отсутствию преимущества рассматриваемой инновационной технологии перед существующими традиционными аналогами. Привлечение нескольких экспертов и вычисление средних оценок приводит к числовым значениям этих характеристик (факторов, влияющих на кадровую потребность) в интервале [0, 10], рассматриваемом в качестве базового множества нечетких лингвистических переменных Заде [7], представимых в виде

$$\langle Fact, D_{Fact}, ITB_{InterInd}, SintR_{InterInd}, SemR_{InterInd} \rangle$$

где *Fact* – наименование фактора ($Fact \in \{Mat, Energ, Econ, Ecol, Innov\}$); D_{Fact} – диапазон числовых значений рассматриваемого фактора ($D_{Fact} = [0, 100]$); ITB_{Fact} – базовый набор термов (для простоты в дальнейшем будем полагать $ITB_{Fact} = \{low, high\}$, хотя возможно использование более широкого набора термов); *SintR* – синтаксическое правило, позволяющее порождать наименования термов из наименований элементов ITB_{Fact} и тем самым расширяющее базовое множество термов ITB_{Fact} до множества термов T_{Fact} ; *SemR* – семантическое правило устанавливающее соответствие между темпоральными термами и нечеткими подмножествами D_{Fact} (функциями принадлежности этих множеств). В дальнейшем полагается, что функции принадлежности $\mu_{low}(x)$, $\mu_{high}(x)$ являются сигмоидальными

$$\mu_{Term}(x) = (1 / (1 + \exp(-a_{TermFact} x + b_{TermFact})))$$

Вид используемых функций принадлежности показан на рис. 2

Рис. 2 – Семантика термов для лингвистической переменной *Fact*

Рассмотрим задачу прогнозирования на период T потребности в работниках высокой квалификации ($HighQual^T$) и специалистов компьютерных специальностей ($CompSpec^T$), определяемые как доли в общем числе работников в рамках краткосрочного, $T=short_term$ (1-3 года), среднесрочного, $T=medium_term$ (3-5 лет) и долгосрочного, $T=long_term$ (свыше 5 лет) прогноза. Задачи такого рода возникают, в частности, при прогнозировании кадровой потребности ИП агропромышленного комплекса [8,9].

Зависимость прогнозируемых величин $HighQual^T$, $CompSpec^T$ от характеристик технологического обеспечения производственного процесса представим (в соответствии с [10]) двумя системами нечетких продукционных правил Сугено:

v_p^T : ЕСЛИ $F_p^T(Fact - Term; Fact=Mat, Energ, Econ, Ecol, Innov; Term = low, high)$

ТО $HighQual^T = f_p^T(Mat, Energ, Econ, Ecol, Innov)$

$p=1,2,...,P; T=short_term, medium_term, long_term$

u_k^T : ЕСЛИ $G_k^T(Fact - Term; Fact=Mat, Energ, Econ, Ecol, Innov; Term = low, high)$

ТО $CompSpec^T = g_k^T(Mat, Energ, Econ, Ecol, Innov)$

$k=1,2,...,K; T=short_term, medium_term, long_term$

где v_p^T , u_k^T – веса нечетких правил, F_p^T , G_k^T – нечеткие пропозициональные функции относительно высказываний $Fact - Term; Fact=Mat, Energ, Econ, Ecol, Innov; Term = low, high$, а f_p^T , g_k^T – числовые функции от числовых (выраженных в баллах) значений факторов $Mat, Energ, Econ, Ecol, Innov$. В дальнейшем (для простоты), функции f_p^T , g_k^T будем полагать линейными.

Нейро-нечеткая модель прогнозирования кадровой потребности инновационного предприятия

Рассмотрим в качестве примера задачу краткосрочного прогнозирования потребности в работниках высокой квалификации (в процентах от общего числа работников) в случае, когда наиболее существенными факторами являются энергоэффективность и инновационность внедряемой технологии. Тогда используемая для прогнозирования пятислойная нечеткая нейронная сеть Такаги-Сугено-Канга будет иметь вид, представленный на рис.3.

На входы этой сети подаются числовые значения факторов $Energ, Innov$. Первый слой сети реализует фаззификацию, состоящую в определении значений сигмоидальных функций принадлежности термов для введенных числовых значений. В рамках второго слоя производится агрегирование левых частей нечетких продукционных правил (вычисление w_p , $p=1,2,...,P$). Третий слой реализует вычисление числовых значений потребностей в работниках высокой квалификации $HighQual_p$ на основе правил $Rule_1, ..., Rule_P$ с последующим умножением полученных результатов на w_p (значимости правил). Четвертый слой содержит два нейрона-сумматора, вычисляющих суммы $w_p * HighQual_p$ и w_p ($p=1,2,...,P$). Последний слой содержит один нейрон, вычисляющий прогнозируемое значение по формуле:

$$HighQual = \left(\sum_{p=1}^P w_p HighQual_p \right) / \left(\sum_{p=1}^P w_p \right)$$

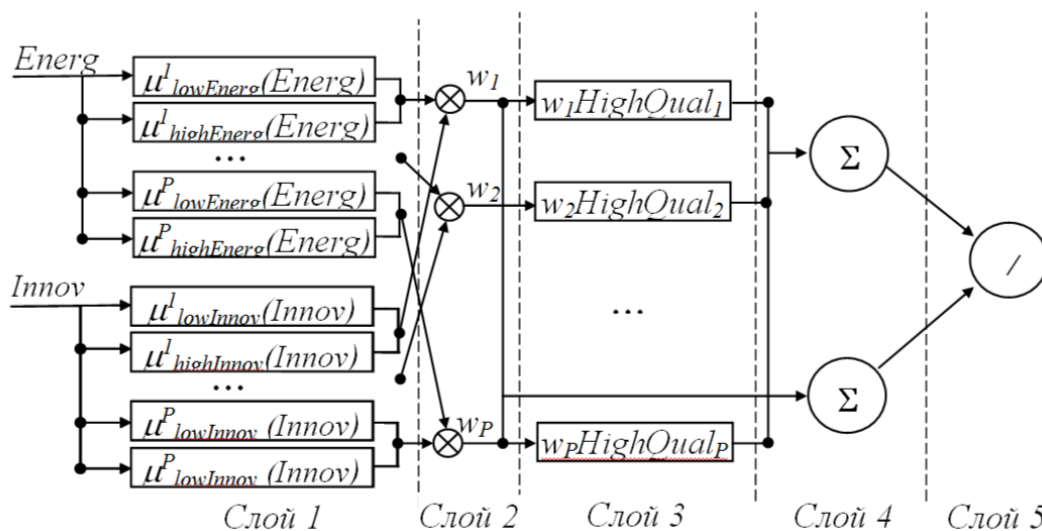


Рис. 3 – Нечеткая нейронная сеть, служащая для прогнозирования требуемой доли работников высокой квалификации

Необходимо отметить, что обучение (на основе формируемой экспертами обучающей выборки) построенной сети сводится к нахождению параметров функций принадлежности $\mu_{low}(x)$, $\mu_{high}(x)$ своих для каждого из факторов *Energ*, *Innov* (первый слой сети) и коэффициентов линейных функций f_p^T (третий слой сети). Остальные слои являются непараметрическими и в обучении не нуждаются. Для обучения сети использован метод обратного распространения ошибки.

Рассмотрение задачи построения не только краткосрочного, но и среднесрочного и долгосрочного прогноз, а также учет большего числа факторов, влияющих на результаты прогнозирования, существенно не влияет на общую нейросетевую модель, но делает ее более громоздкой. Таким образом, желательно сокращение размерности факторного пространства на основе предварительного анализа (например, в рамках онтологии) предметной области.

Заключение

Применение предлагаемого подхода (основанного на использовании нечетко-лингвистического представления знаний о предметной области и нейросетевого аппарата составления прогноза) к решению задач многосценарного прогнозирования кадровой потребности ИП, не смотря на большую (по сравнению с традиционным статистическим прогнозированием) громоздкость, дополняет существующие подходы и представляется оправданным в рамках кадрового управления на крупном ИП.

Дальнейшее развитие предложенного нейро-нечеткого аппарата прогнозирования может быть связано с более широким (по сравнению с данной работой) применением моделей и методов теории искусственного интеллекта для поддержки принятия решений при реализации кадровой политикой предприятия.

Список литературы

1. Секерин В.Д., Семенова В.В., Горохова А.Е. Влияние кадрового обеспечения на развитие инновационной инфраструктуры // Вестник Московского государственного областного университета просвещения. Серия: Экономика. – 2023. – № 2. – С. 125-131.
2. Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Критерии оценки инвестиционных инновационных проектов в сфере здравоохранения // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 4. – С. 155-159.
3. Ломазов В.А., Нехотина В.С. Система поддержки принятия решений на основе нечетких показателей оценки инвестиционных рисков ИТ-проектов // Информационные системы и технологии. – 2011. – № 5(67). – С. 86-89.
4. Гуртов В.А., Питухин Е.А. Прогнозирование потребностей экономики в квалифицированных кадрах: обзор подходов и практик применения // Университетское управление: практика и анализ. – 2017. – Т. 21, № 4(110). – С. 130-161.
5. Васильева З.А., Филимоненко И.В. Верификация прогноза кадровой потребности экономики региона // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2017. – № 12. – С. 19-26.
6. Евсюков Д.Ю., Клесов Д.Н., Ломазов В.А., Гостищева Т.В. Поддержка принятия решений при управлении переподготовкой и повышением квалификации работников инновационных предприятий // Перспективы науки. – 2023. – № 4(163). – С. 24-27.
7. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning// Information Sciences. – 1975. – № 1. – Pp. 119-249.
8. Аничин В.Л., Худобина Г.И., Яковенко Н.Ю. Кадровая политика агропромышленного предприятия: возможности совершенствования// Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 3(35). – С. 179-185.
9. Ломазов В.А., Петросов Д.А., Добрунова А.И. Анализ и синтез моделей инновационных агропроцессов: (подходы, модели, программная реализация) // Белгород: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2021. – 193 с.
10. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая Линия - Телеком. 2018. – 284 с.

2.3.1.

А.И. Егунова, А.А. Сайгин

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, andrexsai@mail.ru

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ
С ПОМОЩЬЮ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

В статье представлена методика реконструкции звука для восстановления исходных сигналов с помощью нейронных сетей. На основе анализа качественных характеристик восстановления сигнала выполнен подбор подходящей модели нейронной сети, обеспечивающий наилучший результат на основе PESQ и STOI метрик. Определены характеристики формирования датасетов глубокого обучения нейросетей.

Ключевые слова: *реконструкция аудиозаписей, нейронные сети, метрики качества звука, датасет, глубокое обучение, частотные характеристики сигналов.*

В процессе записи звука появляются искажения, вызванные характеристиками технических систем, отражением звука и наличием других шумов в окружающем пространстве. Для повышения качества аудиозаписей и удаления искажений реализуют разделение звуковых сигналов на реальные и шумовые составляющие. Разделение источников звука это процесс восстановления либо реконструкции одного или нескольких исходных сигналов, которые в результате линейного или сверточного процесса смешаны с другими сигналами [1]. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет получать очищенный от фоновых шумов звук с сохранением важной информации и повышают качество обработки сигналов. Это привело к тому, что появилось несколько нейронных сетей для фильтрации посторонних шумов из записей человеческой речи. Каждый алгоритм пригоден для достижения разных целей, поэтому у разработчика всегда есть выбор, в зависимости от требований по показателям «чистоты» звука, его качества и скорости работы фильтра.

Некоторые нейронные сети уже нашли применения в системах Интернет-телефонии и стриминга. Кроме того, на базе подобных нейронных сетей можно разработать приложение для фильтрации фоновых шумов из аудиозаписей. Наибольшее распространение получили методы глубокого обучения, вычисляющие спектр очищенного сигнала напрямую или использующие бинарные и вещественные маски, накладываемые на спектр зашумленного сигнала. Приложение может применяться как один из этапов реставрации аудиозаписей. В первом случае важна скорость работы модели, а во втором – качество итогового результата. Перед выбором того или иного алгоритма необходимо произвести их сравнение.

Для сравнения были выбраны следующие архитектуры рекуррентных нейронных сетей: NSNet, DCCRN и DTLN.

NSNet – это нейронная сеть, которая состоит из полносвязного слоя с ReLU, двух рекуррентных Gated Recurrent Unit блоков и полносвязных слоев feed forward с ReLU и sigmoid активацией. На вход сети подаётся спектрограмма сигнала. Для обучения NSNet использует среднеквадратичное расстояние между спектрограммой оригинального чистого сигнала и спектрограммой, полученной в результате работы сети. [2]

DCCRN – нейронная сеть на основе U-net-подобной архитектуре, где все операции представлены комплексными операциями. Основная идея метода состоит в использовании не только магнитуды сигнала, но и фазы. Для применения сети в реальном времени был добавлен рекуррентный слой. [3]

DTLN – нейронная сеть, состоящая из двух частей, в первой выполняется оконное преобразование Фурье, затем магнитуа поступает на вход в нейронной сети, на выходе получается вектор, на который умножается магнитуа, потом выполняется обратное преобразование Фурье, полученный сигнал поступает на вход во вторую часть сети, на выходе которой получается полностью очищенный сигнал. [4]

Видно, что уже существует несколько решений на базе различных архитектур – от классических рекуррентных сетей, до U-net. Какие-то эффективны для обработки звука в режиме реального времени, другие, за счет минимальных потерь качества, можно использовать для реставрации старых аудиозаписей. [5]

Все нейросетевые модели считают признаки на окне 32 мс. Результаты работы моделей нейронных сетей сильно зависят от данных, на которых производится обучение. Для обучения нейронных сетей, решающих задачу разделения источников сигнала, собирается набор чистых сигналов (студийные записи речи, дорожки фильмов, музыка) и набор «шумов» (записи с улиц, помещений, сэмплы из банков звуков). «Шумы» накладываются на чистые записи, и таким образом получается два набора данных – чистый звук и соответствующий зашумленный.

Для сходимости нейронной сети необходимо, чтобы элементы датасета имели одинаковую длительность и частоту дискретизации. В таком случае количество отсчётов записи будет одинаково на всех элементах набора.

По современным спецификациям звукозаписи могут иметь несколько каналов, каждый из которых несет свою информацию. Обработать такую информацию сложнее, потому что для каждого канала требуется отдельный вход нейронной сети. Поэтому лучше составить датасет из одноканальных записей, и на практике в случаях обработки многоканального звука применять модель для каждого канала отдельно.

Для хранения звука на компьютере используются различные кодеки, и каждый из них по-разному кодирует сигнал. Все элементы датасета должны храниться в едином формате и не в сжатом состоянии, чтобы не выполнять дополнительных операций преобразования записей. [6]

Оценка качества улучшения звука является достаточно сложной задачей, поскольку прямое сравнение с эталонной записью не докажет улучшение результата обработки. Поэтому для сравнения моделей разрабатывались новые метрики.

Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ) – это метрика оценки качества речи, которая моделирует субъективное восприятие речи. Значение оценки соответствует шкале от -0,5 до 4,5, чем оно больше, тем лучше результат работы. Несмотря на то, что оценка соответствует средней экспертной, её абсолютные значения зависят от исходных условий теста, поэтому используются она чаще для отслеживания прогресса обучения. [7]

Short-Time Objective Intelligibility (STOI) – ещё одна метрика оценки качества речи, которая отвечает за её «понимаемость». Оценка принимает значение в диапазоне от 0 до 1, большее значение соответствует лучшему результату. [8]

Для обучения моделей был собран датасет из открытых Интернет-источников. В роли чистых сигналов выступают аудиокниги, подкасты, записи радиоэфиров. В роли шумов можно использовать различные сэмплы, применяемые при видеомонтаже. [6]

Все аудиозаписи приведены к единому формату. Они представлены WAV-файлами с разрядностью 16 бит, разрезанными на фрагменты длительностью 2 секунды. Если запись была многоканальной, то она разбивалась на несколько одноканальных. Все обучающие данные были сэмплированы на частоте 16 кГц. Хорошим соотношением сигнал/шум (SNR) для записи звука считается 60 дБ, для речи достаточно и 30 дБ. Диапазон SNR по умолчанию был выбран от -5 до 25 дБ. Была выбрана частота дискретизации 16000 Гц.

Результаты обучения различных нейронных сетей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение эффективности моделей

Метрика Модель	PESQ	STOI
Необработанные	1,5733	0,7066
NSNet	1,7694	0,7495
DCCRN	2,0910	0,8132
DTLN	1,9216	0,7934

Для наглядности сравним результаты обработки зашумленного сигнала с его эталонной версией. Для этого воспользуемся различными характеристиками сигнала.

Амплитудная характеристика – это представление сигнала во временной области. Она показывает амплитуду звуковой волны, изменяющуюся во времени. Сравнение амплитудных характеристик сигналов представлено на рисунке 1.

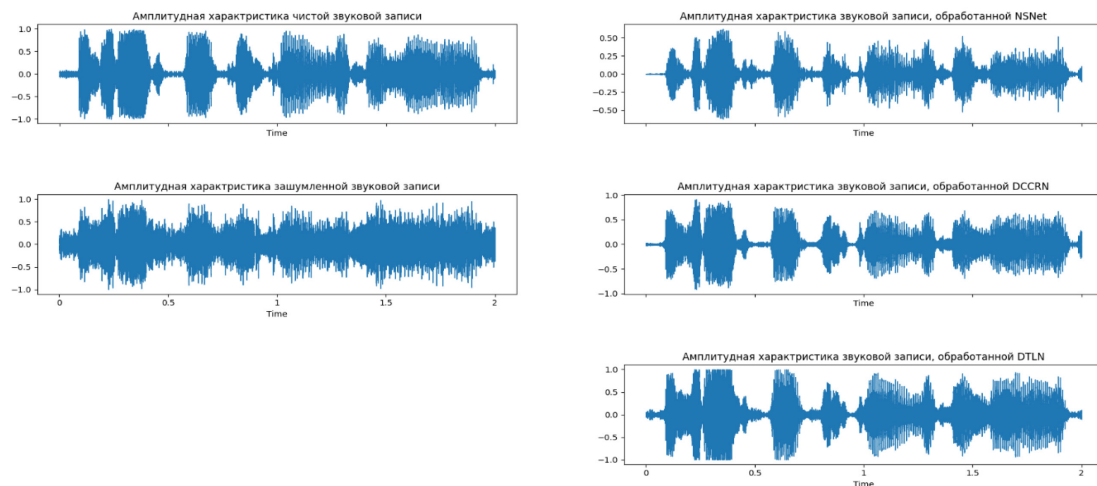


Рис. 1 – Амплитудные характеристики обработанных сигналов с зашумленным и эталонным сэмплом

Для лучшего понимания звукового сигнала необходимо, с помощью преобразование Фурье узнать, какие частоты в нём представлены. Сравнение частотных характеристик сигналов представлено на рисунке 2.

Более наглядно визуальные представления уровня различных частот в разные моменты времени показаны на графике спектрограммы. Здесь по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат представляет частоты. Цветом показана амплитуда, наблюдаемой частоты в конкретный момент времени. Сравнение частотных характеристик сигналов представлено на рисунке 3.

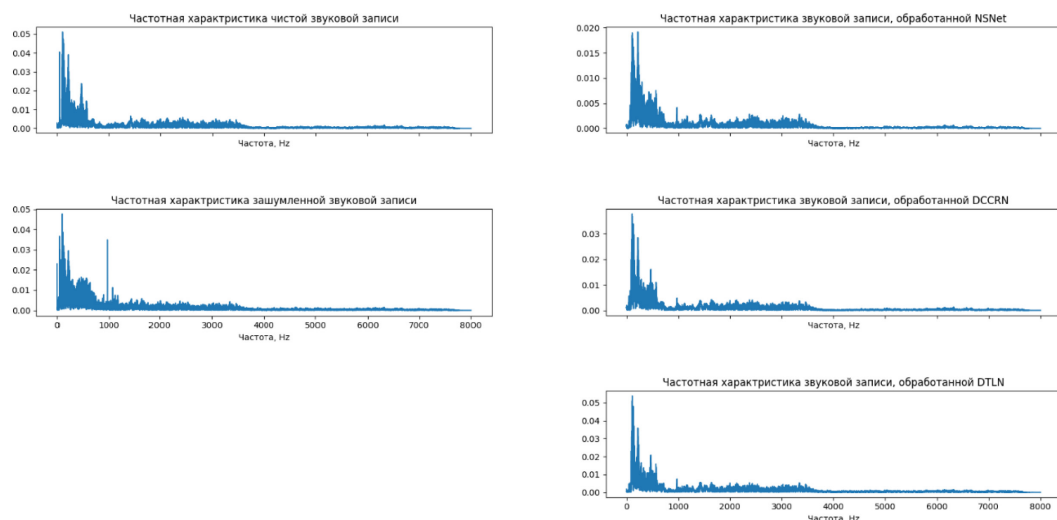


Рис. 2 – Частотных характеристики обработанных сигналов с зашумленным и эталонным сэмплом

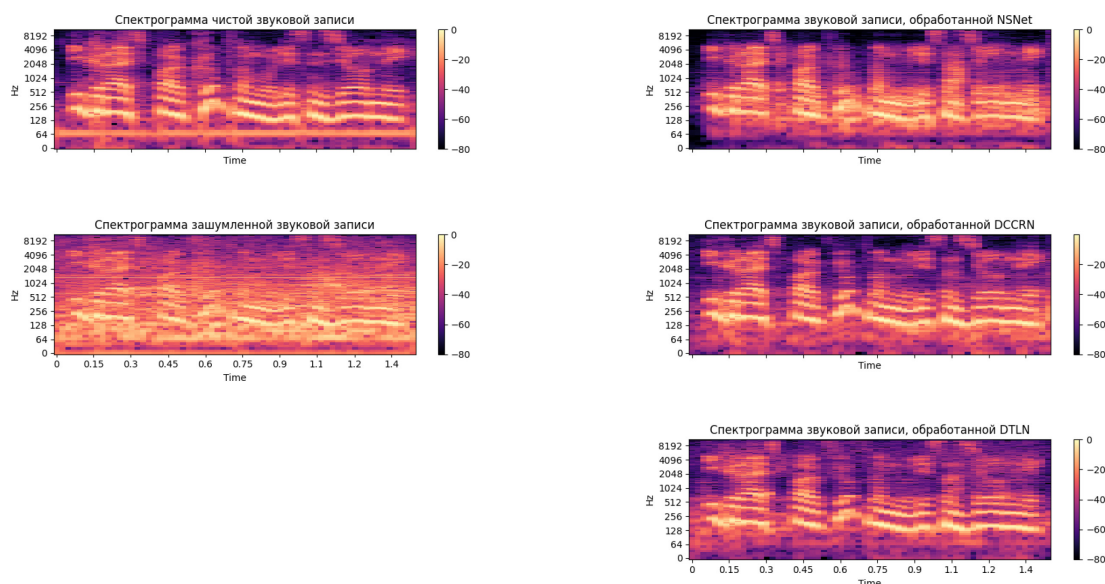


Рис. 3 – Сравнение спектрограмм обработанных сигналов с зашумленным и эталонным сэмплом

По итогам экспериментов было получено, что наилучшие показатели метрик получились у моделей DCCRN и DTLN, так как они учитывают не только магнитуды сигналов, но и фазы. Двухэтапная рекурсивная нейросеть DTLN имеет более маленький размер, чем DCCRN и при правильном обучении дает те же результаты, но к сожалению, эта модель не работает с реверберирующим сигналом.

Поскольку в ходе исследования сравнивалось в первую очередь качество обработки сигнала, то результаты не говорят о применимости моделей в системах реального времени. Для этого необходимо проводить дополнительные опыты с замером времени обработки сигнала.

Список литературы

1. *Emad M. Grais, Mark D. Plumbley* Single Channel Audio Source Separation using Convolutional Denoising Autoencoders // arXiv preprint arXiv:1703.08019v2 – 2017.
2. *Cutler R.* ICASSP 2021 Deep Noise Suppression Challenge / C. K. A. Reddy, H. Dubey, V. Gopal, R. Cutler, S. Braun, H. Gamper, R. Aichner, S. Srinivasan – Текст : электронный // arXiv.org – URL : arxiv.org/abs/2009.06122.
3. *Hu Y.* DCCRN: Deep Complex Convolution Recurrent Network for Phase-Aware Speech Enhancement / Y. Hu, Y. Liu, S. Lv, M. Xing, S. Zhang, Y. Fu, J. Wu, B. Zhang, L. Xie. – Текст : электронный // arXiv.org – URL : arxiv.org/abs/2008.00264 – Дата публикации: 23 сентября 2020.
4. *Westhausen N.L.* Dual-Signal Transformation LSTM Network for Real-Time Noise Suppression / N. L. Westhausen, B. T. Meyer. // arXiv.org – URL : arxiv.org/abs/2005.07551
5. *Сайгин А.А., Плотникова Н.П.* Обзор нейронных сетей для решения задачи разделения источников звука // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 86-1. С. 89-93.
6. *Сайгин А.А., Плотникова Н.П.* Подготовка данных для обучения нейронных сетей, решающих задачу разделения источников сигнала // E-Scio [Электронный ресурс]: Электронное периодическое издание «E-Scio.ru» — Эл № ФС77-66730. URL : e-scio.ru/wp-content/uploads/2023/03/Сайгин-А.-А.-Плотникова-Н.-П.pdf
7. ITU-T Recommendation P. 862, Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. 2001. URL: www.itu.int/rec/T-REC-P.862-200102-I/en.
8. *Fu S.-W., Liao C.-F., Tsao Y.* Learning with Learned Loss Function: Speech Enhancement with Quality-Net to Improve Perceptual Evaluation of Speech Quality. *EEE Signal Processing Letters*. 2020. Vol. 27. P. 26-30.

2.3.1.

¹А.Л. Золкин, ²Т.Г. Айгумов, ³К.А. Наминова, ⁴С.А. Жильцов¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,
кафедра «Информатика и вычислительная техника», Самара,²ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет",
кафедра программного обеспечения вычислительной техники
и автоматизированных систем, Махачкала,³ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова»,
кафедра менеджмента, Элиста,⁴ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»,
Департамент инновационного менеджмента в отраслях промышленности, Москва,
alzolkin@list.ru, 915533@mail.ru, kermen.09@yandex.ru, zhiltsovs@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В БЕСПИЛОТНОМ ТРАНСПОРТЕ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И СРЕДСТВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Данная статья посвящена разработке и исследованию модели управления электродвигателем в беспилотном транспорте с целью оптимизации его энергоэффективности и предотвращения перегрева. Авторами поднимается проблемно-ориентированная сторона разработки систем управления электродвигателями и их важное практическое значение. Объектом исследования является модель работы электродвигателя, испытываемого на беспилотном транспортном средстве. В первой части работы разработана математическая модель управления, учитывающая взаимосвязь тока, напряжения и скорости вращения двигателя. Затем предложена модель обучения с подкреплением, позволяющая учитывать время работы двигателя и другие важные параметры для оптимизации расхода электричества. Модель реализована в виде скрипта на языке программирования Python, с использованием различных библиотек для математических расчетов и визуализации данных. Для режима запуска двигателя внедрен алгоритм нечеткого управления, что позволяет улучшить стартовые характеристики и существенно образом снизить энергопотребление. Для сравнения значений тока и напряжений в цепи был добавлен метод сравнения, позволяющий определить эффективность работы системы. Для оптимизации работы электродвигателя по температурному режиму разработана математическая модель управления перегревом, которая позволяет автоматически регулировать скорость охлаждения в зависимости от температуры двигателя. Модель проанализирована с использованием реальных значений температуры, времени и скорости охлаждения, и показала высокую эффективность в сравнении с классической схемой управления. Метод градиентного спуска использован для оптимизации модели обучения, что повысило точность и скорость алгоритма. Проводится краткая визуализация результатов применения оптимизационной составляющей, обозначается ее положительный эффект. Разработанная модель управления электродвигателем представляет собой комплексную систему, которая учитывает множество факторов для достижения оптимальной энергоэффективности и предотвращения перегрева двигателя. Её применение в беспилотных транспортных средствах может значительно повысить их производительность и надежность. Подразумевается практическое внедрение данного модуля в контроллер управления электродвигателя исследуемого типа.

Ключевые слова: оптимизация технологического процесса, электродвигатель, температурный режим, модели обучения и управления, нечеткое управление, модель градиентного спуска.

Оптимизация работы электродвигателя в беспилотном транспорте является важной задачей для повышения устойчивости и продолжительности работы системы. Оптимизация работы электродвигателя позволяет снизить потребление электроэнергии, что является основой для повышения энергоэффективности. Это позволяет увеличить дальность преодоления расстояний и продолжительность работы транспортной системы на одной зарядке.

Существуют наиболее распространенные методы оптимизации работы электродвигателя: управление скоростью может помочь снизить энергопотребление. Использование алгоритмов управления, таких как PID-регуляторы или алгоритмы прогнозирующего управления, позволяет поддерживать постоянную скорость при минимальном энергопотреблении.

Включение режима регенеративного торможения позволяет восстановить энергию при торможении или снижении скорости. Энергия, которая обычно теряется в виде тепла при использовании традиционных тормозов, возвращается обратно в батарею и может быть повторно использована, что снижает общий расход электричества.

Определение оптимального уровня мощности двигателя, при котором достигается максимальная эффективность, может снизить потребление энергии. Использование алгоритмов оптимального управления, таких как алгоритмы поиска максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking), позволяет поддерживать работу двигателя в оптимальном режиме.

Управление температурой оптимальное управление температурой двигателя позволяет снизить потери энергии из-за излишнего нагрева. Регулирование охлаждения или использование систем активного охлаждения помогает поддерживать оптимальную рабочую температуру и снижает энергопотребление [1,8,9].

Методы исследования. Цель настоящего исследования заключается в разработке системы управления температурой электродвигателя беспилотного наземного транспорта для оптимизации его работы с учетом следующих критериев. Предотвращение перегрева – т.е. температура электродвигателя остается в безопасных пределах, чтобы избежать перегрева, что может привести к повреждению двигателя и снижению его производительности. Минимизация энергопотребления: снизить энергопотребление путем оптимизации работы системы охлаждения таким образом, чтобы температура двигателя поддерживалась на минимально необходимом уровне, не превышающем допустимые пределы.

Оптимальная рабочая температура: поддерживать оптимальную рабочую температуру двигателя, при которой достигается наилучшая эффективность и производительность, минимизируются износ и потери мощности.

Учитывать внешние факторы, такие как окружающая среда и интенсивность нагрузки, для оптимальной регуляции температуры в зависимости от условий эксплуатации. Обеспечить быструю реакцию системы управления на изменения температуры и нагрузки, чтобы максимально эффективно регулировать работу двигателя [2,10].

Результаты исследования. Объектом изучения является распространенный на российском рынке электродвигатель WEG Motor W20 номинальной мощностью в 7.5 кВт с воздушным охлаждением, устанавливаемый в автомобиль ВАЗ 1111 «Ока» для проведения стендовых и раллийных испытаний в сложных температурных условиях: летом, при температуре воздуха в 40-45 градусов по Цельсию.

Схема организации электродвигателя (станина, изготовленная из чугуна FC-200, класса «F»), представлена на рисунке 1.

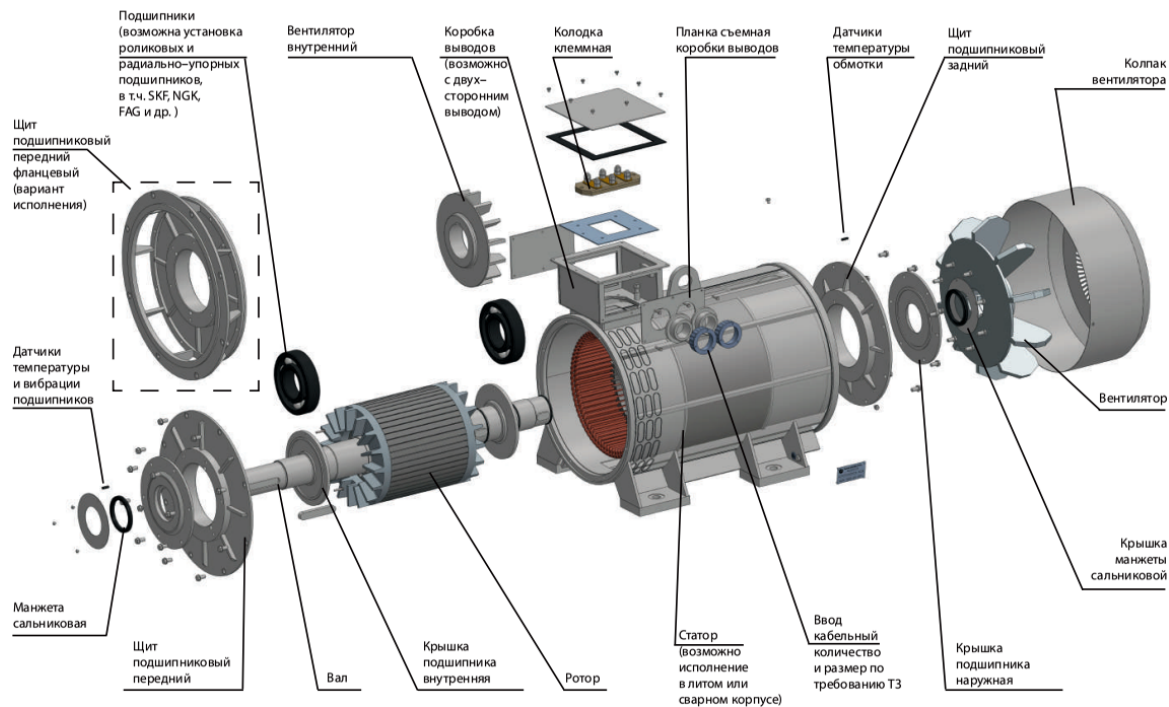


Рис. 1 – Устройство исследуемого электродвигателя

Структурный синтез программного алгоритма и стратегии управления системой охлаждения основываются на наблюдении и анализе температуры двигателя, учете условий эксплуатации и применении оптимальных регуляторов и алгоритмов управления при помощи модели обучения, реализуемой программными средствами.

Фактические возможности заключается в использовании датчиков для измерения температуры и информации о нагрузке для обратной связи и коррекции работы системы охлаждения [3,11].

Оценка результата: оценить эффективность оптимизации работы электродвигателя на основе критериев, таких как снижение энергопотребления, предотвращение перегрева.

Математическая модель управления перегревом электродвигателя может быть представлена следующим образом:

Пусть:

$T(t)$ - текущая температура электродвигателя в момент времени t ,

$T_{\max}$ - предельная верхняя температура, которую необходимо поддерживать,

$P(t)$ - текущая мощность, подаваемая на электродвигатель в момент времени t ,

$P_{\max}$ - максимально допустимая мощность для электродвигателя,

$F(t)$ - скорость вращения вентиляторов или интенсивность охлаждения в момент времени t .

Тогда математическая модель управления перегревом может быть представлена следующими уравнениями:

Уравнение теплового баланса (1):

Уравнение мощности (2).

$$\frac{dT}{dt} = k_1(P(t) - P_{\text{loss}}) - k_2 * F(t) * T(t) - T_{\text{ambient}}, \quad (1)$$

$$P(t) = k_3 * T(t) + k_4 * (T(t) - T_{\text{target}}) + P_{\text{base}} \quad (2)$$

Где:

k_1 - коэффициент, характеризующий зависимость температурного повышения от мощности,

P_{loss} - потери мощности в электродвигателе (потери на трение, железо и т.д.)

k_2 - коэффициент, характеризующий зависимость охлаждения от скорости вращения вентиляторов и температурной разницы,

T_{ambient} - температура окружающей среды.

k_3 - коэффициент, характеризующий зависимость мощности от текущей температуры,

k_4 - коэффициент, характеризующий зависимость мощности от разницы между текущей температурой и желаемой целевой температурой

P_{base} - базовая мощность, необходимая для поддержания работы двигателя в обычных условиях.

Цель управления состоит в том, чтобы регулировать мощность $P(t)$ и скорость охлаждения $F(t)$ таким образом, чтобы поддерживать температуру $T(t)$ в пределах безопасного диапазона.

Это достигается за счет внедрения модели обучения (искусственного интеллекта) в программную модель решения данной задачи на языке программирования Python:

```
import math
import numpy as np
from sklearn.linear_model import LinearRegression

# Параметры модели и управления
# ...

# Данные обучения
# Задайте массивы значений температуры, мощности и скорости охлаждения
# X_train = ...
# y_train = ...

# Создание и обучение модели Linear Regression
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)

# Инициализация начальных значений
# ...

# Временные параметры
# ...

# Моделирование
for t in range(int(total_time / dt)):
    # Уравнение теплового баланса
    dT_dt = k1 * (P - P_loss) - k2 * F * (T - T_ambient)
    T += dT_dt * dt

    # Уравнение мощности
    P = k3 * T + k4 * (T - T_target) + P_base

    # Преобразование текущих значений входных данных модели обучения
    X = np.array([T, P, F]).reshape(1, -1)

    # Предсказание новой скорости охлаждения с помощью модели обучения
    F_predicted = model.predict(X)[0]

    # Ограничение предсказанной скорости охлаждения в допустимых пределах
    F = max(min(F_predicted, F_max), 0)

    # Вывод значений
    # ...

    # Обновление скорости вентиляторов (охлаждения)
    # ...
```


В этом примере используется модель линейной регрессии из библиотеки `scikit-learn` для предсказания новой скорости охлаждения на основе текущих значений температуры, мощности и скорости вентиляторов. Данные обучения X_{train} и y_{train} представляют собой массивы значений, на которых обучается модель. Затем используем обученную модель для предсказания новой скорости охлаждения $F_{predicted}$, ограничивая ее в допустимых пределах.

В ходе проведения функционального тестирования выяснилась необходимость в интеграции средств нечеткую логику в рассматриваемую модель для улучшения оптимизационной составляющей управления числовыми переменными [4,7].

Разработанный программный компонент заполним реальными случайными значениями и сравним результат с моделью управления температурой без модели обучения и нечеткого управления.

В рамках написания программного продукта с моделью обучения была проведена дальнейшая оптимизация. Добавление градиентного спуска с оптимизацией в модель обучения позволяет настроить параметры модели таким образом, чтобы минимизировать ошибку между предсказанными значениями и реальными данными [5,6]. Это приводит к улучшению точности и эффективности модели.

Когда используется градиентный спуск с оптимизацией в предложенном коде, то выполняем поиск оптимальных значений параметров w и b модели, которые минимизируют среднеквадратичную ошибку (MSE). Это позволяет лучше адаптировать модель к конкретным данным и улучшить ее способность предсказывать скорость охлаждения на основе температуры.

В результате добавления оптимизации градиентным спуском, получаем модель с лучшей точностью и предсказательной способностью. Это может привести к улучшению производительности электродвигателя, поскольку оптимальное управление температурным режимом может предотвратить перегрев и повысить энергоэффективность работы системы.

Представим, что имеются следующие случайные данные для температуры, скорости охлаждения и эффективности работы электродвигателя (в процентах):

Температура: [40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80];

Скорость охлаждения (реальные данные): [5, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16];

Эффективность работы электродвигателя (реальные данные): [75, 78, 80, 82, 85, 88, 90, 92, 94].

Сначала построим график сравнения моделей (рис. 2).

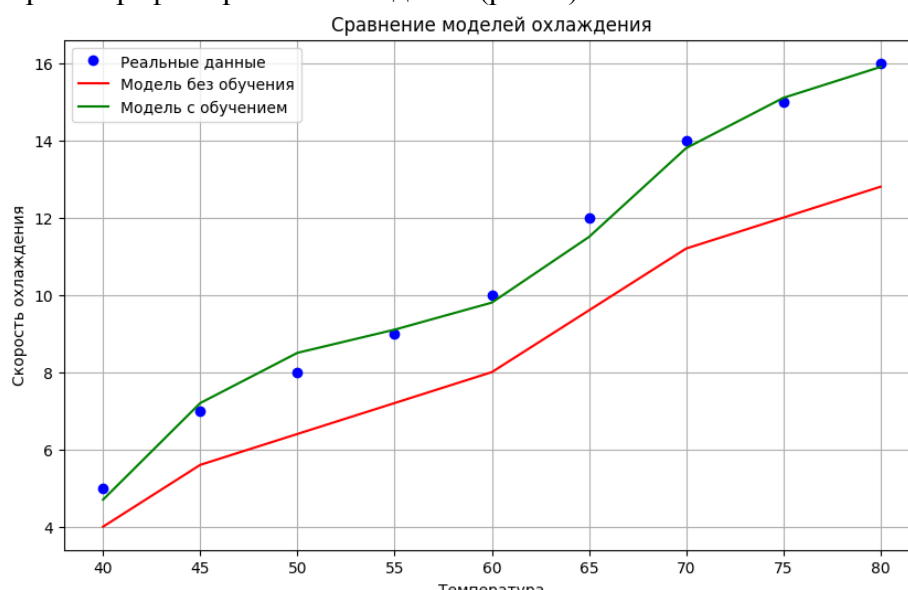


Рис. 2 - График сравнения моделей управления
(видна лучшая аппроксимация к реальным данным и скорости, и охлаждения)

Далее изобразим также трехмерную модель (рис. 3). В трехмерной модели, оси представляют температуру, время и скорость охлаждения электродвигателя. Каждая ось представляет одну из этих величин. Ось температуры отображает изменение температуры электродвигателя со временем. Значения на этой оси могут указывать на повышение или понижение температуры в зависимости от конкретной точки данных. Ось времени показывает продолжительность работы электродвигателя или моменты времени, в течение которых были собраны данные. Значения на этой оси отражают временные промежутки или отметки времени. Ось скорости охлаждения отображает скорость, с которой электродвигатель охлаждается. Это может быть значение скорости потока охлаждающей среды или скорость снижения температуры электродвигателя. Значения на этой оси могут указывать на то, как быстро происходит процесс охлаждения.

Трехмерная модель электродвигателя

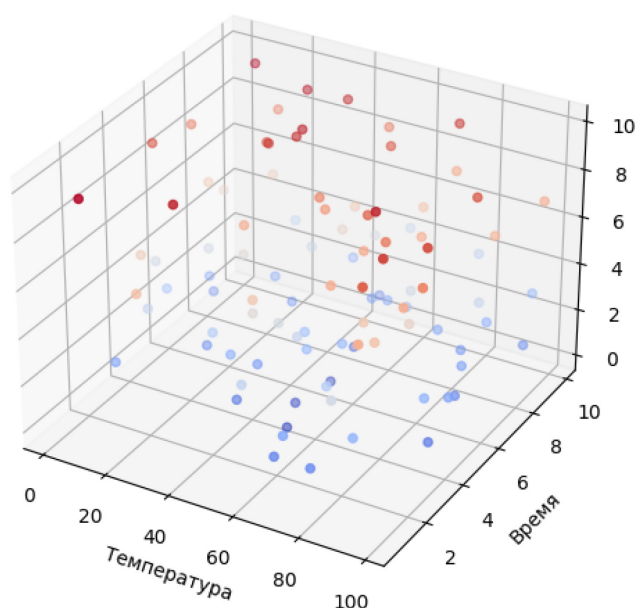


Рис.3 - Трехмерная модель электродвигателя работы электродвигателя с внедренной моделью управления

Трехмерная модель позволила визуализировать и проанализировать взаимосвязи между температурой, временем и скоростью охлаждения электродвигателя. Она позволила подтвердить отсутствие аномалий в работе электродвигателя и дать более полное понимание устойчивости разработанной системы.

Заключение. Таким образом, разработанная модель на основе градиентного спуска с оптимизацией представляет собой улучшенную версию классической схемы управления электродвигателем с эффективностью работы на 9-11% лучше классической схемы при прямом сравнении.

В классической схеме управления, основанной на predetermined правилах и параметрах, управление температурным режимом электродвигателя является менее точным и эффективным. Например, температура может быть контролируема только с использованием фиксированных пороговых значений, что может приводить к избыточному или недостаточному охлаждению.

В предложенной модели использован градиентный спуск с оптимизацией, чтобы настроить параметры модели и адаптировать их под конкретные данные и условия. Это позволяет более точно предсказывать скорость охлаждения электродвигателя на основе текущих температурных значений. Благодаря этому, можно добиться более эффективного и оптимального управления температурным режимом. Путем использования модели на основе градиентного спуска с оптимизацией, можно достичь следующих преимуществ: более точное

предсказание скорости охлаждения электродвигателя, что позволяет более точно контролировать его температурный режим. Оптимальное управление температурным режимом позволяет предотвратить перегрев и повышает энергоэффективность работы электродвигателя. Также реализована гибкость в адаптации к различным условиям и требованиям, так как модель может быть обучена на разных наборах данных и настраиваться под конкретные потребности.

В результате, разработанная модель позволяет достичь более эффективной работы электродвигателя, минимизировать риск перегрева и повысить его энергоэффективность по сравнению с классической схемой управления.

Список литературы

1. Kwon J.Y. *et al.* A Comprehensive Overview of Basic Research on Human Thermal Management in Future Mobility: Considerations, Challenges, and Methods //Sustainability. – 2023. – V. 15. – №. 9. – С. 7335.
2. Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Gorlatov D.V. Modeling and optimization of processes of transportation of heavy cargoes based on the automation of monitoring systems for the motor vehicles movement //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2019. – V. 378. – №. 1. – С. 012069.
3. Olin P. *et al.* Reducing fuel consumption by using information from connected and automated vehicle modules to optimize propulsion system control. – SAE Technical Paper, 2019. – №. 2019-01-1213.
4. Omidvar A. *et al.* Optimizing freeway merge operations under conventional and automated vehicle traffic //Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems. – 2020. – V. 146. – №. 7. – С. 04020059.
5. Chen B. *et al.* Connected vehicles and powertrain optimization //Mechanical Engineering. – 2017. – V. 139. – №. 09. – С. S12-S18.
6. Liu X. *et al.* Optimizing the safety-efficiency balancing of automated vehicle car-following //Accident Analysis & Prevention. – 2020. – V. 136. – С. 105435.
7. Чирков М.А., Лачина Т.А., Чистяков М.С. Знания и информация как синергия платформенного подхода цифровизации глобального развития// Свободная мысль. 2020. С. 37- 44. DOI: 10.24411/0869-4435-2020-00003.
8. Cao Y., Farouk N., Mortezaei N., Yumashev A.V., Akhtar M.N., Arabmarkadeh A. Investigation on microwave absorption characteristics of ternary MWCNTs/CoFe₂O₄/FeCo nanocomposite coated with conductive PEDOT-Polyaniline Co-polymers. *Ceramics International*, 2021, 47(9), 12244-12251.
9. Золкин А.Л., Айзумов Т.Г., Тормозов В.С., Василенко К.А. Нейронечеткие системы в моделировании устройств беспилотных транспортных средств// Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2022. № 4. С. 3-11.
10. Золкин А.Л., Матвиенко Е.В., Осоргин Ю.В. Цифровой мониторинг агроэкосистем на основе космических и беспилотных технологий как основа органического земледелия/ Монография. – М.: Русайнс, 2023. – 66 с.
11. Золкин А.Л., Матвиенко Е.В., Осоргин Ю.В. Обоснование применения современных летательных аппаратов и средств в технологических операциях сельского хозяйства/ Монография. – М.: Русайнс, 2023. – 122 с.

2.3.1.

¹А.Л. Золкин, ²Н.В. Левошич, ³Е.А. Свердликова, ⁴В.А. Пестин¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»,
кафедра «Информатика и вычислительная техника», Самара,²ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,
Департамент логистики и маркетинга, Москва,³ФГБОУ ВО "МГУ им. М.В. Ломоносова",
кафедра экономической социологии и менеджмента, Москва,⁴ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (МИИТ),
кафедра «Цифровые технологии управления транспортными процессами», Москва,
alzolkin@list.ru, NVLevoshich@fa.ru, Elena.sverlikova@gmail.com, va_pst@mail.ru

**РЕАЛИЗАЦИЯ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ОБСЛУЖИВАНИЕМ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ХАБА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ
СРЕДСТВ С РАЗРАБОТКОЙ АППАРАТА ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
УПРАВЛЕНИЯ**

В настоящем исследовании поднимается ряд вопросов проблемно-ориентированного характера, направленных на решение специфических задач комплексного обслуживания комплексов и систем массового обслуживания, применяемых в работе автоматизированных модулей в логистических комплексах и центрах дистрибуции. Авторами акцентируются особенности реализации средств объективного контроля. В вводной части исследования кратко обозначаются существующие тенденции и особенности развития рынка складской логистики в России, обозначается их проблематика на уровне системного проектирования через акцентуацию путей развития данных систем, в частности, из-за зависимости от темпов производства автомобильных грузовых транспортных систем. Объектом настоящего исследования является подсистема управлением снабжением для проектируемого складского комплекса. Целью исследования является разработка модели прототипа системы управления обслуживанием логистического хаба грузовых автомобильных средств с разработкой аппарата эвристических методов управления, основанной на создании средств обработки операций: создание учетно-хронологической (временной) матрицы признаков сходимости (расходимости) функционально значимых элементов объекта внедрения. Авторами рассматриваются математические аспекты разработки матрицы признаков, обозначается ее важное функциональное значение. Формализуется каскадная модель обслуживания заявок на получение технического задания по распределению или хранению номенклатуры товаров. Приводятся предложения по реализации конечного звена системы обслуживания, построенной на принципах радиочастотной идентификации, шифрования и средств деактивации меток с фиксацией во временные матрицы данных необходимой для непараметрического анализа информации с возможностью последующей обработки в форме статистических данных, необходимых для отработки оптимальных стратегий хранения товаров. Разработанная методология является инклюзивной, а рассмотренная модель обслуживания учитывает временно-пространственную характеристику среды хранения товаров и расположения объектов через оценку амбивалентного параметра непараметрического содержания KPI через документально-отчетную модель транзакционного содержания, которая была успешно протестирована средствами управления проектируемой информационно-аналитической среды.

Ключевые слова: складская логистика, автоматическое управление, теория массового обслуживания, идентификация товаров, диспетчеризация и управление технологическими процессами.

Изучение процессов функционирования техносферных объектов с ярко выраженной дуальной иерархией со стороны управления (технического консалтинга), в частности, в транспортных компаниях, требует выработки новых кибернетических принципов к организации моделей взаимодействия и обслуживания комплексных задач: выбора и обоснования, приоритезации, реализации управляемого воздействия и конечно фиксации завершения выполнения цели.

Ключевой проблемой качественного преобразования рынка обслуживания автоматизированных комплексов управления являются текущие представления о неполноте возможностей реализации теории системы [1,8,9] и теории массового обслуживания [2] в полуавтоматические и субъективно-ориентированные узлы автоматического регулирования системами подвижных составов и автомобильных средств по схеме организации, схожей с системой многих единиц, иногда применяемой в грузовом транспорте.

Такие транспортные комплексы всегда подразумевают наличие сложной иерархической дуальной системы организации на уровне управления системой приоритетов и подразумевают сложную зависимость от корректности и своевременности принятия ключевых решений, завязанных на человеческом ресурсе, что, как минимум, обуславливает невозможность полного делегирования работы на технические компьютеризированные комплексы [11,12].

Методы исследования. Существующие на рынке западных стран программные комплексы систем обслуживания и охраны логистических систем не рассматривают важный аспект эффективности складской логистики – реализацию объективного контроля над непараметрическими явлениями, возникающими вследствие технических неисправностей исполнительных устройств.

Обычно данную задачу решают операторы систем обслуживания технологическими звеньями: узлами, агрегатами, машинами [3,4,10]. Безусловно, данный аспект функционирования при наличии линейной системы обслуживания и отлаженных системах поставок не теряет свою эффективность даже в случае отказа в обслуживании технологического оборудования за счет введения резервных мощностей и оперативной диагностики.

Однако, при существующей трансформации складской логистики, вызванной прежде сменой рынков дистрибуции товаров, изменением долей типов транспорта, изменению законодательства (в частности, в контексте норм ввода обязательной и добровольной сертификации на разных этапах транспортировки), а также возникновением ряда иных причин, специфичных для рынка Российской Федерации и стран Евразийского Союза, имеются основания говорить о возникших рисках расширения и масштабируемости существующих и проектируемых внутрипроизводственных логистических систем в контексте неудовлетворительных темпов производства специального автомобильного транспорта, в частности необходимого для развертывания в подсистеме управления снабжением для реализации функций размещения и укладки товара (рис. 1).

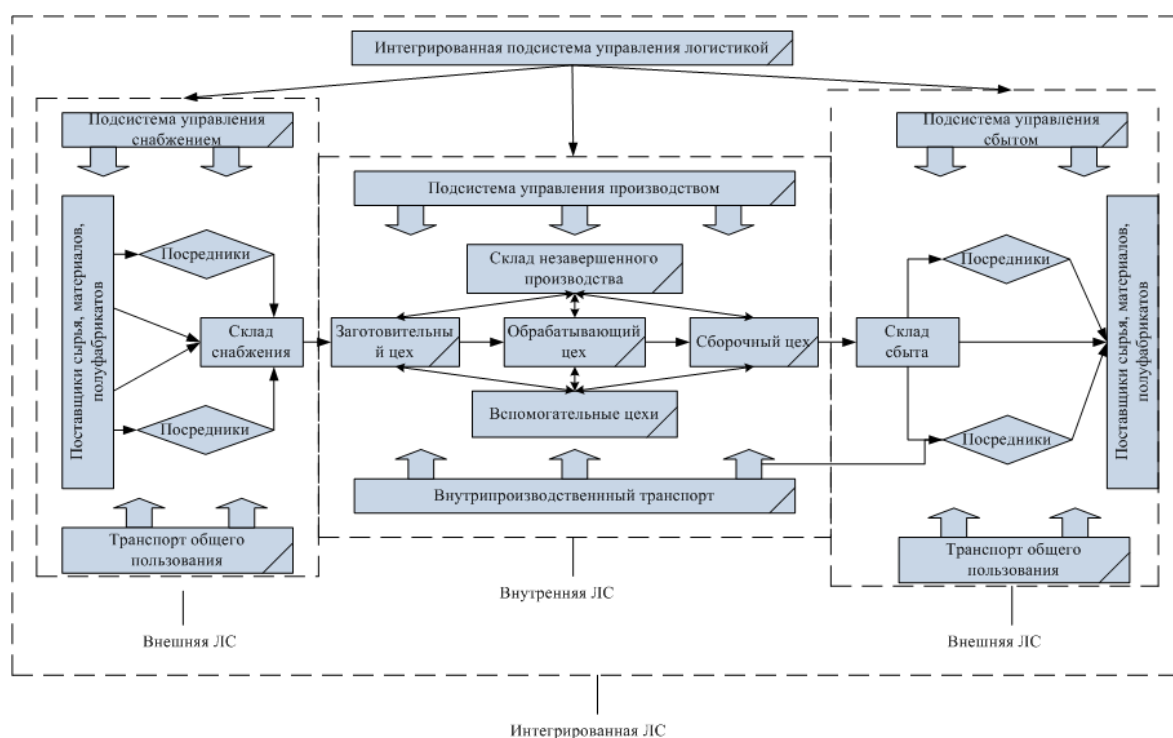


Рис. 1 – Рассматриваемая модель интегрированной подсистемы управлением логистикой

Предметом исследования является автоматизация средств кроссплатформенной поддержки для логистического хаба грузовых автомобилей в Московской области с цепью обслуживания железнодорожных составов на базе РНК Парк МКАД-М4.

Целью настоящего исследования является разработка прототипа системы управления обслуживанием логистического хаба грузовых автомобильных средств с разработкой аппарата эвристических методов управления.

Субъектом изучения являются системно-технические особенности объекта проектирования, которые отражают преимущественно сложно-прогнозируемый и непараметрический характер явлений и параметров, значительно влияющих на временные и иные издержки в обслуживании технологического процесса.

Объектом внедрения разрабатываемого программно-аппаратного комплекса будет здание трехэтажного многофункционального промышленного комплекса общей площадью 129 тыс. квадратных метра, который расположен поблизости от развязки Московской кольцевой автодороги с федеральной трассой М4 «Дон».

Первичной задачей настоящего исследования является создание учетно-хронологической (временной) матрицы признаков сходимости/расходимости функционально значимых элементов объекта внедрения.

Результаты исследования. В данном исследовании применен метод разработки линеаризованных методов оценки степени проявления энтропии непараметрических показателей работы или качества контрастных (динамических) проявлений в среде осуществления комплексной логистической функции, построенной на таблично-топологической вариативной схеме, используемой в качестве предиктора оценки логистической связности на основе некоторого прошедшего эмпирического события, в частности, осуществления тракта грузового обмена (перевозки груза) [5].

Предполагается, что рассматриваемый процесс оценки будет основан на средствах компьютерного зрения через устройства оптической и радиочастотной идентификации.

В процессе реализации предпроектного решения в программной среде Simulink реализован смежный трансцендентный аппарат симуляции: среда обслуживания и непараметрические показатели (геозоны, объекты, водители, статусы заявок, лоаторы).

В процессе разработки функционального обеспечения к информационной системе определены критически значимые (приоритетно-обслуживаемые) и некритические группы оценок.

При разработке метода были введены в терминологический ряд следующие номенклатуры, обозначающие активную работу функционально-значимой составляющей, рассматриваемой открытой техносферной системы [6,7]:

1) система оценки приоритетов в обслуживании автоматизированного логистического хаба;

2) весовая номенклатура активационных функций статически важных узлов (куда включается подгруппа статистически важных узлов логистического комплекса и их территориальных меток);

3) идентификаторы грузов, и идентификаторы считывателей (как инфракрасных, так и LIFI, LIDAR);

4) маркировочные инфракрасные метки и радиочастотные UHF-метки ближнего поля.

С использованием средств имитационного моделирования в среде моделирования информационных потоков была построена система массового обслуживания состояния фасовки в тары и паллеты обобщенной группы материалов с обозначением из имеющейся списочной номенклатуры в некоторое количество товарных единиц в дуальном соотношении, выраженным средствами алгебры дуальных чисел.

Из теории двойственности следует, что с каждой задачей линейного программирования сопряжена другая линейная задача, называемая двойственной. По отношению к ней первоначальная задача называется исходной или прямой. Диалектическое единство исходной и двойственной задач заключается в том, что решение одной из них может быть получено непосредственно из решения другой.

В настоящем исследовании функция принадлежности $f(x)$ выражает номинал расхождения натуральных значений элементов – комплексная группа признаков сходимости и расходимости.

Формула 1 принимает следующий универсальный вид:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \begin{vmatrix} xq0 & xq2 \\ xq1 & xq3 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где:

a_0 – итератор (номенклатурная логистическая единица, например, груз или тип груза, хранящегося в РНК Парк МКАД-М4);

x – постоянный коэффициент сходимости аппроксимирующего характера (определен через эвристическое определение класса принадлежности);

q – вариатор (весовое значение) для непараметрического признака.

Под условными обозначениями суммы ряда подразумевается временно-хронологическая характеристика, где $n = 1$ равно отсчетному периоду t_0 , принятому за момент начала объективного контроля.

Таким образом, матрица признаков сходимости/расходимости для класса нахождения товара по непараметрическим признакам принимает следующий вид (формула 2), где для определения весовой аппроксимации признаков $k(x)$ вводится разность между накоплением времени отслеживания Δt к настоящему моменту времени t_n :

$$k(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \begin{vmatrix} xq0 & xq2 \\ xq1 & xq3 \end{vmatrix} * \sum_{n=1}^{\infty} (\Delta t - t_n), \quad (2)$$

Данная мера (формула 2) необходима для обозначения и категоризации товаров с маркировочными инфракрасными или магнитными метками, имеющими возможность отключения идентификации со временем (в силу деактивации).

В качестве средства управления был разработан сложный эвристический метод оценки эффективности заявки обслуживания, который представлен на рисунке 2.

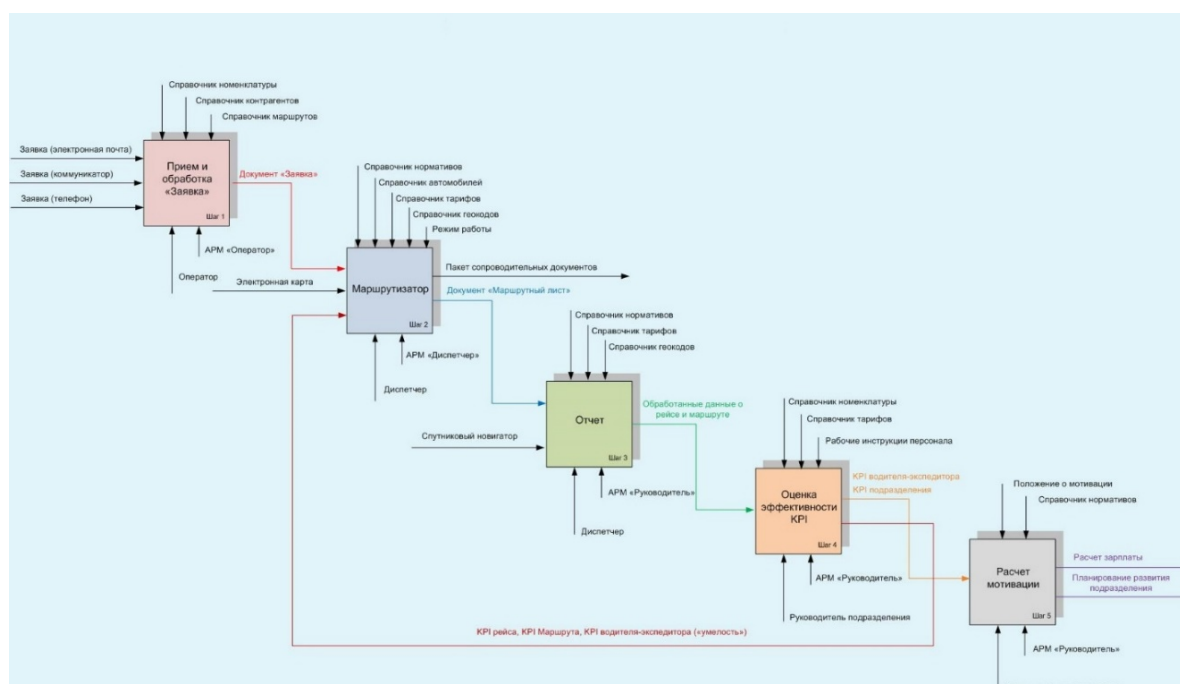


Рис. 2 – Модель эвристического обслуживания логистического комплекса

Он представляет собой оценку амбивалентного параметра непараметрического содержания КРІ через документально-отчетную модель транзакционного содержания: на некоторый модуль обработки и приема «заявки» со стороны оператора или его автоматизированной репликации (что подчеркивает дуализм) приходит информационная единица обмена информации через средства мгновенного обмена информации (коммуникатор рабочего, телефон поставщика, электронную почту подрядчика и т.д.) на получение/выдачу/хранение/передачу товара в логистический комплекс.

Оценка эффективности (КРІ) и выставление приоритета базируется на эвристике определения разности номиналов между $k(x)$ в сторону большей (т.е. приоритетной – весово-значимой) в цепи обслуживания, а также в дуальной динамике с КРІ рейса, КРІ маршрута и т.д с весовыми коэффициентами, расставляемыми в соответствии с типом заявки на первоначальном этапе работе.

В силу отсутствия эмпирического опыта работы объекта внедрения (т.к. логистический хаб находится на этапе ввода в строй), фактическими данными выступили эвристически сформированные кодификаторы и номенклатуры в системе заявок и обслуживания товаров в системе 1С: Предприятие, которые были разработаны проектировщиками экономического комплекса предприятия на этапе выяснения структурных связей и субъектной стороны производств.

При разработке принципиальной схемы взаимодействия разрабатываемой киберфизической системы массового обслуживания и управления учитывалось закладывание всех необходимых требований по сетевой и информационной безопасности системы – т.е. учитывались временные задержки в передаче информации между ресиверами и трансиверами в силу необходимости реализации на устройства считывания информации о грузах механизм блокировки на основе хеша, который решает большинство наших проблем с конфиденциальностью.

На теоретическом уровне в ходе исследования сформулировано решение реализации задачи управления состоянием системы обслуживанием товаров, основанной на временных и непараметрических признаках сходимости отдельно взятых грузов во временно-хронологической последовательности.

Разработана матричная модель изучения признаков: через определение целевой функции, а также через возможности последующего исследования функциональных ограничений исходной задачи – например, через критерий времени. что хорошо показано в формализации функции $k(x)$.

Практическим результатом исследования стала формализация обобщенной модели проектирования состояния конфигурации и эксплуатации разрабатываемого комплекса обслуживания (рис. 3).

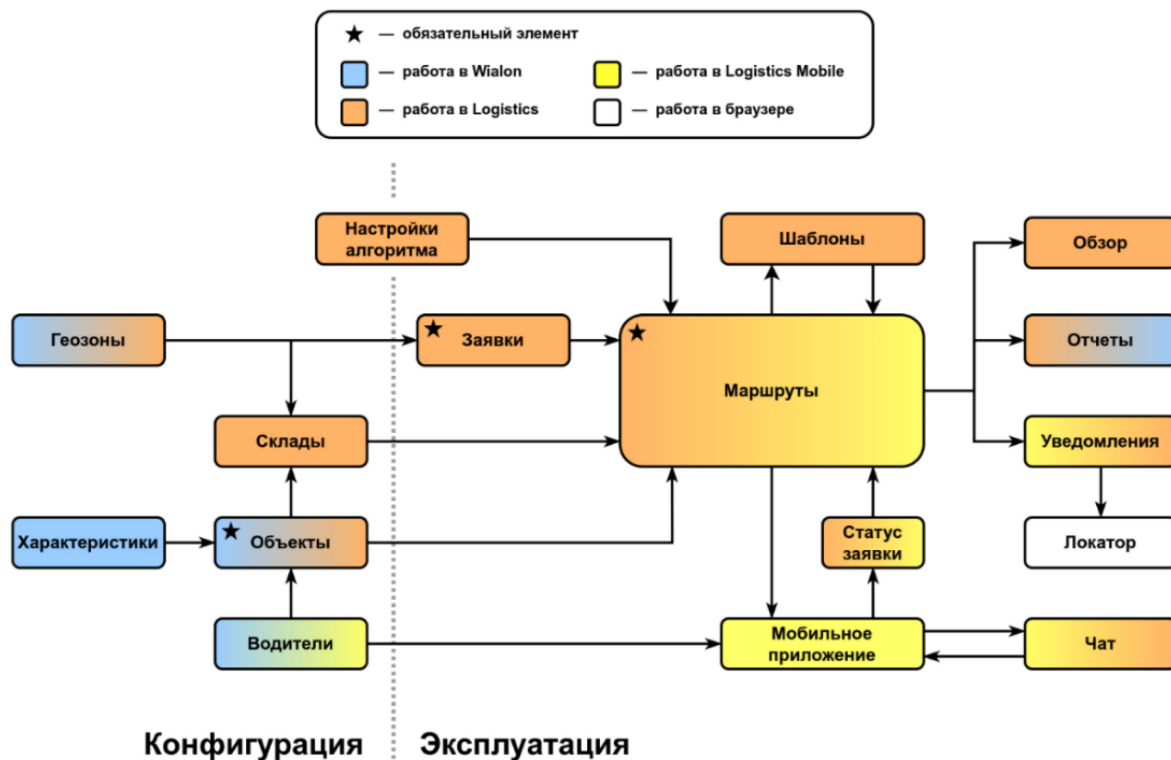


Рис.3 – Разработанный конфигурационно-эксплуатационный комплекс с учетом внедрения эвристического модуля в комплекс «заявки» в системе обслуживания логистического комплекса

Заключение. Таким образом, разработанный программный модуль с внедрением математического аппарата имеет важное функциональное значение в системах оценки приоритетов расстановки грузов, основанных на их поведении во временной плоскости, когда другие параметры, в том числе, знакового или символического содержания не несут никакой значимой информации, или заданы в виде наличествующей информационной энтропии. Подразумевается непосредственное внедрение и апробация разработанного метода и инфологической карты в конкретную реализацию автоматизированного программного комплекса радиочастотной идентификации с учетом тенденций развития и применения киберфизического окружения грузов и их временно-пространственной характеристики.

Список литературы

1. *Berchet C., Habchi G.* The implementation and deployment of an ERP system: An industrial case study //Computers in industry. – 2005. – V. 56. – №. 6. – P. 588-605.
2. *Shen W.* Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review //Advanced engineering informatics. – 2010. – V. 24. – №. 2. – P. 196-207.
3. *Madubuike O.C., Anumba C.J., Agapaki E.* Scenarios for digital twin deployment in healthcare facilities management //Journal of Facilities Management. – 2023. – №. ahead-of-print.
4. *Saleem M.U., Usman M.R., Shakir M.* Design, implementation, and deployment of an IoT based smart energy management system //IEEE Access. – 2021. – V. 9. – C. 59649-59664.
5. *Djumentara U.A., As'Adi M., Dewi A.C.* The Implementation of Maintenance Quality Function Deployment (MQFD) to Improve the Quality Maintenance Management for the Upstream Oil and Gas Industry //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 1899. – №. 1. – C. 012087.
6. *Prieto-Diaz R.* Implementing faceted classification for software reuse //Communications of the ACM. – 1991. – V. 34. – №. 5. – P. 88-97.
7. *Rastegari A., Mobin M.* Maintenance decision making, supported by computerized maintenance management system //2016 annual reliability and maintainability symposium (RAMS). – IEEE, 2016. – P. 1-8.
8. *Чистяков М.С.* Интегрированные информационные цифровые платформы как преамбула развития транспорта и логистики «Индустрии 4.0» // Материалы XI Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы». – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 667-671.
9. *Yumashev A.V., Azizova Kh.Sh., Safargaleeva A.F., Petrenko E.G., Moskovchenko N.N., Grishchenko O.V.* Economics and pricing of certain segments of the pharmaceutical market. Journal of Complementary Medicine Research. 2023. V. 14. № 3, 116-120.
10. *Гридина Д.В., Зайцев К.А., Золкин А.Л.* Исследование значения управления взаимоотношениями с клиентами на конкурентном рынке логистических услуг// Вестник транспорта Поволжья. 2020. № 6 (84). С. 46-52.
11. *Золкин А.Л., Куныгина Л.В., Попова Е.А., Журавлева И.В.* Разработка автоматизированной системы управления перевозками грузов с внедрением аппарата нечеткого управления// Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 7. С. 142-148.
12. *Мунистер В.Д., Золкин А.Л., Кольцов А.Н., Скибин Ю.В.* Принципы интеграции генеративно-состязательных сетей в самоорганизующиеся встраиваемые системы транспортной индустрии// В сборнике: Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. 2021. С. 118-122.

2.3.1.

¹А.Л. Золкин, ²Е.В. Ломакина, ³В.А. Сенков, ⁴В.Е. Ожиганов¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»,

кафедра «Информатика и вычислительная техника», Самара,

²ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет»,

кафедра «Физико-математических дисциплин», Москва,

³ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина»
(Технологии. Дизайн. Искусство),

кафедра «Экономической безопасности, аудита и контроллинга», Москва,

⁴ФГУП РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

(ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ"), Нижегородская обл., Саров,

alzolkina@list.ru, elomakina@mgupp.ru, senkov-va@rguk.ru, staff@vniief.ru

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭКВАЙРИНГОМ ГИПЕРМАРКЕТА НА ОСНОВЕ ХЭШ-НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНЗАКЦИЙ И КВАНТОВОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ

В настоящем исследовании авторами рассматриваются вопросы создания системы обслуживания эквайрингом гипермаркета на основе хэш-нечеткого регулирования транзакций. Предлагается комплексный подход, который объединяет методы хэширования, нечеткой логики и квантовых алгоритмов для обеспечения безопасности, эффективности и оптимизации обработки платежей. В работе разрабатывается архитектура системы, определяющая основные компоненты и их взаимодействие. Модуль хэш-нечеткого регулирования транзакций играет центральную роль, определяя правила обработки на основе хэш-функций и нечеткой логики. Также рассматривается внедрение квантовых алгоритмов, которые способны оптимизировать различные задачи обработки платежей, включая аутентификацию, поиск оптимальных маршрутов и обнаружение мошеннических операций. Представленная система обладает рядом преимуществ. Она обеспечивает высокий уровень безопасности платежных транзакций, благодаря использованию хэш-функций и проверке аутентичности. Кроме того, система эффективна и масштабируема, позволяя обрабатывать большие объемы транзакций с минимальными задержками. Интеграция квантовых алгоритмов позволяет оптимизировать процессы обработки и повысить эффективность системы. Разработанная модель имеет важное значение для развития систем обслуживания эквайрингом и обработки платежей. Авторами рассматриваются новые методы регулирования транзакций, объединяющие различные технологии и подходы. Это открывает перспективы для создания безопасных, эффективных и инновационных платежных систем в гипермаркетах и розничных сетях. Дальнейшее исследование и внедрение предложенной системы может способствовать совершенствованию процессов обработки платежей и повышению удовлетворенности клиентов. В дополнение к этому, в статье представлены исследования в области квантовой аутентификации. Разработана модель квантовой аутентификации платежных транзакций, основанная на протоколе квантового распределения ключей (QKD). Эта модель обеспечивает дополнительный уровень безопасности и защиты от мошеннических операций. В заключение, предложенная система обслуживания эквайрингом на основе хэш-нечеткого регулирования и квантовой аутентификации представляет собой качественно новое решение для обработки платежей в гипермаркетах. Она позволяет обеспечить высокую эффективность, безопасность и оптимальное обслуживание клиентов, что делает ее привлекательным выбором для современных розничных сетей и гипермаркетов.

Ключевые слова: эквайринг, хэш-нечеткое регулирование, обработка транзакций, квантовая аутентификация, оптимизация обслуживания.

Современные гипермаркеты и розничные сети сталкиваются с постоянно растущим потоком платежных транзакций. Обработка этих транзакций и обеспечение их безопасности становятся важными задачами для гипермаркетов, которые стремятся предоставить клиентам быструю и безопасную платежную систему. Вместе с тем, с ростом объема данных и возрастающей сложностью транзакций, необходимо разработать эффективные методы обработки и регулирования платежей.

Для обработки и регулирования платежных транзакций в гипермаркетах существует несколько путей, которые помогают обеспечить эффективность и безопасность платежной системы. В частности, гипермаркеты могут использовать современные платежные технологии, такие как мобильные платежи, электронные кошельки, NFC-технологии и другие. Это позволяет клиентам совершать платежи быстро и удобно, а также обеспечивает более безопасную передачу платежных данных [1,2,6,7].

Методы исследования. Для определения правил обработки платежных транзакций можно использовать алгоритмы регулирования, такие как хэш-нечеткое регулирование. Эти алгоритмы позволяют определить правила на основе параметров транзакций и анализа данных, что помогает эффективно обрабатывать транзакции и предотвращать мошенничество [3,8].

Гипермаркеты должны обеспечивать защиту платежных данных клиентов. Внедрение системы защиты данных, такой как шифрование, многофакторная аутентификация и меры безопасности сети, помогает предотвратить несанкционированный доступ и утечку конфиденциальной информации [4,9,10].

Комбинирование этих подходов позволяет гипермаркетам обеспечить наиболее эффективную и безопасную обработку платежных транзакций. Каждый гипермаркет может выбрать сочетание методов, наиболее подходящих для их конкретных потребностей и требований безопасности (рис. 1).



Рис. 1 – Разработка систем обслуживания эквайрингом гипермаркетом (граф-схема)

Целью исследования является разработка комплексной системы обслуживания эквайрингом гипермаркета на основе хэш-нечеткого регулирования транзакций, а также описание ее применимости и преимуществ в контексте обработки платежей и обеспечения безопасности в гипермаркете.

Необходимо также учитывать, что к предъявляемой системе обслуживания эквайрингом должны быть предъявлены функциональные требования, такие как: способность обрабатывать различные типы карт (кредитные, дебетовые и др.), работать с различными платежными системами, чтобы обеспечить удобство для клиентов.

Создание системы обслуживания эквайрингом для гипермаркета на основе хэш-нечеткого регулирования и квантовой аутентификации транзакций может включать несколько шагов.

В рамках разработки системы обслуживания эквайрингом предлагается использовать математическую модель сквозного хэширования для регулирования транзакций.

Эта модель основана на применении хэш-функций и нечеткой логики для определения правил обработки платежей [5].

Принцип работы модели заключается в следующем: каждая платежная транзакция проходит через процесс хэширования, где ей присваивается уникальный хэш-код. Хэш-код используется для определения категории платежа и применения соответствующих правил обработки. Правила обработки определяются на основе нечеткой логики и учитывают различные факторы, такие как сумма платежа, тип карты, предыдущая история транзакций и другие параметры. В зависимости от результата применения правил, транзакция может быть автоматически принята, отклонена или требовать дополнительной проверки. Основным компонентом системы является алгоритм хэш-нечеткого регулирования транзакций, который определяет правила обработки и регулирования платежей на основе хэш-функций и нечеткой логики.

Результаты исследования. Алгоритм хэш-нечеткого регулирования транзакций состоит из следующих шагов:

1. система получает информацию о платежной транзакции, включая сумму платежа, тип карты, предыдущую историю транзакций и другие факторы, влияющие на обработку;
2. используя хэш-функцию, аппарат генерирует уникальный хэш-код для каждой транзакции на основе ее параметров. Хэш-код представляет собой уникальную строку символов, которая служит идентификатором транзакции;
3. модель использует нечеткую логику для определения правил и условий обработки транзакций. Нечеткая логика позволяет учесть различные варианты и ситуации при принятии решений, учитывая неопределенность и нечеткость входных данных;
4. сгенерированный хэш-код транзакции сопоставляется с набором правил и условий, определенных в системе. Правила могут основываться на диапазонах сумм платежей, ограничениях на типы карт, предыдущей истории транзакций и других факторах;
5. на основе сопоставления с правилами, система принимает решение о дальнейшей обработке транзакции. Решение может включать одобрение, отклонение или перенаправление транзакции для дополнительной проверки;
6. в случае одобрения, система выполняет обработку платежа и осуществляет соответствующие финансовые операции, связанные с транзакцией;
7. внедряется квантовая система аутентификации транзакции.

Система обслуживания эквайрингом также включает инфологическую модель сквозного хэширования для обеспечения уникальности и целостности данных. Она включает следующие шаги: в начале обработки, система инициализирует хэш-функцию, которая будет использоваться для генерации хэш-кодов. Для каждой транзакции, система использует хэш-функцию для расчета хэш-кода на основе параметров транзакции.

Система проверяет уникальность сгенерированного хэш-кода, чтобы избежать дублирования и конфликтов в данных. Если обнаруживается конфликт, система выполняет дополнительные действия для разрешения конфликта и обеспечения уникальности хэш-кодов.

Сгенерированные хэш-коды транзакций хранятся в базе данных или другом хранилище

для последующего использования и сопоставления с правилами в соотношении с разработанной матрицей платежных состояний.

Матрица состояний платежной системы представляет собой таблицу (табл. 1), в которой перечислены все возможные состояния, в которых может находиться транзакция в процессе обработки. Каждая строка таблицы соответствует определенному состоянию, а каждый столбец представляет действие или событие, которое может произойти с транзакцией. Значения в ячейках матрицы указывают на следующее состояние, в которое перейдет транзакция после выполнения определенного действия или события.

В этом примере матрица состоит из 4 состояний: "Новая", "В процессе", "Авторизована" и "Отклонена". Каждая ячейка в матрице указывает на следующее состояние, в которое перейдет транзакция после выполнения определенного действия или события. Например, если транзакция находится в состоянии "В процессе" и производится проверка баланса, она останется в том же состоянии. Однако, если транзакция находится в состоянии "В процессе" и происходит отмена платежа, она перейдет в состояние "Отклонена".

Матрица состояний платежной системы является важным инструментом для анализа и планирования обработки транзакций, позволяя определить последовательность состояний и действий, которые может пройти транзакция в системе.

Таблица 1 – Матрица состояний платежной системы для гипермаркета (исходный вид)

Состояния / Действия	Проверка баланса	Аутентификация	Проведение платежа	Отмена платежа	Завершение платежа
Новая	В процессе	-	-	-	-
В процессе	-	В процессе	В процессе	Отмена	Завершена
Авторизована	-	-	В процессе	Отмена	Завершена
Отклонена	-	-	-	-	-

Обновленная Матрица состояний включает нечеткие хэш-состояния, такие как "Недостаточно средств", "Некорректная карта" и "Платеж превышает лимит" (табл. 2). Эти состояния позволяют учесть нечеткую логику и различные условия, которые могут возникнуть при обработке платежей в гипермаркете.

Нечеткие хэш-состояния представлены в виде нечетких лингвистических переменных, которые отражают определенные условия или параметры, связанные с транзакциями.

Например, состояние "Недостаточно средств" может иметь различные уровни нечеткости, от "Низкий" до "Высокий", отражающие разные уровни недостаточности средств на счете клиента.

Добавление нечетких хэш-состояний в Матрицу состояний позволяет более точно моделировать процесс обработки платежей, учитывать различные условия и параметры, а также принимать соответствующие решения на основе нечеткой логики. Это помогает повысить эффективность обработки платежей и улучшить качество обслуживания клиентов в гипермаркете.

Таблица 2 – Матрица состояний платежной системы для гипермаркета (нечеткий модификатор)

Состояния / Действия	Проверка баланса	Аутентификация	Проведение платежа	Отмена платежа	Завершение платежа
Новая	В процессе	-	-	-	-
В процессе	-	В процессе	В процессе	Отмена	Завершена
Авторизована	-	-	В процессе	Отмена	Завершена
Отклонена	-	-	-	-	-
Недостаточно средств	Нечеткое: Недостаточно средств	-	Нечеткое: Недостаточно средств	-	-

Состояния / Действия	Проверка баланса	Аутентификация	Проведение платежа	Отмена платежа	Завершение платежа
Некорректная карта	-	Нечеткое: Некорректная карта	Нечеткое: Некорректная карта	-	-
Платеж превышает лимит	Нечеткое: Превышение лимита	-	Нечеткое: Превышение лимита	-	-

База данных позволяет хранить информацию о каждой транзакции, включая сумму платежа, тип карты, статус, связанные данные клиента и историю изменений транзакции. Можно использовать SQL для создания таблиц и связей между ними в соответствии со схемой базы данных (рис. 2).

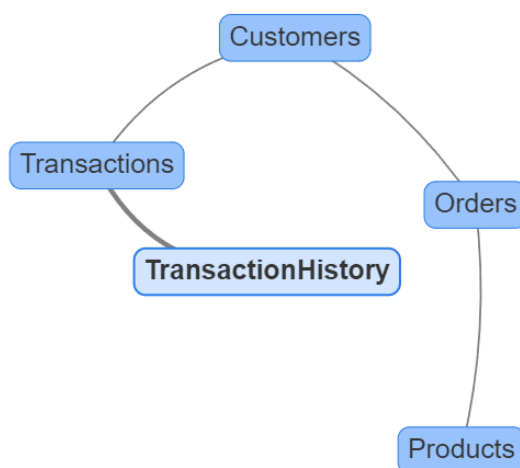


Рис. 2 – Схема база данных контура обеспечения транзакционного взаимодействия

Определение основных параметров и разработка набора правил (рис. 3) для регулирования транзакций зависит от конкретного контекста и требований конкретного проекта или бизнес-сценария.



Рис. 3 – Логическая схема аппаратного модуля, который будет реализовывать функции системы обслуживания эквайрингом на основе хэш-нечеткого регулирования транзакций

Ниже представлены некоторые примеры основных параметров и правил, которые могут быть использованы в алгоритме хэш-нечеткого регулирования транзакций.

Сумма платежа: определение диапазона сумм платежей, например, от 0 до 1000 единиц валюты.

Тип карты: различные типы карт (например, кредитная карта, дебетовая карта, виртуальная карта).

Предыдущая история транзакций: анализ предыдущих транзакций клиента, включая суммы, типы транзакций и частоту.

Местоположение: определение местоположения совершения транзакции (страна, регион и т.д.). Время совершения транзакции: учет времени суток или дня недели, когда совершается транзакция.

Примеры правил и условий:

- правило 1: если сумма платежа больше 1000 единиц, требуется дополнительная аутентификация или подтверждение;
- правило 2: если тип карты – виртуальная карта, то допускается только одна транзакция в течение 24 часов;
- правило 3: если предыдущая история транзакций показывает большое количество неудачных попыток, то транзакция может быть отклонена;
- правило 4: если местоположение транзакции отличается от обычного местоположения клиента, может потребоваться дополнительная аутентификация;
- правило 5: если транзакция совершается в нерабочее время (например, ночью), может потребоваться дополнительное подтверждение.

В свою очередь, необходимая интеграция квантовых алгоритмов в систему обработки платежей может быть осуществлена следующим функциональным образом: алгоритмы на основе квантовых вычислений могут обеспечить более надежное и безопасное распознавание биометрических данных клиентов, таких как отпечатки пальцев или голосовые данные. Квантовая модель аутентификации транзакции может быть представлена с использованием квантовых состояний и операций. Одним из примеров квантовой модели аутентификации является протокол аутентификации на основе квантовых ключей (Quantum Key Distribution, QKD).

Формула для квантовой модели аутентификации может быть представлена следующим образом: пусть $|0\rangle$ и $|1\rangle$ – базисные состояния кубита (квантового бита).

Генерация квантового ключа: аутентификатор (А) генерирует случайный квантовый ключ состояний $|0\rangle$ и $|1\rangle$.

Квантовые состояния отправляются по квантовому каналу к получателю (В).

Аутентификация транзакции: при получении квантового ключа от аутентификатора, получатель (В) генерирует случайную последовательность битов (R).

Получатель (В) применяет операцию наложения квантовых состояний на квантовый ключ, используя операторы Хэдамарда и Уолша-Адамарда.

После применения операций наложения состояний, получатель (В) отправляет измененный квантовый ключ обратно аутентификатору (А).

Проверка подлинности: аутентификатор (А) сравнивает измененный квантовый ключ с ожидаемым квантовым ключом, сгенерированным им в начале процесса.

Если измененный квантовый ключ совпадает с ожидаемым, аутентификатор (А) подтверждает подлинность транзакции.

Квантовая модель аутентификации на основе протокола QKD использует принципы квантовой механики для обеспечения безопасности и аутентификации транзакций.

Важными элементами этой модели являются генерация и передача квантовых ключей, а также операции наложения квантовых состояний для проверки подлинности.

Квантовая аутентификация платежной транзакции с использованием протокола QKD может быть реализована на языке программирования, например, Python. Оценка производительности системы обслуживания эквайрингом может быть проведена с помощью тестирования и сравнения с другими существующими решениями. Важно учитывать контекст и конкретные требования гипермаркета или розничной сети при оценке производительности системы. Результаты тестирования и оценки производительности могут служить основой для дальнейшего совершенствования и оптимизации системы с целью достижения высокой производительности и эффективности обработки платежей.

Заключение. Таким образом, в данном исследовании рассмотрена система обслуживания эквайрингом гипермаркета на основе хэш-нечеткого регулирования транзакций. Представлена архитектура системы, описаны ключевые компоненты и их взаимодействие, а также разработан алгоритм хэш-нечеткого регулирования транзакций. Выполненное исследование вносит вклад в область разработки систем обслуживания эквайрингом и обработки платежей, предлагая новые методы регулирования транзакций на основе хэш-нечеткого подхода и учитывает потенциал внедрения квантовых технологий. Дальнейшее развитие и применение этих идей может привести к улучшению безопасности, эффективности и надежности систем обработки платежей в гипермаркетах и других розничных сетях.

Список литературы

1. *Acampora G. et al.* An interval type-2 fuzzy logic based framework for reputation management in Peer-to-Peer e-commerce //Information Sciences. – 2016. – V. 333. – С. 88-107.
2. *Nafi K.W. et al.* A fuzzy logic based certain trust model for E-commerce //2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV). – IEEE, 2013. – P. 1-6.
3. *Shapiro A. F.* Fuzzy logic in insurance //Insurance: Mathematics and Economics. – 2004. – V. 35. – №. 2. – P. 399-424.
4. *Ram M.* Advanced fuzzy logic approaches in engineering science. – IGI Global, 2018.
5. *Bouchon-Meunier B., Yager R. R., Zadeh L. A.* Fuzzy logic and soft computing. – World Scientific, 1995. – V. 4.
6. *Yumashev A.V., Azizova Kh.Sh., Safargaleeva A.F., Petrenko E.G., Moskovchenko N.N., Grishchenko O.V.* Economics and pricing of certain segments of the pharmaceutical market. Journal of Complementary Medicine Research. 2023. V. 14. № 3, 116-120.
7. *Чистяков, М.С.* Форсайт-технология планирования и прогнозирования эвентуального будущего в контексте реиндустриального развития России // Промышленность и сельское хозяйство. – 2020. – №11(28). – С. 95-101.
8. *Кнышов А.В., Золкин А.Л., Чистяков М.С.* Взаимоотношения стейкхолдеров в результатах коммерческой деятельности компании в теории бизнес-анализа// В сборнике: Проблемы развития предприятий: теория и практика. Сборник статей X Международной научно-практической конференции. Под научной редакцией В.И. Будиной. Пенза, 2023. С. 326-337.
9. *Косникова О.В., Золкин А.Л., Лосев А.Н., Чистяков М.С.* Управление функционированием и развитием малого предпринимательства в сфере услуг/ Монография. – Краснодар: Новация, 2022. – 162 с.
10. *Косников С.Н., Золкин А.Л., Сараджеева О.В., Урусова А.Б.* Состояние рынка Business Intelligence как инструмента анализа и обработки данных/ Монография. – Краснодар: Новация, 2023. – 161 с.

2.3.1.

Е.А. Муравьева, А.Д. Гайдукова

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Институт химических технологий и инжиниринга,
кафедра АТИС,
Стерлитамак, muraveva_ea@mail.ru, sasha.gaydukova.2002@mail.ru

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЛОННЫ РЕКТИФИКАЦИИ ИЗОПЕНТАН - ИЗОАМИЛЕНОВОЙ ФРАКЦИИ

В данной статье представлена разработка нейросетевой системы управления ректификационной колонной для разделения изопентан - изоамиленовой фракции с целью повышения эффективности управления технологическими процессами ректификации с использованием интеллектуальных технологий. Обоснована целесообразность использования для управления параметрами колонны интеллектуальных технологий путем применения нейросетевого регулятора. Обработка результатов исследований производилась с применением программного обеспечения «MatLab».

Ключевые слова: ректификация, изопентан - изоамиленовая фракция, параметр, разработка, нейронная сеть, построение, обучение.

В данной статье представлена разработка интеллектуального комплекса для адаптивного управления параметрами колонны для ректификации изопентан - изоамиленовой фракции с целью повышения эффективности управления технологическими процессами ректификации путем использования интеллектуальных технологий.

Основные закономерности процесса и определение входных и выходных данных

Для поддержания стабильности технологического процесса ректификации целесообразно управлять технологическими параметрами в колоннах. На основании многочисленных исследований была разработана искусственная нейронная сеть, которая применяется для управления основными параметрами ректификационной колонны, а именно: уровень в кубе колонны поз. LC-23 - 1, температура куба поз. TC-26 - 1, расход фракции C5 - C6 поз. FC-10 - 1 и расход пара в кипятильники поз. FC-30 - 1 (рисунок 1).

Процесс ректификации является непрерывно - поточным.

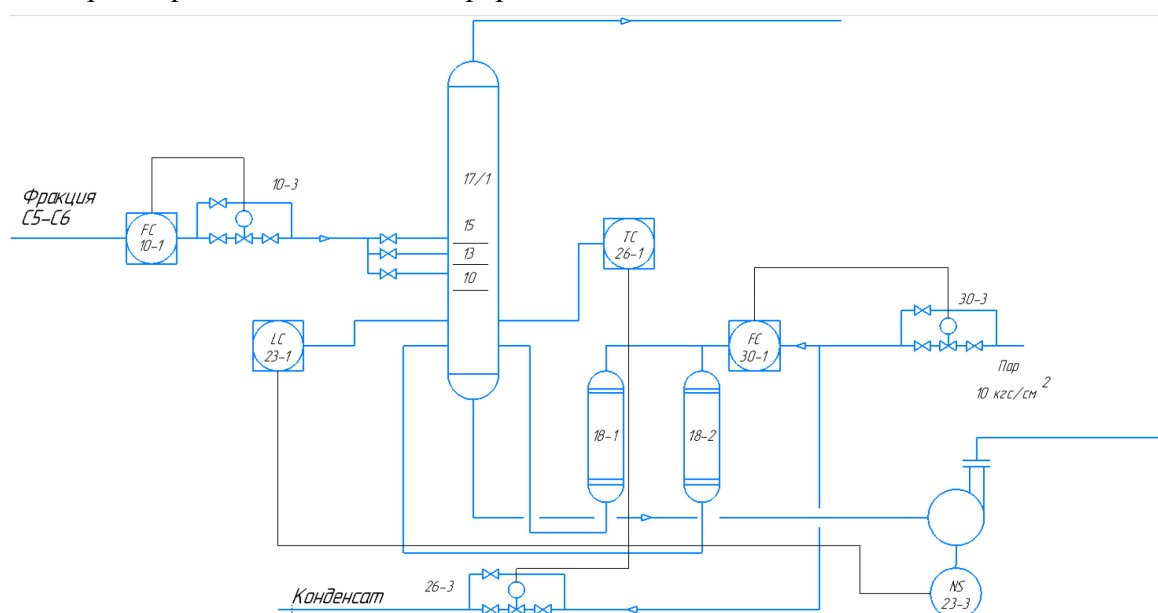


Рис. 1 – Функциональная схема автоматизации процесса ректификации изопентан - изоамиленовой фракции

Для решения задачи с помощью нейронной сети необходимо собрать данные для обучения. На выходной параметр степень открытия клапана поз. 10 - 3 и 30 - 3 влияют входные параметры по приведенным ниже зависимостям. Выходные данные рассчитали по формулам

$$F_1 = \frac{G}{230 * P_1} * \sqrt{t_1 + 273} \quad (1)$$

где F_1 – степень открытия клапана на подачу пара для нагрева куба колонны;

G – расход водяного пара, кг/ч;

p_1 – давление на входе клапана, кгс/см²;

t_1 – температура среды на входе клапана, °C;

$$F_2 = Q \sqrt{\frac{\rho}{1000 * \Delta p}}, \quad (1)$$

где F_2 – степень открытия клапана на подачу перетекаемой изопентан - изоамиленовой фракции;

Q – расход сырья;

ρ – плотность жидкости;

Δp – перепад давления на клапане

Далее подготовим данные для обучения нейронной сети.

На вход нейронной сети будут подаваться 4 значений:

1. Температура куба ректификационной колонны.
2. Уровень в кубе ректификационной колонны.
3. Расход пара, идущего на нагрев куба ректификационной колонны.
4. Расход перетекаемой изопентан - изоамиленовой фракции.

На выходе нейронная сеть должна рассчитать:

1. F_1 – % открытия клапана на подачу пара.
2. F_2 – % открытия клапана на подачу сырью.

Разработка нейронной сети

Для разработки самообучающейся нейронной сети была использована программная среда Matlab с предустановленным пакетом Matlab Neural Network Toolbox.

На рисунке 2 показана выбранная структура искусственной нейронной сети. На вход нейронной сети поступает сигнал x , в нашем случае, это температура куба колонны поз. 26 - 1, уровень куба колонны поз. 23 - 1, расход фракции C5 - C6 поз. 10 - 1, расход пара поз. 30 - 1. Сумматор «+» умножает каждый вход b_i на вес w_i и суммирует взвешенные входы. Затем значение проходит через функцию активации соответствующего слоя и рассчитывается выход: открытие клапана на подачу пара поз. 30 - 3, открытие клапана на подачу фракции C5 - C6 поз. 10 - 3.

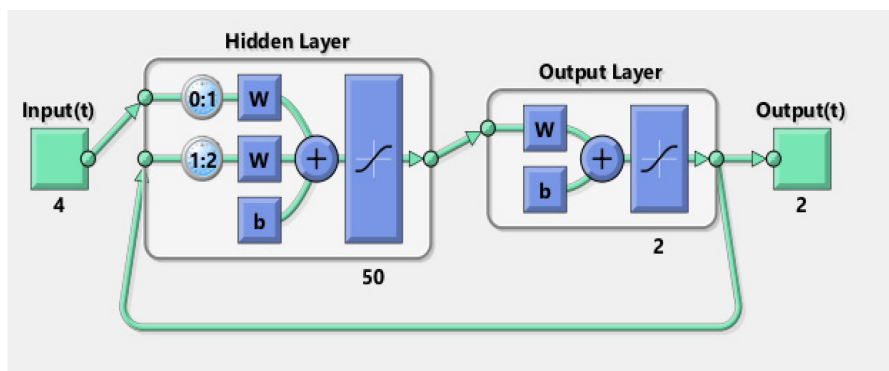


Рис. 2 – Структура нейронной сети

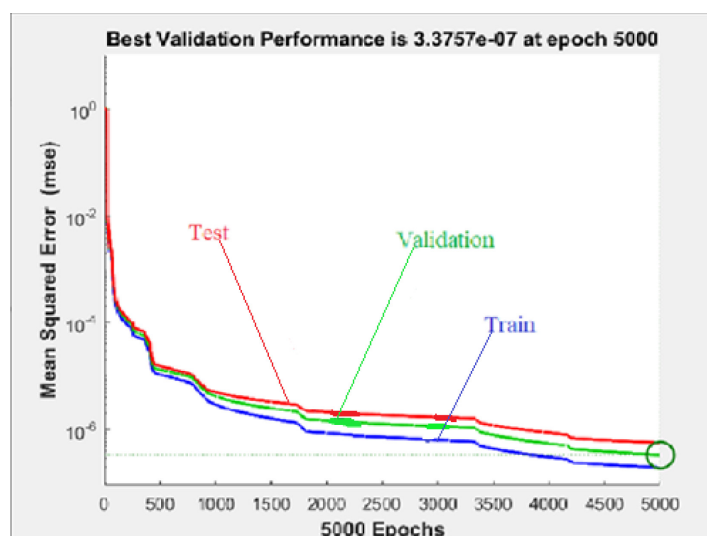


Рис. 3 – График обучения сети

На рисунке 3 можно увидеть, что для 5000 итераций достигается значение среднеквадратичной ошибки 10^{-6} .

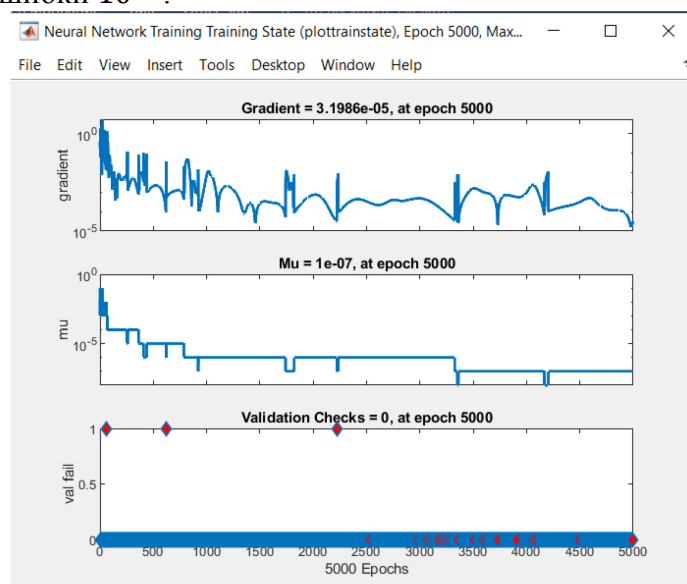


Рис. 4 – Графики обучения сети

Получены графики состояния обучения, изображенные на рисунке 5. На первом графике видно, что чем ближе значение коэффициента градиента приближено к нулю, тем точнее будет проводиться обучение и тестирование нейронной сети.

С использованием нейронной сети NARX с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки построена модель функциональных взаимосвязей между технологическими факторами и показателями качества продукции в сложном технологическом процессе ректификации изопентан - изоамиленовой фракции.

Список литературы

1. *Muravyova E.A.*, Control of the Pyrolysis Fraction Cleaning Process Using a Neural Network. Proceedings – 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020, 2020, стр 63 - 67.
2. *Muravyova E.A.* Development of a neural network to control the process of cleaning the pyrolysis fraction from acetylene compounds. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 458(3).
3. *Muravyova E.A., Yurasov A.O.* A Neural Network - Based Control System Using PID Controller to Control the Deaerator. Proceedings - 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020, 2020, стр. 73 - 77.
4. *Muravyova E.A., Uspenskaya N.N.* Development of a Neural Network for a Boiler Unit Generating Water Vapour Control. Optical Memory and Neural Networks, 2020, Vol. 27, No. 4, pp. 297 - 307.
5. *Emilson Pereira Leite; Carlos Roberto de Souza Filho* TEXTNN - программа MATLAB для текстовой классификации с использованием нейронных сетей, 2020.
6. *Бранчик Любомир* Использование MATLAB при моделировании линейных гибридных схем, 2020.
7. *Джей Норберто Пирес* Использование Matlab для сопряжения промышленного робототехнического и автоматизированного оборудования, 2020.
8. *Ун - Сенг Гань* Переход от Simulink к MATLAB в обучении цифровой обработке сигналов в реальном времени, 2020.

2.3.1.

¹Нгуен Тхи Тху, ²Р.С. Зарипова, ¹Нгуен Фук Хау¹Университет Шао-До, г. Чи Линь, провинция Хай Зыонг, Вьетнам,²Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия,¹phuchauptit@gmail.com, ²zarim@rambler.ru**BIG DATA: ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ НА ПРАКТИКЕ**

В эпоху цифровой трансформации многие предприятия независимо от отраслевой принадлежности сосредотачиваются на применении больших данных как для развития, так и для ведения бизнеса, тем самым добиваясь впечатляющих результатов, преобразований, повышения эффективности, производительности и конкурентного преимущества. Статья посвящена большим данным. В ней приводятся примеры применения анализа больших данных в различных областях.

Ключевые слова: *большие данные, применение больших данных, цифровая трансформация, цифровые технологии.*

Большие данные – это термин, который относится к данным огромных объемов и значительного многообразия, которые трудно обрабатывать традиционными методами. Предприятия используют этот огромный объем данных для анализа, преобразования в информацию, важную для решения сложных проблем [1, 2]. В настоящее время благодаря Интернету вещей объем больших данных становится всё больше с чрезвычайно высокой скоростью загрузки. Причина в том, что сегодняшние данные генерируются не только людьми, но и автоматически генерируются машинами. Большие данные стали ценным ресурсом для бизнеса, особенно для предприятий электронной коммерции, тем самым помогая предприятиям повышать свое преимущество перед конкурентами и лучше обслуживать клиентов.

К характеристикам больших данных относятся:

- объем данных. Предприятия собирают данные от множества источников, транзакций, интеллектуальных устройств, промышленного оборудования, видео, изображений, аудио, социальных сетей и т. д. Раньше было бы очень дорого хранить все эти данные, но сейчас дешевле хранить все эти данные с помощью записи данных в облачные хранилища [3];

- скорость обработки. С развитием Интернета вещей скорость передачи данных стала чрезвычайно высока, и поэтому данные должны обрабатываться своевременно. Метки RFID, датчики и интеллектуальные счетчики требуют обработки этих потоков данных в реальном времени;

- многообразие. Данные собираются в различных форматах: цифровые данные, структурированные в традиционных базах данных, неструктурированные текстовые документы, электронная почта, видео, аудио, биржевые данные и финансовые операции и т.д. [3].

Рассмотрим поэтапный процесс работы с большими данными.

1. Построение стратегии работы с большими данными. На высоком уровне стратегия работы с большими данными – это план, призванный помочь отслеживать и улучшать способы сбора, хранения, управления, обмена и использования данных в бизнесе. При разработке стратегии работы с большими данными важно учитывать текущие и будущие цели и инициативы бизнеса [4]. Это требует от компаний относиться к большим данным как к ценному бизнес-активу, а не как к обычному инструменту.

2. Определение источников больших данных. Сюда относятся:

- прямая передача данных. Данные из Интернета вещей (IoT), подключенных устройств, смартфонов, умных автомобилей передаются в систему информационных технологий. Можно анализировать большие данные по мере их поступления, а также решать какие данные сохранять, какие данные удалять, а какие данные требуют дальнейшего анализа [5];

– социальные сети. Большие данные в виде изображений, видео, голоса, текста и аудио полезны для функций маркетинга, продаж и поддержки. Эти данные часто являются неструктурированными или частично структурированными, поэтому они представляют собой уникальную проблему для потребления и анализа [5].

– опубликованные доступные данные. Сюда относятся информация и данные, которые широко и публично объявляются, например, на официальных веб-сайтах правительств стран.

– другое. Например, появляется какой-либо другой источник данных от клиентов, поставщиков или облачных хранилищ.

3. Доступ, управление и хранение больших данных. Современные компьютерные технологии обеспечивают скорость, мощность и гибкость, необходимые для быстрого доступа к большим объемам и типам данных. Предприятиям наряду с надежным доступом также нужны методы для интеграции данных, создания конвейеров данных, обеспечения качества данных, а также предоставления возможностей управления и хранения данных, подготовки данных для анализа. Некоторые большие данные можно хранить локально в традиционном хранилище данных, но также существуют гибкие и недорогие варианты хранения и обработки больших данных с помощью облачных хранилищ, конвейеров данных и платформы Hadoop.

4. Проведение анализа данных. Благодаря высокопроизводительным технологиям, таким как Grid-вычисления или аналитика в оперативной памяти, организации могут использовать все свои большие данные для аналитики. Другой подход заключается в том, чтобы заранее определить, какие данные являются релевантными перед анализом. В любом случае, аналитика больших данных – это то, как компании извлекают ценность и информацию из данных. Сегодня потоки больших данных обеспечивают расширенные аналитические возможности, такие как искусственный интеллект (AI) и машинное обучение [6].

5. Принятие решений на основе данных. Надежные, хорошо управляемые данные обеспечивают хорошую аналитику и обоснованные решения. Чтобы оставаться конкурентоспособными и принимать решения на основе проверенных данных, компаниям необходимо использовать всю ценность больших данных и ориентироваться на них. Такие предприятия будут работать лучше, будут более предсказуемыми и прибыльными.

Рассмотрим применение больших данных на практике. Из-за важности больших данных правильное применение больших данных создаёт огромные преимущества для любого предприятия. Примеры:

– применение анализа больших данных в политической деятельности. Политики используют большие данные в своих предвыборных кампаниях. Создаётся команда сотрудников, специализирующаяся на сборе информации и анализе данных, полученных в проектах по внедрению больших данных. Эта группа сотрудников собирает всю информацию о людях в регионах, затем анализирует и показывает важные сведения о народе, предпочтениях людей, таких как: какие книги любят читать, какие лекарства предпочитают покупать, какие средства массовой информации используют и т. д. На основе этой информации разрабатывается подходящий план кампании, который помогает политикам избираться на посты [3, 7].

– применение анализа больших данных для социального управления. В настоящее время происходит цифровизация социального управления путем создания хранилищ больших данных для населения и административных органов. Это делается для удобства ввода, поиска, проверки и хранения данных путем внедрения идентификации граждан на основе чипов, электронной похозяйственной книги, электронного паспорта, электронных социальных сетей, страхования и т. д. Это помогает сократить обременительные административные процедуры для людей, способствуя прозрачности, открытости и доверию [8]. Используя прошлые данные CDR для оценки транспортных потоков в городе в часы пик, есть карты дорожно-транспортных происшествий, планы транспортных потоков, которые помогают уменьшить количество аварий и пробок. Кроме того, они предоставляют участникам дорожного движения информацию о том, хотят ли они перейти из одного места в

другое, в какое время им следует ехать, чтобы избежать пробок, какой путь является самым коротким и т. д. Кроме того, большие данные также помогают анализировать местоположение пользователей мобильных устройств, записывать информацию о звонках в режиме реального времени и уменьшать заторы на дорогах [7, 9].

– применение больших данных в здравоохранении. Например, данные могут показывать распространение болезни. Приложение Google Flu Trend является одним из успешных приложений Google. Это приложение основано на ключевом слове поиска об эпидемии гриппа H5N1 2009 г. Затем механизм анализа Google проанализирует и сравнит эти результаты поиска и сделает прогноз о тенденции эпидемии гриппа в конкретном районе. Таким образом, он показывает, как будет развиваться ситуация с гриппом H5N1 в этом районе, чтобы обеспечить профилактические решения.

– применение больших данных в финансах. От точных, периодических и своевременных данных, собранных в ходе транзакций клиентов, до помощи в анализе, ранжировании и управлении рисками в финансовых и кредитных инвестициях.

– применение больших данных в коммерции. В коммерческих целях большие данные помогают выполнять следующие задачи: сегментация рынка и клиентов, анализ поведения покупателей в магазине, маркетинг платформы позиционирования, кросс-канальный маркетинговый анализ, многоканальный маркетинг, управление маркетингом и кампаниями лояльности, сравнение цен, анализ и управление цепочками поставок, анализ потребительского поведения и привычек.

– применение больших данных в прогнозировании погоды. Система, способная точно прогнозировать и заблаговременно предупреждать, может спасти миллионы жизней в контексте быстроменяющегося климата. Используя большие данные, ученые прогнозируют с относительной точностью в пределах от 1 недели до 1 месяца. А в последнее время ученые из Австралийского бюро метеорологии работают над тем, чтобы делать точные прогнозы погоды на несколько лет или даже десятилетий вперед [7].

Из приведенных выше примеров можно сказать, что большие данные оказывают огромное влияние на жизнь всех людей в эпоху цифровых технологий. Многие секторы экономики, такие как банковское дело, транспорт, электронная коммерция или здравоохранение, добились значительных успехов, совершенствуя свои технологии и продукты. Вместе с Интернетом вещей (IoT), искусственным интеллектом (AI) и облачными вычислениями (Cloud) большие данные продолжают оставаться одной из новых технологий для всех отраслей промышленности.

Список литературы

1. <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/>
2. *Овсеенко Г.А.* SMART-решения и системы искусственного интеллекта / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2021. № 2 (24). С. 71-74.
3. <https://daco.vn/san-pham/big-data-la-gi--tam-quan-trong-va-ung-dung-cua-big-data-trong-thuc-tien-7741>.
4. *Марданова А.М.* ИТ-решение для страховых компаний / Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 5. С. 148-150.
5. <https://vieclam.thegioididong.com/tin-tuc/big-data-la-gi-dac-diem-vai-tro-va-ung-dung-big-data-hien-nay-385>.
4. *Пырнова О.А., Зарипова Р.С.* Автономные машины и искусственный интеллект / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 3 (21). С. 46-49.
7. <https://bap-software.net/en/knowledge/top-big-data-applications/>
8. *Шакиров А.А., Зарипова Р.С.* Технологии больших данных в области информационной безопасности / International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. 2018. № 2. С. 74-77.
9. *Салтанаева Е.А., Эшелиоглу Р.И.* Современная логистика: от управления до оптимизации / International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 2-2. С. 79-83.

2.3.1.

Г.В. Соколов, С.А. Нелюб

Общество с ограниченной ответственностью «СХД БАУМ»,
Москва, g.sokolov@baumlab.pro, s.nelub@baumlab.pro

ПРИМЕНЕНИЕ ПАК ППИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИИ

В статье приводится техническое описание программно-аппаратной платформы для прикладного применения искусственного интеллекта включая обработку больших\сверх больших данных и многофакторную проверку гипотез (далее - ПАК ППИИ). Описывается потенциальное прикладное применение искусственного интеллекта на ПАК ППИИ на конкретных кейсах. Приводятся примеры пилотного внедрения ПАК ППИИ.

Ключевые слова: Платформа прикладного искусственного интеллекта, ПАК ППИИ, СХД БАУМ, пилотное внедрение, искусственный интеллект, обучение на платформе ИИ.

Введение

Всё больше компаний понимают, что анализ данных, их переработка имеет большую ценность [1]. Использование технологий ИИ и машинного обучения может снизить расходы на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), отказавшись от планового ремонта, решать задачи в области медицины [2], логистики, управления, в финансовой, промышленной, социальной и других сферах деятельности.

Для решения таких задач компания «СХД БАУМ» разработала ПАК ППИИ, состоящий из системы хранения данных (СХД) и программно-аппаратных средств обработки данных.

1. Требования потенциальных заказчиков ПАК ППИИ

Анализ требований потенциальных заказчиков показал, что:

1) Компании из различных сфер готовы применять методы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения для своих задач и этот тренд будет не только сохраняться, но и увеличиваться;

2) Необходимо сделать удобный, понятный функционал, чтобы упростить применение методов ИИ и машинного обучения;

3) Необходимо повысить доступность применения новых технологий, максимально снижая затраты на получение модели обработки данных или законченного приложения для конкретного пользователя;

4) Для технологии ИИ и машинного обучения требуется система хранения данных (СХД) для хранения больших наборов данных.

2. Архитектура ПАК ППИИ

ПАК ППИИ представляет собой контейнер-ориентированную архитектуру, связывающую микросервисы, упакованные в docker контейнеры [3]. Платформа поддерживает распределенные вычисления, а также вычисления с использованием GPU. В основе лежит визуальный конструктор моделей, который позволяет создавать, обучать модели ИИ без необходимости прямого кодирования по принципу 'drag n drop'. Предусмотрена возможность создания элементов блок-схем в нотации BPMN 2.0 и их настройки с указанием и установкой параметров, а также визуализация результатов работы выполнения алгоритмов ИИ и машинного обучения (графики, таблиц, диаграммы и отчёты). В составе ПАК ППИИ реализованы соответствующие коннекторы для обмена данными со смежными системами на базе технологий DCOM, REST и SOAP, а также для работы с БД (Postgres, mongoDB и ClickHouse). Реализован конвейер, благодаря которому обученная модель может быть упакована в приложение. Такое приложение может развернуто в закрытом контуре заказчика с возможностью подключения данных через коннекторы и обеспечением вывода результатов работы.

ПАК ППИИ обладает возможностью глубокой обработки данных, функционалом по работе с структурированными и неструктурированными данными, использования различных высокопроизводительных специализированных процессорных платформ от разных производителей, законченным функционалом для решения прикладных задач, содержащим настроенные и предобученные модели обработки данных, инструменты для очистки, разметки датасетов, модули машинного обучения и обучения нейронных сетей и содержит полный комплект прикладной документации.

Структурно в ПАК ППИИ (в ПО серверов ИИ) входят подсистемы хранения данных, ИИ, конструктора ИИ, графического интерфейса, визуализации и формирования отчетов, логирования и мониторинга. Функционально ПАК ППИИ построена преимущественно на отечественных элементах и состоит из подсистемы СХД, представленной в классическом и распределенном варианте, кластера серверов ИИ и дисковой полки, объединенных между собой коммутаторами (см. рис. 1).

3. Основные свойства ПАК ППИИ:

- 1) Эффективность (быстрое развертывание);
- 2) Готовность (функционал по обучению нейронной сети для классификации текстов, обучению модели для кластеризации текстов и патентов, выявление трендов, обучение модели прогнозирования временного ряда, обучение модели поиска аномалий с помощью алгоритма кластеризации и бинарной классификации, поиск аномалий с помощью метода косинусного сходства, обучение модели ИИ классификации изображений);

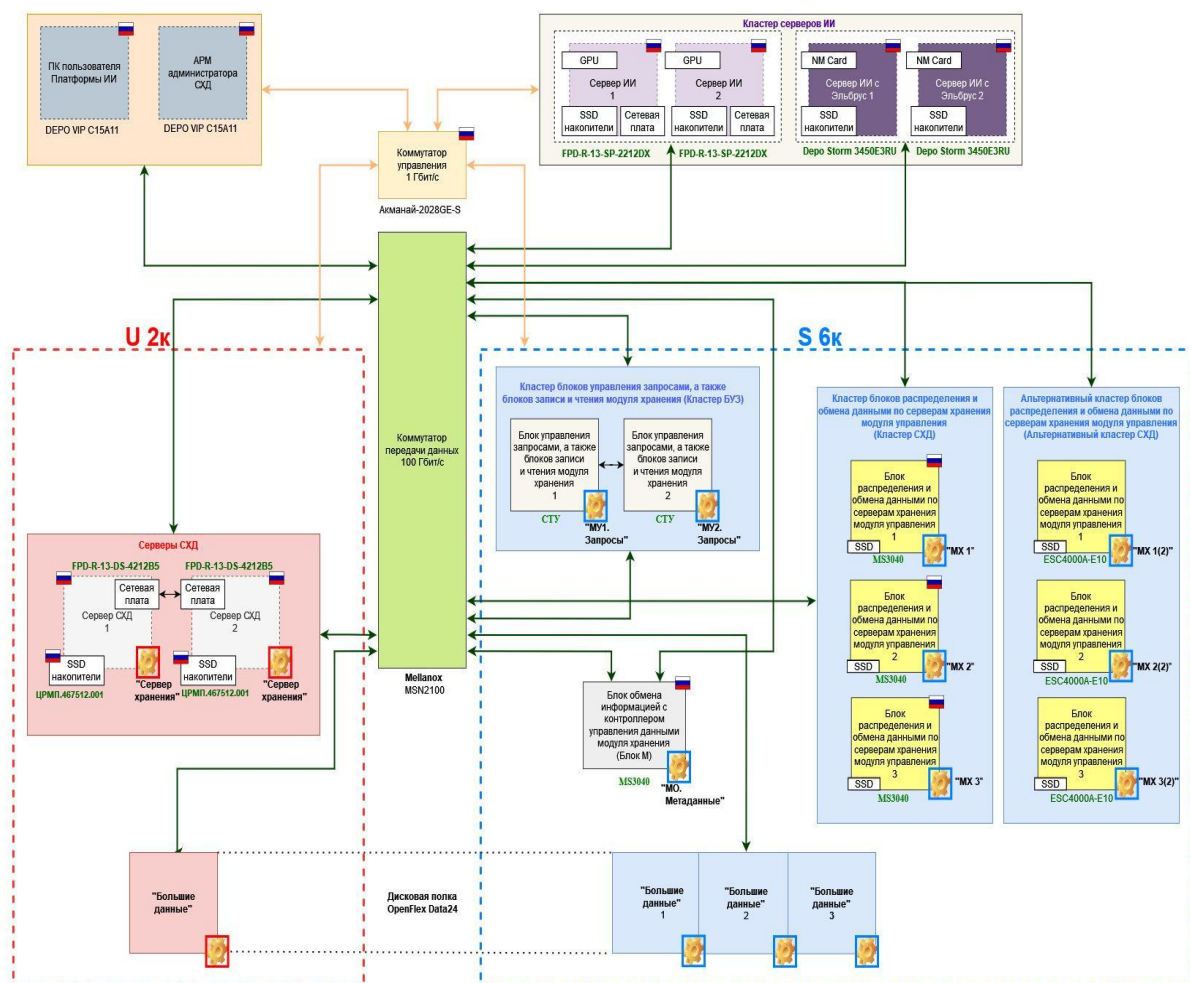


Рис. 1 – Функциональная схема ПАК ППИИ

3) Масштабирование (вертикальное масштабирование СХД, гибкое использование SSD и HDD дисков, возможность добавления серверов ИИ и вычислительных (со-)процессоров в них, использование уникальной контейнерной DevOps-ориентированной инфраструктуры

для управления оптимальными комбинации библиотек, возможность установки новых и замены устаревших компонентов СХД при гарантии полной сохранности всех данных, моделей);

4) Надежность (максимальная доступность данных и отсутствие единой точки отказа, обеспечение совместимости новых компонентов с уже установленными, поддержка стандартов мониторинга).

4. Пилотное развёртывание ПАК ППИИ

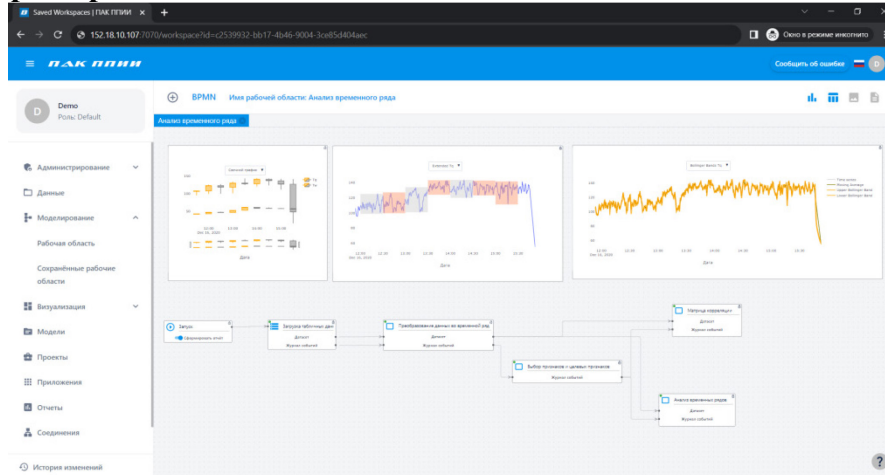


Рис. 2 – Пример рабочей области ПАК ППИИ

ПАК ППИИ прошла апробацию на площадках ООО «БАУМ-Информ» (см. рис. 3).

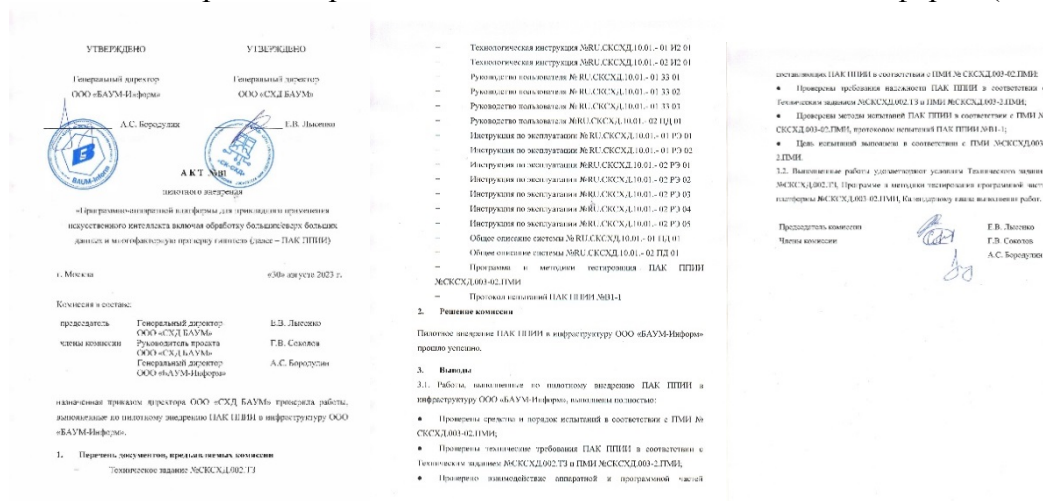


Рис. 3 – Акт пилотного внедрения ПАК ППИИ

Проводилось обучение сотрудников предприятия по использованию ПАК ППИИ для решения прикладных задач (см. рис. 2) на основе подготовленных методических пособий. На предприятии остро стоит проблема классификации текстовой информации при ведении документооборота. Была настроена нейронная сеть, обученная классифицировать документы. Датасет с файлами был разделен с помощью соответствующего блока на блок-схеме на набор обучающих и тестовых файлов. Точность классификации текста составляет до 80%.

Также решалась задача отслеживания загрузки дисковых накопителей и отработки алгоритма определения размера блока для переконфигурирования СХД для выдачи рекомендаций по распределению SSD и HDD дисков. Была создана блок-схема, в которой была выстроена логика по прогнозированию загрузки дискового накопителя с точностью до 80% и определения размеров блока с точностью до 90% (см. рис. 4).

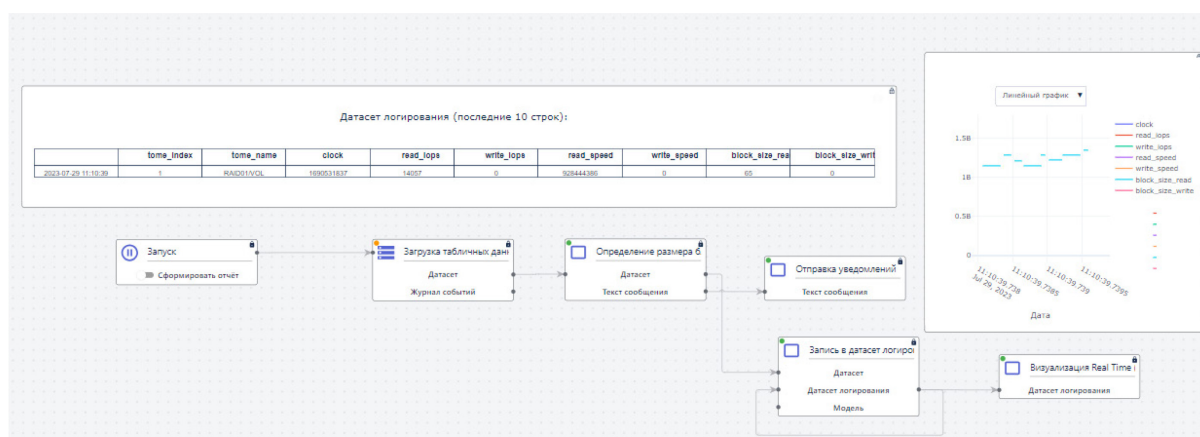


Рис. 4 – Блок-схема по определению блока нагрузки

Заключение

Разработанная программно-аппаратная платформа для прикладного применения искусственного интеллекта является удобным и универсальным инструментом исследователя данных и позволяет существенно увеличить до 4 раз скорость решения задач по сравнению с непосредственной разработкой программного кода. В ПАК ППИИ собран широкий функционал по машинному обучению и разработке нейронных сетей, покрывающий до 70% задач анализа данных и позволяющий быстро обученным сотрудникам решать сложные задачи ИИ.

Благодарности

Пилотное внедрение ПАК ППИИ выполнено в рамках проекта «Программно-аппаратная платформа для прикладного применения искусственного интеллекта включая обработку больших\сверх больших данных и многофакторную проверку гипотез» при поддержке Российского Фонда развития информационных технологий (РФРИТ).

Список литературы

1. Пять примеров успешного использования ИИ на производстве / Хабр. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/727358/> (дата обращения 20.07.2023)
2. Рынок искусственного интеллекта, прогноз развития до 2025 года / VC.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/future/105785-rynok-iskusstvennogo-intellekta-prognoz-razvitiya-do-2025-goda?ysclid=lm7fzan9o5836303166> (дата обращения 20.07.2023)
3. Роберт Мартин. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения // Питер. - 2018. - С. 25-54.

2.3.1.

Л.Ф. Тагирова, Е.Н. Чернопрудова, Н.А. Тишина

Оренбургский государственный университет,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
Оренбург, LG-77@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
ПРИЛОЖЕНИЙ**

В последние годы искусственные нейронные сети (ИНС) обрели большую популярность в различных областях машинного обучения, таких как анализ больших массивов данных, анализ фотографий, видеозаписей и других. Они способны обучаться и анализировать большие и сложные наборы данных, которые с помощью более линейных алгоритмов обработать крайне сложно.

В статье представлено применение искусственных нейронных сетей для распознавания лиц пользователей прикладных программ с целью определения их отличительных характеристик (возраста и пола), а также их эмоционального состояния. В ходе проведенного исследования было разработано программное средство, в котором использовалась искусственная сверточная нейронная сеть, реализованная в виде библиотеки Deerpface языка Python.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, нейронные сети, распознавание лиц, искусственная сверточная нейронная сеть.*

Введение

В последнее десятилетие машинное обучение стало набирать все большую популярность и сегодня занимает одну из лидирующих позиций в сфере информационных технологий. На сегодняшний день машинное обучение активно используется для решения таких задач, как распознавание текста, речи и образов и др. Активное развитие машинного обучения привело к распространению искусственных нейронных сетей [1].

Нейронные сети, основанные на биологической структуре человеческого мозга, превышают по своей вычислительной возможности прочие алгоритмы машинного обучения. Главное их преимущество состоит в том, что они могут обучаться. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение [2].

Следует отметить, что на сегодняшний день технологии ИНС применяются во многих областях и решают проблемы различной степени сложности: в науке и технике [1-3], медицине [4-6], в IT-сфере [7-8], в сфере обеспечения информационной безопасности [9-10], образовании [11] и многих других сферах.

В рамках проводимого исследования была использована искусственная нейронная сеть для решения задачи определения характеристик пользователей, на основе анализа изображения его лица. К таким отличительным характеристикам относятся гендерные, возрастные особенности, а также эмоциональное состояние человека.

В последние годы задачи определения пола и возраста, а также эмоционального состояния пользователей является популярной задачей машинного обучения, и в настоящий момент существуют различные подходы к ее решению [12-14]. В частности, предлагается использование сверточных нейронных сетей, которые представляют собой последовательность слоев. Каждый слой преобразует один активационный объем в другой с помощью дифференцируемой функции. Структура сверточной нейронной сети представлена на рисунке 1.

В рамках проводимой научной работы была использована сверточная нейронная сеть VGG-16, реализованная в виде библиотеки DeepFace языка программирования Python [15]. В ходе своей работы данная сеть анализирует первичные признаки лица, такие как положение его ключевых точек (нос, уголки губ и глаза), а также вторичные признаки (в частности, морщин) и определяет характерные особенности пользователей (возраст, пол, эмоции).

Для обучения и тренировки предложенной сверточной ИНС была использована библиотека TensorFlow. Достоинствами сети VGG-16 в области распознавания лиц является возможность учета двумерной топологии изображения, частичная устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям (рисунок 1).

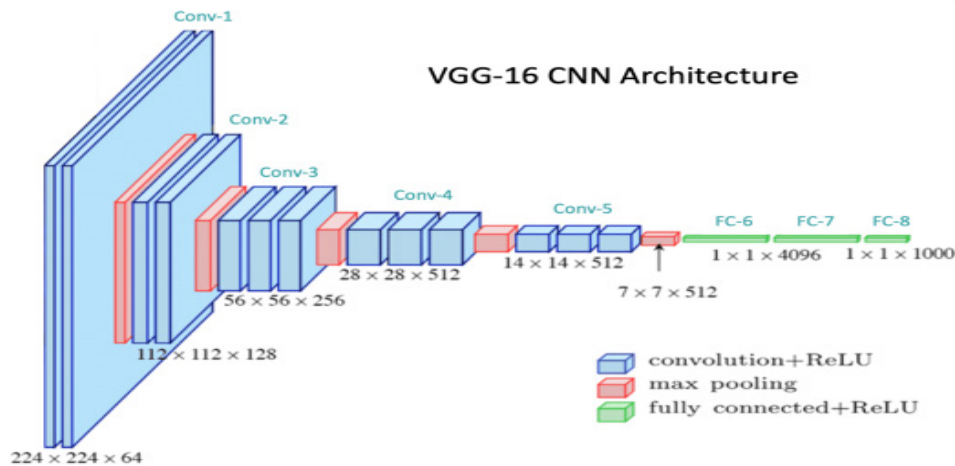


Рис. 1 – Структура искусственной сверточной нейронной сети VGG-16

Архитектура выбранного вида ИНС, которая включает в себя 13 сверточных слоев и три полносвязанных, состоящих из 4096 нейронов.



Рис. 2 – Архитектура искусственной сверточной нейронной сети VGG-16

Фрагмент реализации данной сети на языке Python с использованием библиотеки TensorFlow представлена на рисунках 3-4.

```
def baseModel():
    model = Sequential()
    model.add(ZeroPadding2D((1,1),input_shape=(224,224, 3)))
    model.add(Convolution2D(64, (3, 3), activation='relu'))
    model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
    model.add(Convolution2D(64, (3, 3), activation='relu'))
    model.add(MaxPooling2D((2,2), strides=(2,2)))

    model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
    model.add(Convolution2D(128, (3, 3), activation='relu'))
    model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
    model.add(Convolution2D(128, (3, 3), activation='relu'))
    model.add(MaxPooling2D((2,2), strides=(2,2)))

    model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
    model.add(Convolution2D(256, (3, 3), activation='relu'))
    model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
    model.add(Convolution2D(256, (3, 3), activation='relu'))
    model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
    model.add(Convolution2D(256, (3, 3), activation='relu'))
    model.add(MaxPooling2D((2,2), strides=(2,2)))
```

Рис. 3 – Реализация нейронной сети


```
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Convolution2D(512, (3, 3), activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Convolution2D(512, (3, 3), activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Convolution2D(512, (3, 3), activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D((2,2), strides=(2,2)))

model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Convolution2D(512, (3, 3), activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Convolution2D(512, (3, 3), activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Convolution2D(512, (3, 3), activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D((2,2), strides=(2,2)))
```

Рис. 4 – Реализация нейронной сети (продолжение)

На рисунке 5 (а, б) представлены результаты работы сверточной ИНС по распознаванию пользователей различных возрастных групп, пола и эмоционального тона.

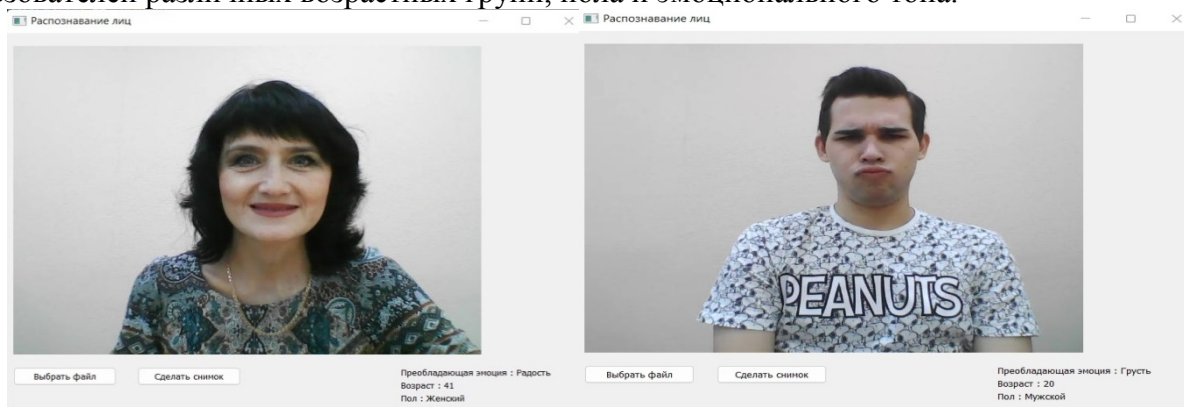


Рис. 5 – Результат распознавания с помощью нейронной сети

Как видно на рисунке 5 а, пользователем системы является женщина 41 года, в радостном эмоциональном состоянии. На рисунке 5 б представлен молодой человек в возрасте 20 лет, эмоция грусть.

Таким образом, в проводимом исследовании было разработано программное средство, позволяющее определять характерные особенности пользователей, на основе анализа изображения лица.

Решение данной задачи имеет множество практических приложений. К примеру, появляется возможность быстрого принятия решения о допуске лиц на определенные сайты, имеющее возрастной ценз, или на продажу им некоторых товаров. Помимо этого, разработанное приложение можно использовать по созданию персонализированных интерфейсов, адаптированных под выявленные особенности пользователей.

Список литературы

1. Воевода А.А., Романников Д.О. Формирование структуры нейронной сети посредством декомпозиции исходной задачи на примере задачи управления роботом манипулятором // Известия СПбГЭТУ Лэти. 2018. №9. - С. 27-32.
2. Допира Р.В., Ягольников Д.В., Шведун А.А., Яночкин И.Е. Метод идентификации технического состояния радиотехнических средств с применением технологий искусственных нейронных сетей // Программные продукты и системы. 2019. №4. - С. 628-638.
3. Гречишников В.А., Куров Н.Д., Куров Д.А. Параметрический анализ изменений токов питающей линии тяговой сети постоянного тока с использованием нейронных сетей // Электротехника. 2021. №9. - С. 6-9.
4. Гаврилов Д.А., Мелерзанов А.В., Щелкунов Н.Н., Закиров Э.И. Применение технологий глубокого обучения для диагностики кожных заболеваний на основе нейронных сетей // Медицинская техника. 2018. №5(311). С. 40-44.
5. Щукина Н.А. Нейросетевые модели в задаче классификации медицинских изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. т. 9. №4(35).
6. Лазаренко В.А., Антонов А.Е. Диагностика и прогнозирование вероятности возникновения холецистита на основе нейросетевого анализа факторов риска // Исследования и практика в медицине. 2017. т. 4. №4. С. 67-72.
7. Харахинов В.А., Сосинская С.С. Использование сетей петри при проектировании архитектуры программного продукта для анализа данных с помощью нейронных сетей // Научный вестник новосибирского государственного технического университета. 2018. №4(73). С. 91-100.
8. Кононов А.А. Использование метода нейронных сетей Хопфилда для решения задачи маршрутизации в сети // Московский экономический журнал. 2019. № 9. - С. 74.
9. Христовуло О.И., Пальчевский Е.В. Разработка импульсной нейронной сети с возможностью скоростного обучения для нейтрализации DDos-атак // Программные продукты и системы. 2019. №4. - С. 613-627.
10. Буханов Д.Г. Модель выявления вторжений в компьютерные сети на основе искусственных нейронных сетей адаптивно-резонансной теории // Информация и безопасность. 2020. Т. 23. №2. - С. 225-234.
11. Айдинян А.Р., Цветкова О.Л. Методика оценки качества обучения студентов вуза с использованием нейро-нечеткого подхода // Программные продукты и системы. 2016. № 4. С. 189-193.
12. Пакулич Д.В. Распознавание возраста по изображению лица с использованием сверточных нейронных сетей / Д. В. Пакулич, С. А. Якимов, С. А. Алямки. – Т. 55 Вып. 3 изд. – М.: Новосибирск. Автометрия, 2019. – С. 52–61.
13. Тимофеева О.П., Неимуцев С.А., Неимуцева Л.И., Тихонов И.А. Распознавание эмоций по изображению лица на основе глубоких нейронных сетей. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2020. №1(128). – С. 16-24.
14. Суилин А. Определение пола и возраста по фото [Электронный ресурс]: URL: https://suilin.ru/project/gender_age/ (дата обращения: 15.07.2023).
15. Тагирова Л.Ф., Бадиков В.Р. Программное средство биометрической идентификации по изображению лица пользователя. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2023615847. Зарег. в РОСПАТЕНТ, в Реестре программ для ЭВМ 20.03.2022. - М., 2023.

2.3.1.

Е.Н. Чернопрудова, Н.А. Тишина, В.Р. Бадиков

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

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА
НА ОСНОВЕ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА**

В работе представлены результаты сравнительного анализа моделей представления текста, интегрированного с методом градиентного бустинга, в задаче определения тональности текста. дается краткое описание проблем анализа тональности. В статье рассматривается метод XGBoost состоящий из последовательного построения базовых классификаторов.

Ключевые слова: *тональность текста, векторное представление текста, метод градиентного бустинга*

В настоящее время увеличение количества интернет-пользователей повлекло развитие интернет-ресурсов, являющихся «широкой площадкой» общения, в которой люди высказывают свое мнение, размещают сообщения на форумах, пишут в блогах, комментируют товары на страницах интернет-магазинов. Кроме того, большинство организаций и корпораций так же используют социальные сети для ведения бизнеса: размещение сообщения на форумах, блогах, анализируя комментарии. Что в свою очередь влечет и увеличение объёма генерируемого контента пользователями. Развитие интернет площадок определяет необходимость систематизации и обработки больших объёмов текстовой информации.

В свою очередь возможность в свободном доступе оставлять свои комментарии относительно какого-либо объекта на форумах, в социальных сетях и других интернет ресурсах, влечет необходимость оперативно и качественно отслеживать сформированное информационное поле, так как отзывы и сообщения могут нести как положительную окраску, так и отрицательную и даже негативную. Кроме того, это может быть не просто «вредная» информация, но и информация, несущая опасность человеку и/или обществу: призыв к употреблению запрещенных веществ, суициду, информация о псевдорелигиозных действиях, сектах и т.д. Так же распространен формат сообщения являющийся негативно эмоционально окрашенным. Современные методы позволяют блокировать сообщения, имеющие явные стоп слова, например, являющиеся оскорбительным или нецензурными. Однако, развитие методов и подходов к блокированию подобных сообщений, к сожалению, ведет к изменению самого формата сообщений и, например, слово «дурак» может быть заменено несколькими вариантами фраз, которые не будут явно содержать стоп слова, но будут иметь негативную окраску электронного сообщения (ЭС).

Определение эмоционального отношения автора высказывания к некоторому объекту, выраженное в тексте, является одним из методов контент-анализа, используемых в автоматизированной обработке текста (АОТ) и может быть отнесено к задаче определения тональности текста.

Проблемам анализа тональности посвящены работы Т. Насукавы и Дж. Йи [Nasukawa, Yi, 2003], К. Дейва, С. Лоуренса и Д.М. Пеннока [Dave, Lawrence, Pennock, 2003] и других. Обобщая результаты данных исследований можно сделать вывод, что основной из проблем анализа тональности является определение сообщений, имеющих неопределенную окраску текста. При данном анализе на вход метода поступают сообщения имеющие

множество словоформ, что является проблемой для методов, основанных на машинном обучении, так как обучить их определять смысл ироничных высказываний возможно только при не большой степени точности. Другой немаловажной проблемой является многозначность слов [1-4].

Применение методов анализа сообщений без обучения токенизации позволяет повысить скорость обработки сообщения и принятия решения о принадлежности к тому или иному классу, однако точность при анализе сообщений имеющих неоднозначную интерпретацию (например, без явно выраженных стоп слов) может снижаться.

В рамках данных исследований повышение точности принятия решения о тональности текста предлагается за счет интеграции векторной модели представления ЭС, позволяющей учитывать вес слов в сообщении, с методом машинного обучения XGBoost.

Таким образом, актуальность данного исследования определяется современным развитием ситуации безконтрольного общения в социальных сетях и имеет не только практическую, но и теоретическую значимость. Целью исследований является повышение точности определения тональности текста, т.е. определения того, является ли тон сообщения положительным или отрицательным.

Формализуя поставленную цель, введем следующие обозначения и понятия:

$D = \{D_i\}$ множество ЭС (объектов), характеризующихся пространством признаков $P = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_i)$, где p_i значение i -го признака.

A – алгоритм определения тональности, относящий объект к одному из классов $K = \{k_j\}$: $j = \overline{1, n}$, где n – число классов (*negative, pozitiv*).

Причем задача определения тональности заключается в построении такого решающего правила, чтобы обработка проводилась с минимальным числом ошибок R . Тогда процедуру автоматической обработки текста (P_d) электронных сообщений $D = \{D_i\}$ на множестве классов $K = \{k_j\}$ можно представить как

$$P_d = \min R\{A(L(p_i)) \in K\} \quad (1)$$

Предложенная методика определения тональности текста состоит из следующих основных этапов:

- Предварительная обработка ЭС заключается в приведении текста к стандартному типу кодировки, удалению стоп-слов, гиперссылок и знаков пунктуации.
- Этап представления текста – обработка ЭС с целью представления в виде векторной модели электронного сообщения для последующей классификации
- Этап классификации – предназначен для машинного обучения классификатора и определение принадлежности ЭС к заранее определённом классу (*negative, pozitiv*).

МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО СООБЩЕНИЯ

Работа с текстовым содержимым требует представления электронного сообщения к виду, пригодному для машинного обучения. Анализ моделей представления текста [5,6] позволил определить в качестве модели ЭС векторное представление текста CountVectorizer и модель на основе весов признаков термов (слов) в сообщении.

Анализ существующих мер весов термов [6,7] показал, что использование Ltc меры взвешивания позволяет сократить эффект больших различий в частотах термов сообщений. Данная мера взвешивания рассчитывается по следующей зависимости:

$$w_{ij} = \frac{\log(f_{ij} + 1) \log\left(\frac{M}{M_j}\right)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N \left[\log(f_{ij} + 1) \log\left(\frac{M}{M_j}\right) \right]^2}}$$

где f_{ij} – частота термина j в сообщении I ;

M – общее число сообщений в выборке;

N – число термов в выборке после удаления стоп-слов;

M_j – общее число сообщений, содержащих терм j .

Таким образом, документы, формирующие выборку электронных сообщений, можно представить в виде матрицы, столбцами которой будут являться сообщения, а строками вес слова, содержащиеся в данных сообщениях:

$$Let = \begin{bmatrix} w_{11} & L & w_{1j} & L & w_{1N} \\ M & L & M & L & M \\ w_{i1} & L & w_{ij} & L & w_{iN} \\ M & L & M & L & M \\ w_{M1} & L & w_{Mj} & L & w_{MN} \end{bmatrix},$$

где $i=1,...,M$, $j=1,...,N$.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА

В рамках данных исследований в качестве алгоритма определения тональности текста рассматривается метод градиентного бустинга (метод XGBoost) [8]. Основной принцип работы метода XGBoost состоит из последовательного построения базовых классификаторов, которые в свою очередь должны быть составляющими итогового линейного классификатора рассчитываемого по формуле:

$$a(x) = C\left(\sum_{t=1}^T \alpha_t b_t(x)\right)$$

где $C:R \rightarrow Y$ решающее правило; $\alpha_t > 0$ вес t -ого классификатора, выражающий его значимость при принятии окончательного решения; b_t ответ t -ого алгоритма.

Таким образом, алгоритм градиентного бустинга сводится к нахождению вектора $u = (b(x_i))_{i=1}^I$, минимизирующий функционал качества:

$$Q(\alpha, b) = \sum_{i=1}^I L\left(\sum_{t=1}^T \alpha_t b_t(x_i), y_i\right)$$

Для минимизации функционала обычно используют градиентный метод минимизации:

$$u_{T,i} = u_{T-1,i} - \alpha g_i$$

где u_{T-1} - текущее приближение вектора u ; u_T - следующее приближение вектора u ; α - градиентный шаг; g_i - компоненты вектора градиента.

Основные шаги алгоритма градиентного бустинга представлены на рисунке 1

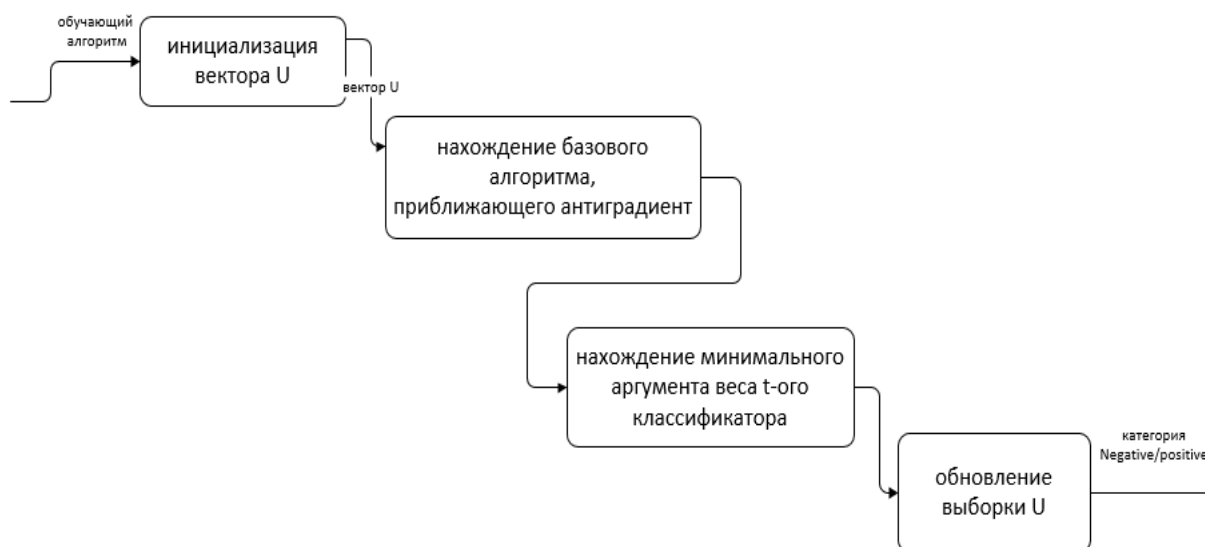


Рис. 1 – Алгоритм градиентного бустинга

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве обучающей выборки использованы датасеты: Russian Language Toxic Comments и Toxic Russian Comments. В эксперименте участвовало суммарно 44658 записей обучающей выборки и 14886 записей тестовой. В рамках данных исследований сравнивались две модели представления текста (модель CountVectorizer и модель на основе Ltc меры взвешивания) применяемые к алгоритму градиентного бустинга.

Для оценки эффективности предложенной модели и алгоритма вычислялась точность (доля документов, действительно принадлежащих данному классу относительно всех документов, которые система отнесла к этому классу) и F-мера (общая оценка качества классификатора). Результаты представлены в таблице 1

Модель представления текста	Точность	Fмера
XGB CV	0.85	0.85
XGB Ltc	0.88	0.88

Результаты проведенного эксперимента подтверждают достаточно высокую эффективность предложенной методики градиентного бустинга интегрированного с моделью электронного сообщения на основе Ltc меры, и является перспективным направлением в области решения задач автоматической обработки текста.

Список литературы

1. Слепов О., Контентная фильтрация / О. Слепов // JetInfo № 10 (149)/2005 [Электронный ресурс] (http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2005_10.pdf)
2. Семина Т.А., Анализ тональности текста: современные подходы и существующие проблемы // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Сер. 6, Языкознание: Реферативный журнал. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tonalnosti-teksta-sovremennye-podhody-i-suschestvuyuschie-problemy> (дата обращения: 18.06.2023).
3. Ермаков С.А., Ермакова Л.М., Методы оценки эмоциональной окраски текста // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2012. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-emotsionalnoy-okraski-teksta> (дата обращения: 18.06.2023).
4. Горбушин Д.А., Гринченков Д.В., Мохов В.А., Нгуен Ф.Х. Системный анализ подходов к решению задачи идентификации тональности текста // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2016. №2 (190). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-analiz-podhodov-k-resheniyu-zadachi-identifikatsii-tonalnosti-teksta> (дата обращения: 18.06.2023).
5. Li Y.H., Classification of Text Documents / Y. H. Li, A. K. Jain // The Computer Journal, Vol. 41, No. 8, 1998
6. Соловьев Н.А. Программное обеспечение защиты почтовых сервисов от несанкционированных рассылок на основе контентной фильтрации электронных сообщений: монография / [Н. А. Соловьев и др.]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ, 2017. - ISBN 978-5-7410-1724-1. - 128 с- Загл. с тит. экрана.
7. Федоровский А.Н. Mail.ru на РОМИП-2005 / А.Н. Федоровский, М. Ю. Костин // в сб. «Труды РОМИП'2005» Труды третьего российского семинара по оценке методов информационного поиска / Под ред. И. С. Некрестьянова, - Санкт-Петербург: НИИ Химии СПбГУ, 2005
8. XGBoost Tutorials URL: <https://xgboost.readthedocs.io/en/latest/tutorials/index.html> (дата обращения: 04.06.2023).

2.3.1.

Х.А. Шамасна, А.В. Семашко

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
учебно-научный институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра «Электроника и сети ЭВМ»,
Нижний Новгород, t26032017@gmail.com

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АГРЕГАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПТИЦЕФАБРИКЕ**

Цель статьи - разработка процедуры сбора, обработки и визуализации данных, собранных с разных датчиков на сложных технологических объектах управления умными птицефабриками, отличающейся от прочих использованием многомерной модели данных (OLAP) и лингвистического оператора LOWA, что позволяет проводить анализ сложных данных весовым методом и ускорять процесс обработки данных с последующим наглядным представлением информации.

Ключевые слова: мониторинг, принятие решений, агрегирование и визуализация данных, большие данные (БД), лингвистический OWA-оператор, (LOWA-оператор), интернет вещей (IOT).

В последнее время стало заметным возрастание объемов данных в различных инженерных и коммерческих сферах, вызванное растущей популярностью распределенных и интернет-базированных систем, таких как сетевые и облачные вычисления IOT[1], в результате чего существенно увеличивается количество доступных данных. Это вызывает необходимость в эффективных методах анализа и обработки данных, чтобы обеспечить эффективное управление и их использование [2]. Несмотря на неоднородность IOT устройств данные в приложениях IOT, таких, как (умное птицеводство) будут легко комбинироваться, коррелироваться, сравниваться и объединяться в соответствии с потребностями [3].

Одной из трудностей в области информационных технологий является анализ и разъяснение данных. Большие объемы данных, собираемые разнообразными устройствами, требуют обработки и представления в доступном виде. Поэтому важными становятся инструменты для агрегирования и визуализации данных, которые могут преобразовывать «сырые» данные в действенные выводы и визуально привлекательные представления [4].

Обычно, когда говорят об агрегировании, имеют в виду переход от векторной оценки объекта к той или иной скалярной величине. В работе [6,7] была раскрыта оценочная система и процесс ее формирования, который основан на совокупности оценок.

OLAP — это модель данных с несколькими измерениями, которая непосредственно связана с концепцией многомерного анализа данных и применяется для оперативного анализа данных с помощью систем OLAP.

Измерение — это определение значения одного из параметров, которые подлежат анализу. Объект может быть представлен в виде списка. Представление данных в многомерной форме означает использование нескольких измерений. Параметры, связанные с областью анализа, размещаются в соответствующих измерениях. Многомерное концептуальное представление — это несколько независимых измерений, которые можно использовать для анализа определенных наборов данных. Анализ по нескольким измерениям рассматривается как многомерный анализ.

Каждый параметр может иметь свои иерархические уровни, которые описывают более детально этот параметр. Например, компания может иметь несколько уровней иерархии, начиная от самого высокого уровня (компания) до более низких уровне (ферма, птичник и т.д.). Подобным образом, измерение времени может также иметь несколько уровней

иерархии, допустим месяц, неделя и день. Для каждого уровня могут быть указаны соответствующие данные, которые характеризуют анализируемые факты – меры. Эти меры могут быть выражены в различных единицах измерения, таких как количество, вес, стоимость, и т.д. данные, представленные в виде гиперкуба Рисунок.1 [18].

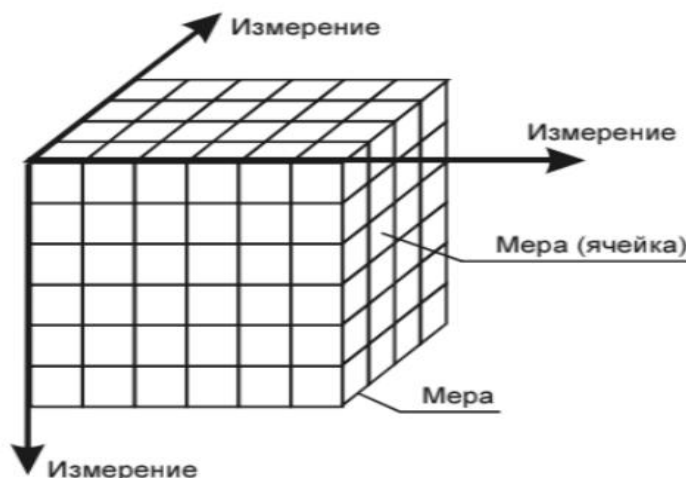


Рис. 1 – Представление данных в виде гиперкуба[18].

Функции агрегирования.

При создании интеллектуальных информационных систем возникает актуальная проблема агрегирования различных видов информации, включая нечеткую и лингвистическую. Хотя большинство исследований функций агрегирования касаются усреднения, для некоторых типов данных применяется метод нечетких множеств [10-12]. Для решения этой задачи часто используется подход, заключающийся в вычислении обобщенных (совокупных, интегрированных) оценок объектов со способствованием функций или операций агрегирования. Таким образом, такая обобщенная оценка предоставляет всестороннюю характеристику объекта на основе всех доступных показателей[12].

Функции и операции агрегирования являются важными инструментами в обработке информации и могут использоваться в различных областях, которые используются для принятия решений; формирования групповых экспертных оценок, построения моделей оценки для сложных систем и объектов, а также в методах кластеризации, классификации и в нейронных сетях.

Обычно задача формулируется таким образом, что имеется набор объектов, которые характеризуются множеством признаков, критериев характеристик и т.д., и каждый признак оценивается по некоторой шкале. Таким образом, каждому объекту присваивается векторная оценка, состоящая из компонентов, которые можно рассматривать как отдельные оценки объекта [8].

Интеллектуальные системы и анализ больших данных играют существенную роль на современных предприятиях. Например, в крупномасштабных организациях со сложными системами, таких как интеллектуальные птицефермы, успешно применяются подобные технологии для сбора и обработки данных о микроклимате (температура, относительная влажность и загрязняющие газы (NH₃, (CO₂)), которые влияют на продуктивность (число живых птиц, средний вес и т.д.), а также имеют большое значение для оптимизации производства.

Для совершенствования сложных систем могут быть использованы экспертные оценки, которые характеризуют ее состояние по данным мониторинга. Агрегирование данных мониторинга за определенный интервал времени является ключевой задачей. Одним из наиболее распространенных способов агрегирования является метод среднего значения, когда данные могут быть агрегированы, например, за один час.

Метод среднего значения рассчитывается по формуле:

Среднее значение = (Сумма значений, за интервал (час) / (Количество значение).

Следующим шагом после агрегирования данных мониторинга является формирование экспертной оценки состояния системы. Она может быть представлена в виде лингвистической переменной, при этом используется специальная шкала состояния (очень низкий, низкий, комфортный, высокий, очень высокий), которая определяется с помощью метода нечетких множеств на основе мнения экспертов [8],[17].

В исследовании Herrera Н [12] был введен LOWA-оператор, который применяется в приложениях, направленных на обработку специального типа информации. Он предполагает, что отдельные оценки формируются в указанной лингвистической шкале. При применении LOWA-оператора на умной птицефабрике шкала микроклимата будет иметь следующий вид:

$$S = (S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_N),$$

где S_0 – Nothing (N) – ничего, S_1 – Very cold (VC) – очень холодно; S_2 – cold (C) – холодно; S_3 – moderately (M) – умеренно; S_4 – (W) – warm; тепло S_5 – Very hot (VH) – очень горячо; S_6 – Perfect (P) – комфортно.

С учетом внесенный названий лингвистическая шкала примет вид:

$$S = (N, VC, C, MW, VH, P)$$

Пусть:

$$a = (a_1, \dots, a_n) - \text{векторная оценка, } a_i \in s \ (i = \overline{1, n})$$

LOWA-оператор, ассоциированный с вектором весов.

$$w = (w_1, \dots, w_n), \text{ где } w_i \in [0.1] \ w_i \in [0,1]$$

$$\sum_{i=1}^n w_i$$

при этом LOWA-оператор определяется главным образом на основании формулы $\phi_{w(a)}$,

$$\phi_{w(a)} = c^n \{(w_k, b_k), k = \overline{1, n}\} = w_1 \otimes b_1 \oplus (1 - w_1) \otimes c^{n-1} \{(w_k, b_k), k = \overline{2, n}\}$$

где $b = (b_1, \dots, b_n)$ – вектор, полученный из векторной оценки (a) упорядочением по не возрастанию лингвистических термов:

$$\Lambda_k = \frac{w_k}{\sum_{m=2}^n w_m}, \ (k = \overline{2, n})$$

Где Λ_k : нормированный вектор весов, полученный после исключения максимального веса w_1 ; $\sum_{m=2}^n \Lambda_m = 1$; c^n, c^{n-1} – конвексный подход $n(n-1)$.термов соответственно. Для двух термов конвексный подход описывается правилом.

$$c^2 \{(w_1, b_1), (w_2, b_2)\} = w_1 \otimes b_1 \oplus w_2 \otimes b_2 = S_k$$

где

$$b_1 = s_j \text{ и } b_2 = s_j \ (j \geq i); k = \min\{T, i + \text{round}(w_i \cdot (j - 1))\};$$

операция round соответствует закруглению, где T – индекс последнего терма в выбранной лингвистической шкале. для LOWA-оператора вектор весов W формируется также, как и для OWA[9].

Использование операций агрегирования из семейства средних, таких как среднее арифметическое, взвешенное среднее и медиана, может помочь оценить важность разных показателей с помощью весовых коэффициентов (ВК), что способствует созданию системы выбора.

Определение ВК является отдельным этапом в процессе агрегирования, который предоставляет возможность применения взвешенных форм, имеющийся в наличии подход, согласно которому ВК определяются с помощью лингвистических кванторов, таких как "наивысшие ранг", "Скорее всего половина ", Большая часть ", и т.д. Лингвистические кванторы решаются с помощью функций квантификации [13,14]:

$$Q: N \cup \{0\} \rightarrow [0,1] \text{ ИЛИ } Q: [0,1]$$

Функции квантификации используются для описания неопределенности и нечеткости в языке. Эти функции позволяют формализовать степень согласия между числами или долями и лингвистическими кванторами, такими как "много", "мало", "часто" и т.д. Это помогает математически описать нечеткие понятия и суждения, которые имеют место в человеческом языке. В связь агрегирования, лингвистический квантор представляет приблизительное

количество частных оценок, рассматриваемых в обобщенной оценке. Чаще всего функция квантификации, которая носит форму понятия "нечеткого большинства", является непрерывной. $Q(0) = 0$ и если есть в наличии хотя бы одно значение X^* , для которого $Q(X^*) = 1$. Если задана функция квантификации [5].

$$Q: N \cup \{0\} \rightarrow [0,1] \text{ или } Q: [0,1] \rightarrow [0,1]$$

то ВК формируются таким образом:

$$W_i = Q\left(\frac{1}{n}\right), Q\left(\frac{i}{n}\right), Q\left(\frac{i-1}{n}\right), (i = \overline{2, n})$$

Для сбора и представления информации о мониторинге используется в качестве платформы Yandex Cloud для интернета вещей (IoT), которая поддерживает протоколы MQTT, CoAP и HTTP для подключения устройств IoT, таких, как датчики и контроллеры, и может быть развернута как в облаке, так и локально. Данные с датчиков передаются через протокол MQTT и могут быть визуализированы в режиме реального времени с помощью графиков, доступных в облачной среде разработки [10,15,16].

Для модулирования LOWA-оператора в качестве платформы принимается программное обеспечение NOD-RED в своем коде, чтобы реализовать алгоритмы, которые учитывают нечеткую информацию и присваивают ей веса.

Визуализация данных в собранных системах мониторинга представлена с помощью сервиса DataLens на платформе Yandex Cloud. DataLens позволяет отображать дашборд в полноэкранном режиме. Этот режим скрывает часть интерфейсных элементов и увеличивает область отображения виджетов на экране. Параметры в DataLens позволяют более гибко применять возможности визуализации, адаптировать использование одних и тех же дашбордов для разных целей. рисунок 2.

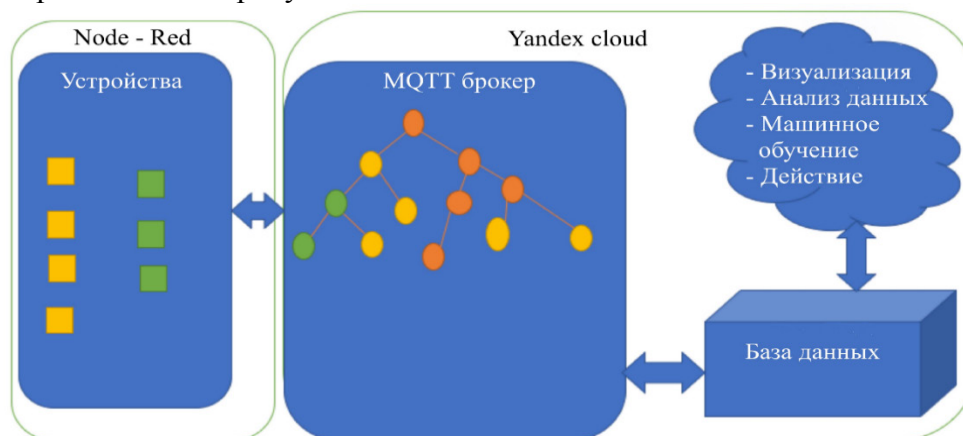


Рис. 2 – Архитектура системы агрегации и визуализации данных

LOWA оператор является методом объединения множества значений в одно значение с использованием весовых коэффициентов. Он применяется в лингвистике, математической логике и других областях для оценки сложных данных.

Использование LOWA оператора имеет следующие достоинства:

Гибкость, что позволяет пользователю настроить веса, чтобы учесть их предпочтения или дополнительную информацию;

Простота: оператор LOWA имеет простую математическую формулу, что делает его легко применимым.

Таким образом, LOWA может использоваться в различных областях, таких как агрегации данных, оптимизация и управление качеством. Он использует специальную функцию веса, которая отражает относительную важность каждого критерия. В данном случае шкала включает степени значимости от "несущественный" до "комфортны".

Всё выше сказанное позволяет сделать вывод, что использование LOWA оператора, способствует формированию экспертных оценок, позволяет представлением информации автоматизации объектов управления с использованием гибридизации метода нейро-нечетких множеств, например умное птицефабрике.

Список литературы

1. *Parisa Fouladi, Nima Jafari , Navimipour Kybernetes* . Human resources ranking in a cloud-based knowledge sharing framework using the quality control criteria. 2 May 2017. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/K-01-2017-0007/full/html>.
2. *Behrouz Pourghebleh, Nima Jafari Navimipour* Data aggregation mechanisms in the Internet of things: A systematic review of the literature and recommendations for future research. [Электронный ресурс] <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.08.006>
3. *Angelo Chianese, Francesco Piccialli, PaoloBenedusi, Jai E.Jung* An associative engines-based approach supporting collaborative analytics in the Internet of cultural things. 2016.04.015. [Электронный ресурс] https://www.researchgate.net/publication/303506479_An_associative_engines_based_approach_supporting_collaborative_analytics_in_the_Internet_of_cultural_things.
4. *Карлинский В.Л.* Как большие данные и интернет вещей меняют информационную структуру предприятий, Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2018.
5. *Ledeneva T.M. and Podval'ny S.L.* (2014) Modelirovaniye otsenochnykh sistem na osnove printsipa mnogoal'ternativnosti. Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii. 57(3). P. 155–161(in Russian)
6. *Dzhini K.* (1970) Sredniye velichiny. Moskva : Statistika (in Russian)
7. *Grabisch M., Marichal J.-L., Mesiar R., Pap E.* (2011) Aggregation functions: Means. Information Science. (181). P. 1–22.
8. Температура в птичнике [Электронный ресурс] URL: <https://sagrada.biz/press-centr/stati/temperatura-v-ptichnike/>
9. *Леденева Т.М., Левкина И.Н.* обзор основных классов операторов порядкового взвешенного агрегирования. вестник воронежского государственного университета. серия: системный анализ и информационные технологии. 2022. № 1. с. 5-31.
10. *Yager R. R.* Aggregation operators and fuzzy modeling / R. R. Yager // Fuzzy Sets and Systems, 1994. – № 67. – P. 129–145
11. *Zimmermann H.-J.* Fuzzy Technologien: prinzipien, werkzeuge, potentiale / H.-J. Zimmermann. – Duesseldorf, 1993. – P. 251.
12. *Herrera H.* Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators / H. Herrera, E. Herrera-Viedma, J. L. Verdegay // Fuzzy Sets and Systems, 1996. – № 79. – P. 175–190.
13. *Yager R.R.* The ordered weighted averaging operators: theory and applications / R. R. Yager, J. Kacprzyk J. – Boston, Dordrecht, London : Kluwer Academic Publisher, 1997.
14. *Yager R.R.* Quantifier guided aggregation using OWA operators / R. R. Yager // International Journal of Intelligent Systems, 1996. – № 11. – P. 49–73
15. IOT Platforms Company List 2017 Update [Электронный ресурс] URL:<https://IOT-analytics.com/IOT-platforms-company-list-2017-update/>
16. Top 10 criteria to choose the best IoT cloud platform[Электронный ресурс] URL<https://IOTify.io/top-10-selection-criteria-for-your-IOT-cloud-platform>.
17. *Шамасна Хамза, Семашко А.В.* Подход к оптимизации множества технологических объектов управления на основе машинного обучения (нечеткая логика) // «Информационные системы и технологии.(ИСТ-2022)», Сборник материалов XXVIII Междунар. науч.-техн. конф. – Н. Новгород: НГТУ им. П.Е. Алексеева 2022, С. 302-310.
17. URL:https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/konf/ist/sbornik_ist2022.pdf. С. 302.
18. *Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В.* Холод , методы и модели анализа данных: olap и data mining, учебное пособие стр 50,

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ — 2.3.3.****2.3.3.**

**У.А. Айметдинова, Д.А. Веденькин, Али Аль-Муфти,
Рус.Ш. Мисбахов, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, А.А. Кузнецов**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

**АНАЛИЗ МЕТОДА ДВУХЧАСТОТНОЙ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ КАНАЛОВ СВЯЗИ
ТРАНСПОРТНОГО ДОМЕНА СЕТЕЙ 5G/6G**

Требования к параметрам транспортных доменов сетей доступа в линиях связи 5G/6G является одной из основных движущих сил развития новых стандартов пассивных оптических сетей (PON). Среди возможных технологий мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM) является наиболее подходящим для удовлетворения строгих требований к производительности указанных доменов. Однако для снижения затрат на внедрение и эксплуатацию WDM-PON одним из основных вопросов является наличие одночастотных бесцветных оптических источников, в которых одно и то же оптическое оборудование может использоваться для генерации любой длины волны, необходимой в сети. Чтобы оценить возможность удовлетворения этих потребности, в этой статье мы анализируем метод двухчастотной инициализации имеющей преимущества перед одночастотной, основанный на тандемной амплитудно-фазовой модуляции несущей, генерируемой недавно продемонстрированными настраиваемыми лазерами VCSEL как для нисходящего, так и восходящего каналов сетей доступа. Полученные результаты демонстрируют, что для подтверждения момента настройки на центральную длину волны канала известный двухчастотный метод инициализации требует измерения фазы сигнала инициализации, а, следовательно, имеет ограниченное применение.

Ключевые слова: мобильные сети 5G/6G; сеть доступа; инициализация канала связи; двухчастотный метод; тандемная амплитудно-фазовая модуляция; анализ преимуществ и недостатков.

Введение и постановка задачи. В [1, 2] описан синтез симметричного двухчастотного излучения с высокой степенью подавления несущей, что достигалось путем последовательной амплитудной модуляцией и фазовой коммутацией исходного одночастотного излучения (метод Ильина-Морозова). Данный метод также получил название тандемная амплитудно-фазовая модуляция (ТАФМ). В [1] показано, что при корректной настройке схемы, величина подавления несущей может составлять 60 дБ, в то время, как в обычном амплитудном ММЦ – не более 20 дБ.

Двухчастотная инициализация заключается в том, чтобы расположить излучение симметрично относительно центральной длины волны одного канала упорядоченной волноводной решетки (AWG), используемой для WDM. Для этого центральная длина волны двухчастотного излучения (несущая длина волны бесцветного перестраиваемого лазера) перестраивается до тех пор, пока амплитуды левой и правой его компонент не станут равны. Под центральной длиной волны двухчастотного излучения понимается полусумма частот его левой и правой компонент. Равенство амплитуд компонент свидетельствует о том, что зондирующее излучение находится симметрично по обе стороны от центральной длины волны AWG. Контроль равенства амплитуд осуществляется технически путем анализа выходного тока фотоприемника, а именно отношения амплитуды на разностной частоте биений между к амплитуде постоянного сигнала.

Для анализа эффективности применения двухчастотного излучения в задачах инициализации центральной длины волны каналов связи транспортного домена сетей доступа в системах связи 5G/6G было проведено моделирование процесса синтеза двухчастотного излучения, а по опыту его применения, описанному в [3, 4], сделано заключение о его преимуществах и недостатках.

Структурная схема двухчастотного излучателя и результаты моделирования. Структурная схема устройства, реализующего ТАФМ, представлена на рис. 1.

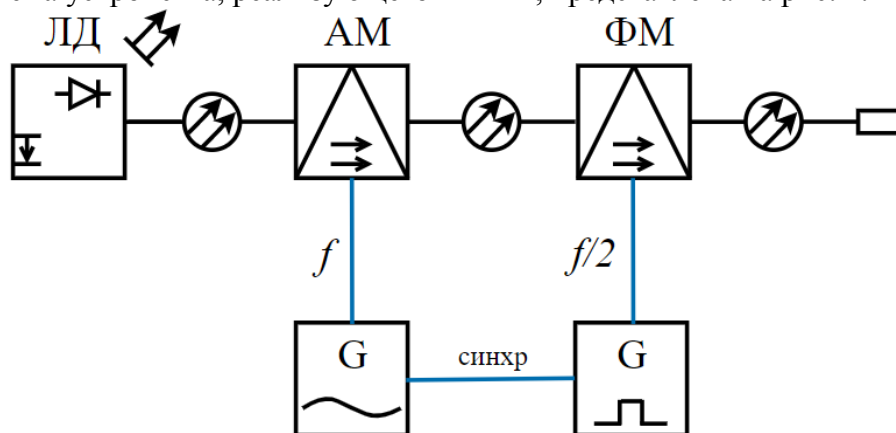
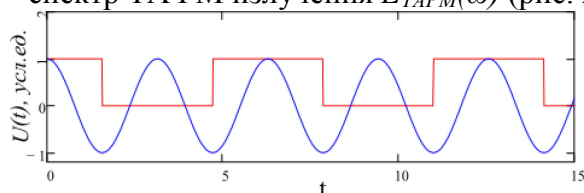


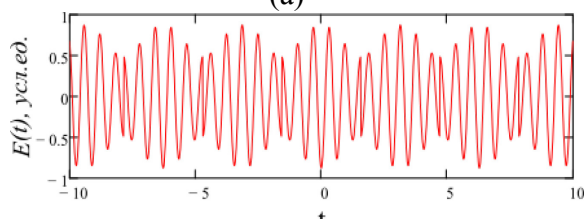
Рис. 1 – Формирователь ТАФМ: ЛД – бесцветный VSCEL

Рассмотрим временные и спектральную диаграммы получения ТАФМ излучения (частота оптической несущей 10 у.е, частота модулирующего гармонического колебания – 2 у.е.). На рис.2 представлены:

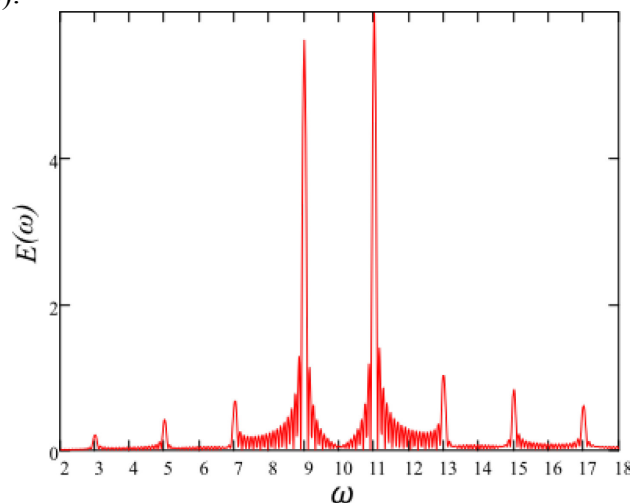
- управляющие напряжения амплитудного (АМ) $U_{AM}(t)$ – синяя кривая – и фазового $U_{PM}(t)$ – красная кривая – модуляторов (рис.2,а);
- временная диаграмма напряженности электрического поля оптического излучения на выходе формирователя ТАФМ $E_{ТАФМ}(t)$ (рис. 2,б);
- спектр ТАФМ излучения $E_{ТАФМ}(\omega)$ (рис. 2,в).



(а)



(б)



(в)

Рис. 2 – Формирование ТАФМ излучения

В [5, 6] показано, что ТАФМ может быть использована для синтеза зондирующих излучений особой формы, в которой частота биений информационных составляющих ± 1 порядка не равна частоте биений ближайших составляющих высокого порядка.

Данное обстоятельство достигается путем подавления частот ± 3 порядка, как наибольших по амплитуде (рис.3).

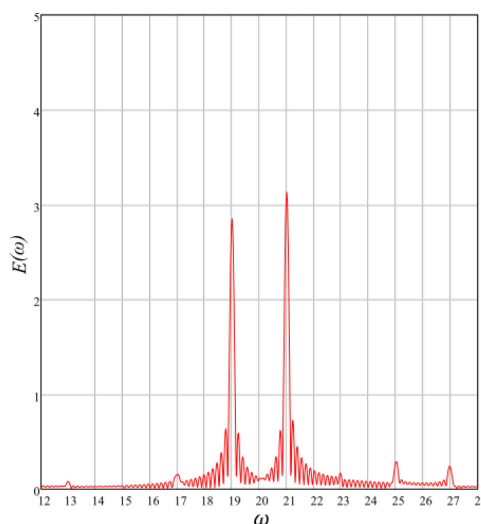


Рис. 3 – ТАФМ излучение с подавлением гармоник ± 3 порядка

При данном подходе вклад биений составляющих высокого порядка в результирующую погрешность на несколько порядков ниже, чем для других методов формирования двухчастотных излучений.

Стоит отметить, что использование двухчастотных излучений имеет один общий недостаток – в начальный момент времени инициализации определение положения излучения относительно центральной длины волны возможно только путем измерения фазы сигнала.

Резюме по результатам анализа. Резюмируем отличительные особенности двухчастотной инициализации:

- синтез двухчастотных излучений проще, чем одночастотных;
- диапазон сканирования в два раза шире, чем у одночастотных;
- обработка информации в области минимальных шумов приемника;
- дополнительный информационный параметр – глубина модуляции и фаза гармоник;
- источник погрешности – абсолютная коммутативность амплитуд, что вносит неоднозначность в определение положения двухчастотного излучения относительно центральной длины AWG;
- источник погрешности – перекрестные биения гармоник высокого порядка на разностной частоте зондирования.

Заключение. Несмотря на то, что использование двухчастотной инициализации позволяет снять большинство ограничений одночастотной, неоднозначность соотнесения амплитуд зондирующих гармоник их частотам является принципиальным ограничением. Для решения указанного недостатка предложено использовать для инициализации дополнительные зондирующие составляющие.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Программы стратегического академического лидерства Приоритет-2030.

Список литературы

1. Морозов О.Г., Ильин Г.И. Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1 (20). С. 6-42.
2. Ильин Г.И., Ильин А.Г., Морозов О.Г. К теории квазигармонических колебаний // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 3 (22). С. 6-33.
3. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О. и др. Инициализация центральной длины волны восходящего потока транспортного WDM-PON домена радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 2 (46). С. 70-86.
4. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О. и др. Рефлекто-метрические методы настройки длины волны лазера восходящего канала в транспортном WDM-PON домене радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 3 (47). С. 66-84.
5. Заболотный В.А., Губайдуллин Р.Р., Сахбиев Т.Р. и др. Алгоритм формирования двухчастотного зондирующего излучения для мониторинга симметричных высокодобротных волоконно-оптических структур // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 6. С. 20-23.
6. Василец А.А., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др. Симметричный векторный анализатор для характеристики спектральных параметров оптических высокодобротных структур // Фотон-экспресс. 2020. № 7 (167). С. 15-21.

2.3.3.

А.Н. Афонин, Каунг Мьят Хту, В.И. Федоров, А.В. Коськин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)),
кафедра информационных и робототехнических систем,
Белгород, afonin@bsu.edu.ru, 1614732@bsu.edu.ru, fedorov_v@bsu.edu.ru, koskin@bsu.edu.ru

**ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР
С РЕГУЛИРУЕМЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ**

В работе предложена конструкция линейного электрического генератора с регулируемым воздушным зазором, позволяющая управлять величиной генерируемой мощности в процессе работы. Получены зависимости характеризующие влияние величины воздушного зазора на характеристики генератора позволяющие задавать закон управления им.

Ключевые слова: *Линейный электрический генератор, регулируемый воздушный зазор, система управления.*

В настоящее время в различных отраслях народного хозяйства все более широкое применение находят беспроводные сенсорные сети (БСС). БСС состоят из большого количества узлов, оснащенных датчиками различных физических величин. По сравнению с проводными сетями датчиков БСС являются более простыми и, в то же время, гибкими в создании и эксплуатации. Однако, организация БСС связана с рядом проблем, из которых одной из наиболее серьезных является обеспечение узлов сети электропитанием. Применение в этих целях химических источников тока существенно снижает надежность беспроводной сети и повышает сложность ее эксплуатации из-за необходимости периодической замены данных источников. В связи с этим, представляется перспективным использовать для электропитания узлов БСС технологий сбора энергии из окружающей среды (Energy harvesting) [1].

Технологии Energy harvesting [2, 3, 4 и др.] предполагают получение электрической энергии из энергии света, тепла, механических колебаний и т.д., возникающих в окружающей среде. Беспроводные сенсорные сети, оснащенные средствами получения энергии из окружающей среды, называют Energy Harvesting Wireless Sensor Networks (EH-БСС). Получение энергии из окружающей среды позволяет сделать беспроводные сети более надежными и автономными. Для питания узлов БСС промышленного назначения одними из наиболее перспективных являются микрогенераторы, получающие энергию из механических колебаний в окружающей среде (виброгенераторы).

Среди известных конструкций вызывает интерес линейный электрический генератор [5] (см. рис. 1). Принцип работы данного генератора состоит в непосредственном взаимодействии магнитного поля подвижного первого магнитного сердечника 1 и подвижного второго магнитного сердечника 2 с магнитными полями индуцированных ими токов в цилиндрической катушке 5. При встречном движении первого и второго магнитных сердечников внутри цилиндрического корпуса 11 в пространстве между их одноименными полюсами и охватываемом цилиндрической катушкой 5 с радиальной обмоткой напряженность поля возрастает как в следствии встречного движения магнитных сердечников, так и в следствии индукционной реакции радиальной обмотки цилиндрической катушки 5, в которой индуцированный ток образует магнитный поток, препятствующий движениям магнитных сердечников. Величина тока в цилиндрической катушке 5 возрастает до максимального значения при минимальном зазоре между полюсами магнитных сердечников.

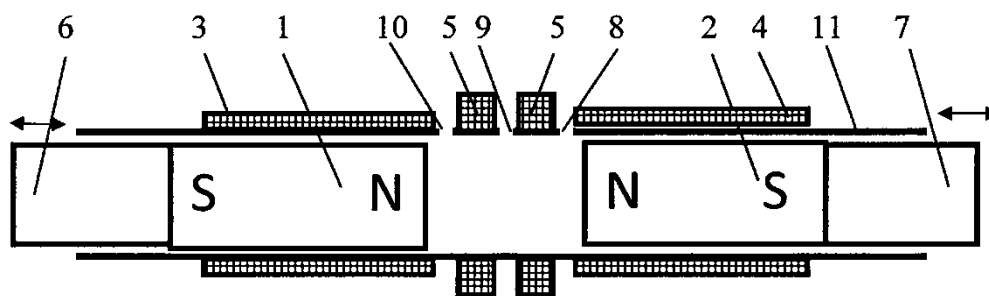


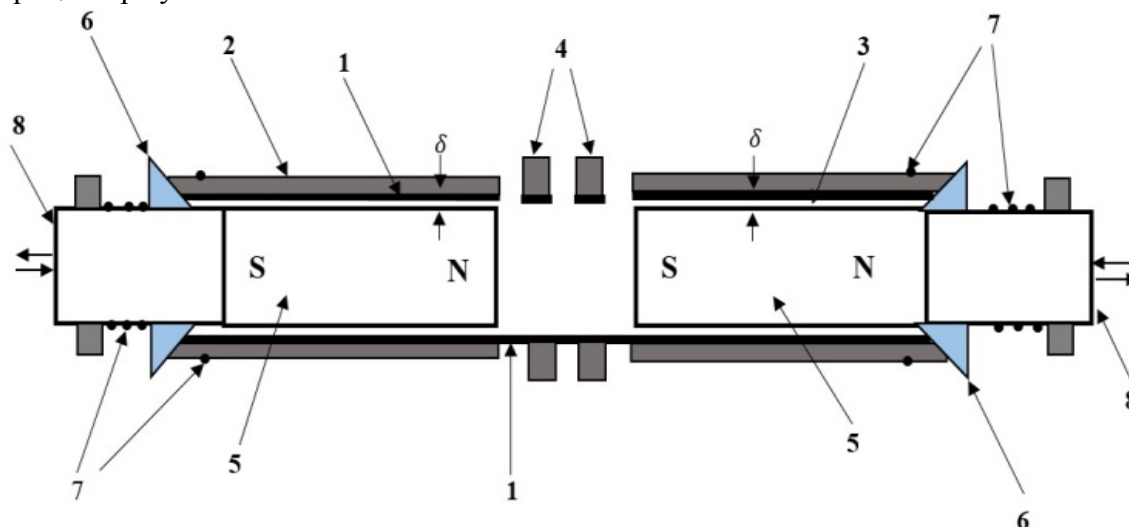
Рис. 1 – Линейный электрический генератор

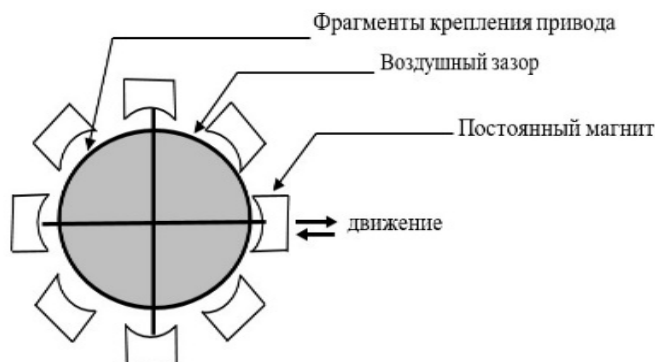
Как выработка энергии вибрационным генератором, так и ее потребление узлом БСС [6], существенно неравномерны во времени, причем пики потребления и генерации как правило не совпадают. Чтобы гарантировать бесперебойную работу узла генератор должен иметь запас по мощности. Однако при минимуме потребления энергии узлом в таком случае будет возникать необходимость утилизации лишней энергии, поскольку, как было указано выше, накопление ее в аккумуляторах или конденсаторах для компактных узлов БСС имеет существенные ограничения. Отвод лишней энергии в компактных узлах БСС также вызывает значительные трудности. В связи с этим представляется целесообразным регулировать мощность генератора в процессе работы, увеличивая ее до максимума при максимуме энергопотребления узла и снижая при его уменьшении.

Одним из наиболее перспективных методов управления параметрами электрических генераторов в процессе работы является управление воздушным зазором между статором и индуктором. Имеется успешный опыт создания электрических генераторов вращения с управляемым зазором между статором и ротором, например [7]. Для линейных ВМГ такие конструкции отсутствуют.

Для обеспечения возможности управления характеристиками линейного электрического генератора в процессе работы на основе конструкции, представленной на рис. 1, была разработана оригинальная конструкция генератора с электромагнитным регулятором воздушного зазора, представленная на рисунке 2.

Данный линейный генератор имеет раздвижные катушки статора с осевыми обмотками, позволяющие изменять величину зазора между ними и индуктором. Изменение зазора осуществляется с помощью опорных конусов, перемещающихся в осевом направлении. Перемещение конусов осуществляется с помощью электромагнитов по команде микропроцессора узла БСС.





- | | |
|--|---------------------------------|
| 1 – цилиндрический корпус; | 5 – магнитные сердечники; |
| 2 – катушки с осевыми обмотками; | 6 – опорный конус; |
| 3 – воздушный зазор (δ); | 7 – винтовая пружина; |
| 4 – центральная катушка с радиальной обмоткой; | 8 – фрагменты крепления привода |

Рис. 2. – Линейный электрический генератор с электромагнитным регулятором воздушного зазора

Для определения характера влияния величины зазора на характеристики генератора разработана методика моделирования электромагнитных полей, возникающих при работе генератора, методом конечных элементов в программе ANSYS [8, 9]. Пример полученного в результате моделирования распределения магнитной индукции для генератора с наружным диаметром индуктора 4 мм при амплитуде колебаний 10 мм и частоте 5 Гц приведен на рис. 3.

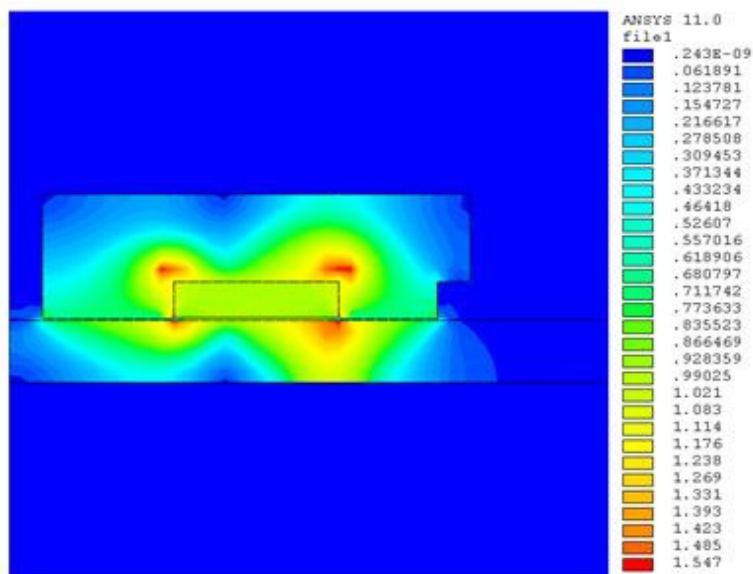


Рис. 3 – Распределение индукции B_δ магнитного поля
(воздушный зазор $\delta=0,05\text{мм}$)

С помощью моделирования по данной методике могут быть получены зависимости индукции магнитного поля и магнитной силы от величины воздушного зазора между статором и индуктором. Пример такой зависимости для генератора с наружным диаметром индуктора 4 мм при амплитуде его колебаний 10 мм и частоте 5 Гц приведен на рис. 4.

Полученные зависимости позволят проектировать линейные генераторы с заданными характеристиками и задавать закон управления величиной воздушного зазора в процессе работы генератора. Увеличение зазора будет приводить к снижению магнитной индукции и, соответственно, уменьшению генерируемой мощности при тех же параметрах механических колебаний индуктора. Это позволит избежать необходимости утилизировать лишнюю энергию во время минимумов энергопотребления узла БСС.

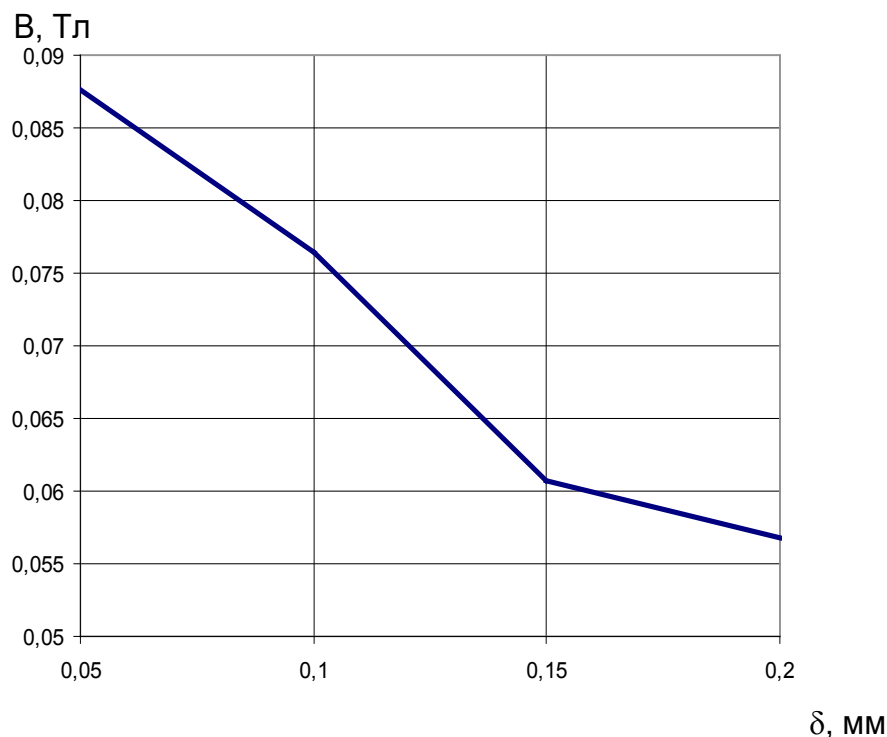


Рис. 4 – Зависимость магнитной индукции от величины воздушного зазора δ между статором и индуктором для генератора с наружным диаметром индуктора 4 мм при амплитуде его колебаний 10 мм и частоте 5 Гц.

Применение данных генераторов с регулируемым воздушным зазором позволит существенно увеличить срок службы узлов БСС за счет поддержания требуемых параметров тока и напряжения и повысить надежность беспроводных сенсорных сетей.

Список литературы

1. Шахов В.В., Мигов Д.А., Соколова О.Д. Беспроводные сенсорные сети, оснащенные средствами получения энергии из окружающей среды // Проблемы информатики. – 2014. - №4. – С. 69 – 79.
2. Бочарников И., Уитакер М. Energy Harvesting. Новый этап в развитии автономных устройств // Компоненты и технологии. – 2010. – №8. – С. 146 - 149.
3. Гольцова М. Аккумулирование кинетической энергии из окружающей среды. // Электроника НТБ. – 2011. -№7 - С. 78 - 85.
4. Синютин Е.С. Новые интегральные решения для разработки сборщиков энергии из окружающей среды // Инженерный вестник Дона. – 2014. - №4.
5. Балагуров В.А., Галатеев Ф.Ф., Ларионов А.Н. Электрические машины с постоянными магнитами. - М.: Энергия. - 1964. - 479 с.
6. Song A.K, Chen D., Nixon M. Challenges of wireless control in process industry // Workshop on Research Directions for Security and Net-working in Critical Real-Time and Embedded Systems, April 2006
7. Gasparjans A., Hramcova M., Terebkov A., Zhiravetska A. Wind power inductor generator with electromagnetic regulation of air gap for alternative power engineering // Engineering for rural development, 2015. – Pp. 396 – 401.
8. Каунг Мьят Хту, Довгаль В.М. К вопросу построения конечно-элементной модели вибрационного микрогенератора // НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ Серия: Экономика. Информатика. - 2019. Том 46, № 1. – С. 99 – 107.
9. Каунг Мьят Хту Анализ выходных характеристик вибрационного микрогенератора автономной системы электроснабжения маломощных потребителей в режиме холостого хода // Инновационная наука. – 2019. - №3. - С. 39 – 43.

2.3.3.

¹Д.И. Березин, ²М.А. Бобров¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н. П. Огарева,институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и электротехники,
Саранск, danilkaak@gmail.ru,²Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н. П. Огарева,институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и электротехники,
Саранск

КОСВЕННЫЙ РАСЧЕТ ДИАМЕТРА КАТУШКИ С ЛЕНТОЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЯХ ПО НАЛОЖЕНИЮ ИЗОЛЯЦИИ И БРОНИРОВАНИЯ КАБЕЛЯ

В настоящее время на производственных линиях по наложению изоляции и бронирования кабеля существует проблема по регулированию натяжения ленты в зависимости от диаметра катушки. При постоянном недостаточном натяжении, лента будет наложена не плотно, в обратном случае, возможны постоянные обрывы. В статье представлен пример косвенного расчета диаметра катушки для изолировочно-бронирующей машины с использованием программного комплекса TIAPortal.

Ключевые слова: *Косвенный расчет, диаметр катушки, TIAPortal, автоматизированная система управления технологическими процессами.*

Электрический кабель характеризуется тремя конструктивными элементами: токопроводящей жилой (одной или несколькими), изолирующим слоем и защитными оболочками, покровами [1].

Первым этапом технологического процесса кабельного производства является скрутка проволок в жилу и изолированных жил в кабель, далее наложение изоляции повивом, применяемым для изготовления бумажной изоляции силовых кабелей и воздушно-бумажной изоляции кабелей связи, обмоток и обмоточных проводов, после сушка и пропитка бумажной изоляции силовых кабелей и сушка кабелей связи, затем наложение свинцовых и алюминиевых оболочек и наложение защитных и влагонепроницаемых покровов (обмотка, оплетка, шланг), а также ленточной и проволоочной брони [4].

Защитные оболочки и покровы, предохраняют изолирующий слой кабеля от воздействия окружающей среды и механических повреждений. Сюда же следует включить и антикоррозийные покрытия разного рода, назначением которых является защита оболочек и покровов кабеля от разъедания окружающей средой. Различного рода оболочки (свинцовая, резиновая и т.п.) различаются по своей механической прочности, коррозионной устойчивости и главным образом по влагонепроницаемости, так как большинство кабельных изолирующих материалов сильно ухудшает свои изолирующие свойства при увлажнении [2].

Машина изолировочно-бронирующая предназначена для наложения обмотки до пяти лент (слодосодержащих, ПЭТ (полиэтилентерефталатная пленка), бумажных лент, лент нетканого полотна, фольги) и брони из металлических лент на токопроводящие жилы силовых и контрольных кабелей.

В состав машины входит лентообмотчик ОЦ–60, который представлен на рисунке 1.

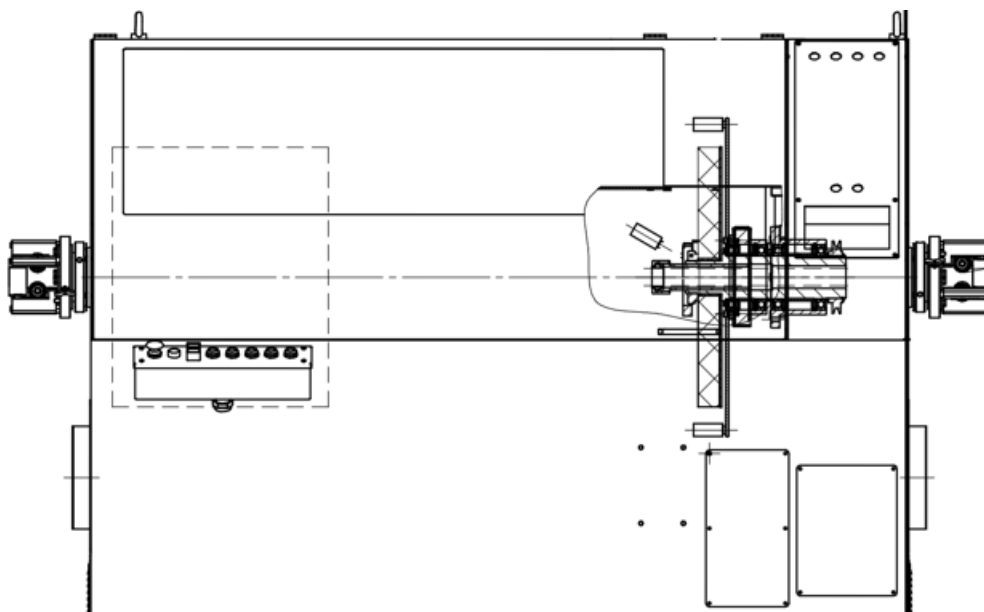


Рис. 1 – Лентообмотчик ОЦ–60

Лентообмотчики предназначены для наложения ленточной изоляции.

Привод головки обмотчика осуществляется зубчатым ремнем от индивидуального серводвигателя с регулировкой частоты вращения. Лентообмотчик оснащен пневматическим дисковым тормозом. Тормоз срабатывает, затормаживая обмотчик при экстренной остановке машины, и растормаживает обмотчик после остановки.

В головке обмотчика устанавливается катушка изолирующей ленты и механизм для поддержания постоянной величины натяжения.

Система управления машиной выполнена на основе программируемого логического контроллера (далее – ПЛК) и панели оператора, что обеспечивает высокоточную синхронизацию между тяговым устройством и головками всех обмотчиков с помощью цифровой электрической сети.

Состав базового оборудования системы управления:

- ПЛК CPU-1214C и панель оператора КТР600 фирмы "Siemens";
- Серводвигатели приводов головок обмотчиков и тяги фирмы "Siemens", частотные преобразователи приводов приемо-отдающих устройств серии "Micromaster" фирмы "Siemens";
- Мотор-редуктор фирмы "TOS ZNOEMO".

Вычисление диаметра D будем проводить по формуле:

$$D = U_{\text{лент}} / (\pi \cdot U_{\text{к}}), \quad (1)$$

где D – диаметр катушки с лентой, мм; $U_{\text{лент}}$ – скорость расхода ленты, мм/мин; $U_{\text{к}}$ – актуальная скорость вращения катушки с лентой, об/мин.

Скорость расхода ленты $U_{\text{лент}}$ вычисляем по формуле:

$$U_{\text{лент}} = \sqrt{(U_{\text{об}} \cdot \pi \cdot D_{\text{пр}})^2 + U_{\text{л}}^2}, \quad (2)$$

где $U_{\text{об}}$ – скорость вращения «обмотчика», об/мин; $D_{\text{пр}}$ – диаметр кабеля, мм;

$U_{\text{л}}$ – линейная скорость линии, м/мин.

Скорость вращения лентообмотчика $U_{\text{об}}$ считываем с преобразователя частоты, который имеет обратную связь по энкодеру, установленного на валу двигателя. Диаметр кабеля и скорость линии задается на панели оператора.

Актуальная скорость вращения катушки с лентой $U_{\text{к}}$ находим по формуле:

$$U_{\text{к}} = |(U_{\text{об}} - U_{\text{нат}})|, \quad (3)$$

где $U_{\text{нат}}$ – скорость вращения катушки с лентой, об/мин.

Для определения скорости вращения катушки с лентой $U_{\text{нат}}$ используется индуктивный датчик, который срабатывает один раз за оборот на метку, установленную на валу двигателя. Далее, по сигналу с датчика, в контроллере запускается организационный блок OB40,

работающий по прерыванию. На рисунке 2 показана настройка блока.

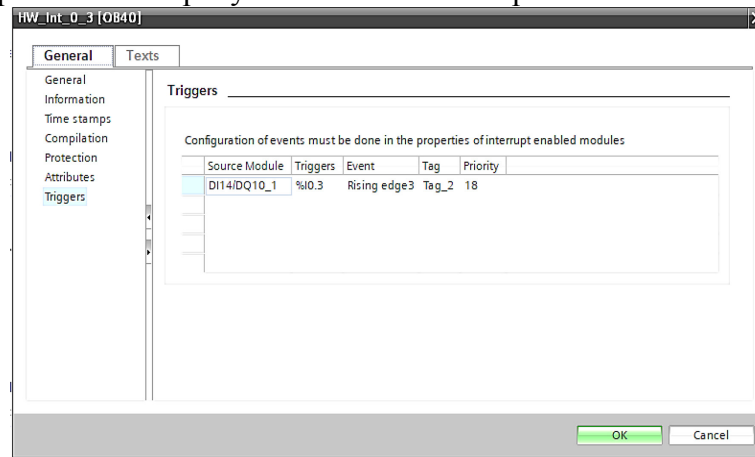


Рис. 2 – Запуск прерывания по входу I3.0 ПЛК для OB40

Используя OB40 вычисляем $t_{\text{имп}}$ время между сигналами индуктивного датчика:

$$t_{\text{имп}} = t_{\text{realtime}} - t_{\text{oldtime}}, \quad (4)$$

где t_{realtime} – текущее время ПЛК в формате дата и время; t_{oldtime} – время ПЛК при предыдущем срабатывании датчика в формате дата и время.

Реализация определения времени между двумя импульсами датчика в среде TIAPortal показана на рисунке 3.

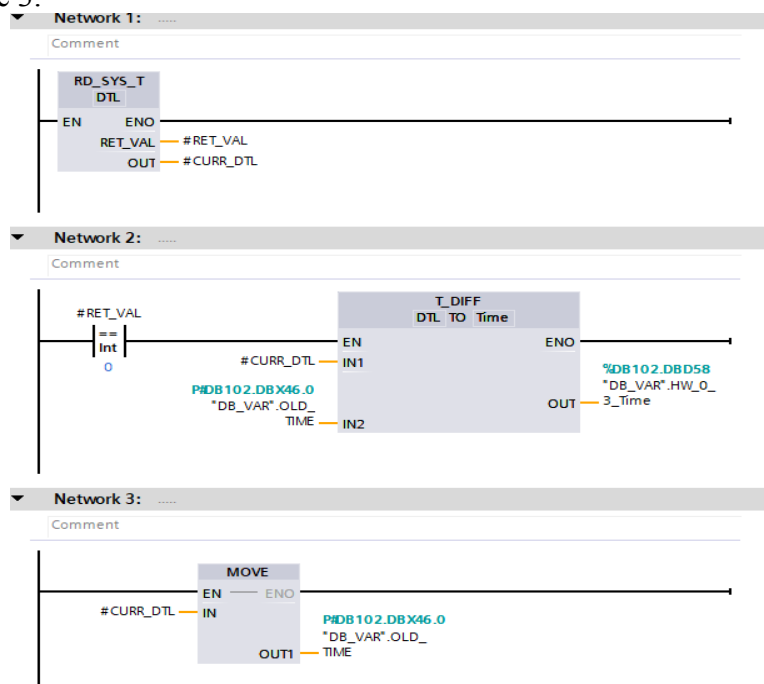


Рис. 3 – Реализация определения времени между двумя импульсами датчика
Скорость вращения катушки с лентой $U_{\text{нат}}$:

$$U_{\text{нат}} = t/t_{\text{имп}}, \quad (5)$$

где $t = 1$, мин.

Пример программного кода для вычислений на языке SCL в среде TIAPortal:

```
1. #Speed_nat_rpm := 60000.0 /
DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT("DB_VAR".HW_0_3_Time));
2. #"Speed_lent_m\min" := SQRT(SQR("DB_T3".SP_SPEED * 0.003141592 *
"DB_HMI".D_WIRE) + SQR("DB_HMI".SPEED));
3. #Speed_nat_rpm := ABS(#Speed_nat_rpm);
4. "DB_T3".SP_SPEED := ABS("DB_T3".SP_SPEED);
5. #Actual_Bobbin_speed := "DB_T3".SP_SPEED - #Speed_nat_rpm;
6. #Dia_calculated := ("Speed_lent_m\min" * 1000) / 3.141592 / #Actual_Bobbin_speed;
```

В данной статье был рассмотрен пример косвенного расчета диаметра катушки с лентой для изолировочно–бронировочной машины. Результат внедрения косвенного расчета диаметра катушки в систему автоматизированного управления на практике показал увеличение производительности линии за счет ухода от ручной подстройки натяжения, а также сокращение числа обрывов ленты.

Список литературы

1. *Алиев И.И., Казанский С.Б.* Кабельные изделия. – РадиоСофт, 2002. – 62 с.
2. *Брагин С. М.,* Электрический кабель (конструкции и основы технологии). – ГЭИ, 1955.
3. *Привезищев В. А. и Тареев Б. М.,* Производство силовых кабелей и обмоточных проводов, ГЭИ, 1945.

2.3.3.

**К.Э. Булдакова, П.Е. Денисенко, Али Аль-Муфти, Рус.Ш. Мисбахов,
О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, А.А. Кузнецов**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

АНАЛИЗ МЕТОДА ТРЕХЧАСТОТНОЙ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ КАНАЛОВ СВЯЗИ ТРАНСПОРТНОГО ДОМЕНА СЕТЕЙ WIFI6/7

Системы связи на базе WIFI6/7, конкурирующие с системами мобильной связи 5/6G, являются многообещающим решением для задач обеспечения растущей нагрузки на абонентскую сеть. Кроме того, предусмотренное огромное количество сценариев развертывания и вариантов использования, которые будут поддерживаться, обуславливает требования к высокой пропускной способности и низкой задержке для сетей WIFI6/7. Подход с использованием волоконных и беспроводных транспортных доменов может эффективно обеспечить соответствующее сверхплотное развертывание. Однако этот же подход налагает строгие требования относительно пропускной способности и настройки оптической сети на канал. В этой статье мы будем анализировать преимущества и недостатки трехчастотного метода инициализации центральной длины волны каналов связи транспортных доменов, построенных на основе NGPON2, фотонных интегральных схем для формирования трехчастотных излучения и сверхплотное волновое мультиплексирование (UDWDM), как исходные данные анализа. На основе этих технологий предлагаемые архитектуры способны снизить связанные с этим потери в системе, а также помочь увеличить бюджет мощности системы, снизить нагрузку на сетевые элементы. Основной задачей остается выбор метода инициализации каналов.

Ключевые слова: *сети WIFI6/7; сеть доступа; инициализация канала связи; трехчастотный метод; тандемная амплитудно-фазовая модуляция; анализ преимуществ и недостатков.*

Введение и постановка задачи. Для синтеза асимметричного по частоте трехчастотного излучения за основу может быть взята схема из [1], где для синтеза боковых полос (двухчастотного излучения) может использоваться схема формирователя излучения на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции (ТАФМ) [1, 2], а несущая, исходная или сдвинутая по частоте для асимметрии, подмешивается к ним. Это значительно улучшит характеристики схемы, т.к., появляется возможность сканирования контура в более широкой полосе путем перестройки длины волны излучения, а не только путем «разноса» по частоте боковых составляющих.

Таким образом трехчастотное сканирование обладает следующими особенностями:

- в отличие от двухчастотного, позволяет однозначно определить положение зондирующего излучения (правый/левый склон) в нулевой момент времени, таким образом сканирование может осуществляться путем перестройки длины волны лазерного излучения, а не только относительно несущей;
- использование ТАФМ для формирования асимметричного по частоте трехчастотного излучения позволяет снять ряд ограничений существующих схем формирователей, повысить диапазон сканирования, а полное подавление несущей в схеме ТАФМ позволяет сформировать асимметричное излучение высокой чистоты, что снизит погрешность, связанную с наличием неподавленных частот высокого порядка и несущей;
- предложенная модель может быть использована для построения трехчастотных

инициализаторов с симметричным зондирующим излучением (фактически АМ сигнал), что значительно упрощает процедуру его синтеза.

Реализация трехчастотного метода инициализации. Формально, метод трехчастотного излучения является частным случаем методов инициализации, рассмотренных в [3, 4], но, в отличие от них, оно обладает следующими отличительными признаками: асимметричное разбалансированное (по амплитуде или по частоте) трехчастотное оптическое излучение, целиком перестраиваемое по частоте, с сохранением взаимного отношения амплитуд на каждой из несущих частот и сохранением разностных частот между оптическими несущими и разностными частотами не превышающими требуемую разрешающую способность сканирования, в то время как существующие подходы [3-6], исключают возможность группового сканирования канала транспортного домена всем пакетом зондирующих частот.

Порядок взаимодействия асимметричного трехчастотного излучения с контуром AWG представлен на рис. 1:

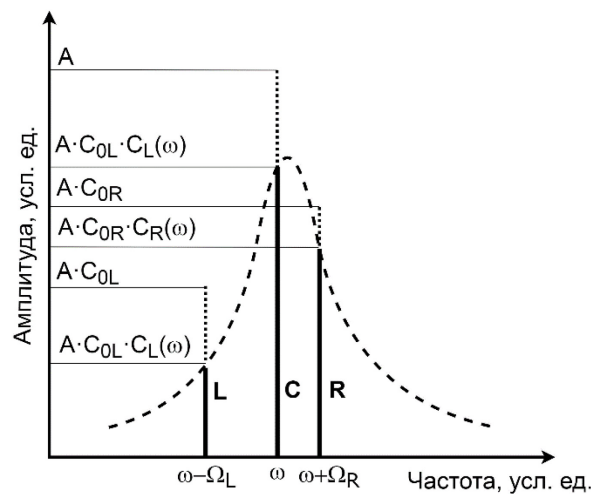


Рис. 1 – Взаимодействие трехчастотного асимметричного излучения с AWG

Описав каждую из зондирующих составляющих как монохроматическую волну составляется выражение для сигнала биений на выходе фотоприемника:

$$\begin{aligned}
 P(t, \omega) = & L^2(\omega) + C^2(\omega) + R^2(\omega) + \\
 & + 2C(\omega)L(\omega)\cos(\Omega_L t + \phi_{0C}(t) - \phi_{0L}(t) + \phi(\omega) - \phi(\omega - \Omega_L)) + \\
 & + 2R(\omega)C(\omega)\cos(\Omega_R t + \phi_{0R}(t) - \phi_{0C}(t) + \phi(\omega + \Omega_R) - \phi(\omega)) + \\
 & + 2R(\omega)L(\omega)\cos\left((\Omega_R + \Omega_L)t + \phi_{0R}(t) - \phi_{0L}(t) + \right. \\
 & \left. + \phi(\omega + \Omega_R) - \phi(\omega - \Omega_L)\right),
 \end{aligned} \quad (1)$$

где L , C и R – амплитуды (левой, центральной и правой частот) трехчастотного лазерного излучения, прошедшие через оптическое устройство, $\omega - \Omega_L$, ω , $\omega + \Omega_R$ – частоты (левой, центральной и правой составляющих) трехчастотного лазерного излучения, соответственно.

Выделив ФНЧ постоянную составляющую, а с помощью полосовых фильтров биения на частотах Ω_L , Ω_R и $\Omega_L + \Omega_R$ получим соответственно четыре выражения каждой компоненты:

$$\begin{cases} D_0 = L^2(\omega) + C^2(\omega) + R^2(\omega); \\ D_L = 2 \cdot C(\omega) \cdot L(\omega); \\ D_R = 2 \cdot R(\omega) \cdot C(\omega); \\ D_C = 2 \cdot R(\omega) \cdot L(\omega). \end{cases} \quad (2)$$

Система (2) переопределена, поскольку количество уравнений превосходит количество неизвестных. Решение переопределенной системы уравнений можно найти методом наименьших квадратов.

Резюме по результатам анализа. Резюмируем отличительные особенности трехчастотных зондирующих излучений:

- отсутствуют ограничения на вид контура AWG (симметричный или искаженный в силу разных причин);
- не требует предварительного сканирования с целью определения положения центральной длины волны AWG;
- сканирование AWG осуществляется всем пакетом частот;
- разрешающая способность ограничивается лишь шагом сканирования трехчастотного пакета и максимальной разностной частотой сигнала;
- детектирование сигнала на фиксированных разностных частотах;
- минимальная погрешность измерений обеспечивается использованием асимметричного по частоте трехчастотного сканирующего излучения;
- недостаток – необходимость формирования асимметричных излучений значительно усложняет схему формирования таких зондирующих излучений.

Заключение. Указанный недостаток критичен. Другой подход связан с применением четырехчастотных излучений, которое получают путем пропускания двухчастотного излучения через дополнительный модулирующий каскад с ТАФМ меньшей фиксированной частотой. В результате компоненты исходного двухчастотного излучения расщепляются на дополнительную фиксированную разностную частоту. Такой подход позволяет избавиться от одного из недостатков двухчастотного зондирования – обработке информационного сигнала на меняющейся разностной частоте, а также сложности формирования трехчастотного излучения. Другой подход к обеспечению широкого диапазона сканирования подразумевает вместо перестраиваемого пакета использовать оптический-комб генератор – синтезатор равномерной по амплитуде и шагу частот гребенки оптических частот на базе ТАФМ с числом компонент не менее пяти.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Программы стратегического академического лидерства Приоритет-2030.

Список литературы

1. Морозов О.Г., Ильин Г.И. Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиوفотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1 (20). С. 6-42.
2. Ильин Г.И., Ильин А.Г., Морозов О.Г. К теории квазигармонических колебаний // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 3 (22). С. 6-33.
3. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О. и др. Инициализация центральной длины волны восходящего потока транспортного WDM-PON домена радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 2 (46). С. 70-86.
4. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О. и др. Рефлекто-метрические методы настройки длины волны лазера восходящего канала в транспортном WDM-PON домене радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 3 (47). С. 66-84.
5. Заболотный В.А., Губайдуллин Р.Р., Сахбиев Т.Р. и др. Алгоритм формирования двухчастотного зондирующего излучения для мониторинга симметричных высокодобротных волоконно-оптических структур // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 6. С. 20-23.
6. Василец А.А., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др. Симметричный векторный анализатор для характеристики спектральных параметров оптических высокодобротных структур // Фотон-экспресс. 2020. № 7 (167). С. 15-21.

2.3.3.

¹Г.А. Гареева канд. педагог. наук,
¹Н.И. Киамова канд. биол. наук, ²О.Ю. Герасимова канд. педагог. наук,
²З.М. Филатова канд. педагог. наук, ³А.Р. Шакиров

¹Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, Набережные Челны,

²Набережночелнинский государственный педагогический университет, Набережные Челны,

³Московский политехнический университет, Москва,
gagareeva1977@mail.ru, nadira.kiamova@yandex.ru, Shakirov.al@bk.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОКУМЕНТООБОРОТА В МЕДИЦИНСКОМ УЧРЕЖДЕНИИ

В данной статье описывается разработка компонентов информационной системы для регистрации и обработки медицинских данных, для автоматизации работы специалистов, занимающихся оформлением первичной документации, которая позволит уменьшить количество возможных ошибок, хранить результаты прохождения обследования в электронном виде, проводить аналитику истории проведения медосмотров. В качестве среды разработки выбрана платформа 1С: Предприятие 8.3.

Ключевые слова: документооборот, 1С, база данных, обработка информации.

С развитием деятельности человека объем создаваемой, обрабатываемой и хранимой информации стремительно растет. Для каждого предприятия оптимизация процесса документооборота и контроля за обработкой информации очень важна. Эффективность управления предприятием зависит от корректного формирования электронных документов, контроля над исполнением, а также продуманной организации их хранения, поиска и использования [1].

Целью исследования является разработка компонентов информационной системы для регистрации и обработки медицинских данных, для автоматизации работы специалистов, занимающихся оформлением первичной документации. В качестве среды разработки компонентов информационной системы была выбрана платформа 1С: Предприятие 8.3 [2]. Для разработки компонентов информационной системы необходимо добавление объектов конфигурации:

Справочники: «Организации», «Пациенты», «Специалисты и кабинеты», «Факторы производства», «Пользователи».

Роли «Заполнение ФЛГ», «Заполнение ЭКГ», «Заполнение прочих анализов», «Полные права», «Пользователь».

Перечисления «Пол», «Типы анализов» - используется в документе «Ежегодный профосмотр» при прикреплении файла с результатом анализа в табличную часть документа для каждого пациента.

Регистр сведений «Пройденные медосмотры» - хранит в базе данных сведения по документам «Ежегодный профосмотр» и по пользователю базы данных, который записал данный документ.

С помощью документа «Ежегодный профосмотр» будет осуществляться заполнение и хранение информации в базе данных о пациентах, результатах анализов, формирование направлений и заключений медосмотров. Реализована возможность создавать и заполнять документы из загрузочного Excel-файла со специальной оговоренной структурой. Ранее информация о пациентах хранилась в виде Excel-файлов, структура загрузочного Excel-файла будет такой же.

Для ввода и обработки информации используются формы. Форма списка появляется сразу при открытии журнала документов «Ежегодный профосмотр», на ней можно фильтровать документы, устанавливая отборы по полям, заданным в структуре документа.

При нажатии кнопки «Создать документы по данным из Excel-файла» - должен считаться Excel файл и создаваться документ в 1С. После того как нажали кнопку «Создать документы по данным из Excel-файла» и после того как завершила работу процедура по считыванию информации из Excel-файла, запускается процедура, которая создаст новый документ и заполнит его данными из Excel-файла.

При нажатии кнопок из меню «Прикрепить результаты анализов» - будут доступны к выбору файлы из файловой системы ПК, после выбора файл запишется в табличной части документа с данными пациента. В названии файла должны быть указаны табельный номер пациента и ФИО, по данному соответствию ищется документ «Ежегодный профосмотр».

По нажатию кнопки «Анализы» будут доступны к выбору файлы в формате Microsoft Word и pdf. По нажатию кнопки «ЭКГ» и «ФЛГ» будут доступны к выбору файлы в формате картинок.

После того как отработала процедура выбора вложенного файла, вызывается «Форма документа», куда передается структура параметров, которая содержит наименование выбранного файла, имя команды и переменная с типом «Булево», которой присваивается значение «Истина». Значение «Истина» выступает сигналом о том, что документ необходимо записать. Далее вызывается обработка записи.

Обработка записи вызывает процедуру загрузки выбранного файла в табличную часть документа. В ней осуществляется добавление строк в табличной части, заполнение полей с номером строки, названием анализа и типом анализа. Заполняется поле «Адрес загрузочного файла», которое содержит уникальный идентификатор загрузочного файла. Именно по уникальному идентификатору осуществляется поиск файла в базе данных.

После того как завершила работу процедура по загрузке выбранного файла и записи данных в табличную часть, вызывается процедура оповещения, которая вызывает процедуру записи документа.

На форме списка расположена кнопка «Удалить отбор по пройденным осмотрам», при нажатии которой будут удалены все наложенные фильтры. Аналогично создается «Форма документа», которая способствует пользователю вводить или корректировать информацию.

На «Форме документа» присутствует меню «Прикрепить результаты анализов». Есть возможность вручную добавить или открыть вложенный документ в табличную часть документа, при двойном нажатии на строку табличной части появятся окна «Выбрать» или «Открыть» [3].

Процедура обработки выбора файла срабатывает при ручном добавлении файла в табличную часть, работает аналогично автоматической загрузке файла и использует тот же программный код [4].

При открытии выбранного файла в базе данных осуществляется поиск по уникальному идентификатору. При нажатии кнопок «Записать и закрыть», «Записать», «Провести» все введенные данные запишутся в базу данных, и документ запишется в регистр сведений. Если введенная в документе организация отсутствует в справочнике организации, тогда она запишется в справочник.

При нажатии кнопок «Медицинская карта», «Заключение предварительного медосмотра» из меню «Печать», будут сформированы печатные формы, заполненные по введенным данным в документ «Ежегодный профосмотр» и из справочников: «Специалисты и кабинеты», «Факторы производства по приказу».

Печатная форма «Медицинская карта» содержит данные о пациенте, направления на анализы, список специалистов, обследование у которых необходимо пройти и номера кабинетов, в которых они находятся. Напротив назначенного специалиста проставляется галочка. Данная печатная форма имеет пять листов.

В процедуре «Печать медицинской карты» получаем макет печатной формы, далее собираются данные, устанавливаются настройки печати макета, заполняются поля печатной формы. Печатная форма «Заключение предварительного медосмотра» содержит данные о пациенте, о специалисте, который вынес заключение медицинского осмотра.

Функция «Текст запроса» содержит текст запроса обращения к базе данных, в результате выполнения которого получаем информацию документа «Ежегодный профосмотр», из которого вызываем формирование печатных форм.

Добавим в дерево конфигурации базы данных два отчета:

- отчет «Сведения о прохождении медосмотра»;
- отчет «Сведения о результатах анализов».

Вид сформированного отчета «Сведения о результатах анализов», с фильтрацией данных по выбранному документу представлен на рисунке 1. При формировании отчета с данным фильтром отобразятся строки выбранного документа.

← → ☆ Сведения о результатах анализов (Расшифровка)

Сформировать Выбрать вариант... Настройки...

Организация					
Документ					
Табельный номер	Должность	ФИО	Дата рождения	Пол	
№ в группе	Анализ	Тип анализа			
ОАО РИАТ					
Ежегодный профосмотр 000000002 от 09.05.2022 19:05:23					
8005	Кладовщик	Писарев Виктор Дмитриевич	31.01.1961	Мужской	
Ежегодный профосмотр 000000001 от 09.05.2022 21:01:32					
9015	Заведующий складом	Жуков Андрей Витальевич	18.01.1978	Мужской	
Ежегодный профосмотр 000000003 от 10.05.2022 14:50:07					
7897	Наладчик робототехнического комплекса	Кудымо Александр Александрович	18.07.1991	Мужской	
1	7897 Кудымо Александр Александрович. Итаге-10-05-22-07-33	ЭКГ			
2	7897 Кудымо Александр Александрович. Итаге-10-05-22-07-33	ЭКГ			
Ежегодный профосмотр 000000004 от 10.05.2022 15:29:36					
5413	Начальник отдела	Михайлов Алексей Викторович	08.03.1971	Мужской	
Ежегодный профосмотр 000000005 от 10.05.2022 15:34:07					
2356	Наладчик станков с ЧПУ	Мухом Денис Андреевич	05.03.1981	Мужской	
1	2356 Мухом Денис Андреевич. Итаге-10-05-22-09-33	ЭКГ			
2	2356 Мухом Денис Андреевич. Итаге-10-05-22-09-33	ЭКГ			
3	2356 Мухом Денис Андреевич. Выписка из медицинской карты	Прочие анализы			
4	2356 Мухом Денис Андреевич. Заключение медицинского осмотра	Прочие анализы			
Ежегодный профосмотр 000000010 от 12.06.2022 20:59:27					
	Программист 1С	Кротова Екатерина Анатольевна	19.07.1985	Женский	
Ежегодный профосмотр 000000006 от 12.06.2022 21:32:00					
2692	Водитель	Савин Сергей Михайлович	29.01.1994	Мужской	
Ежегодный профосмотр 000000007 от 12.06.2022 21:32:09					
9279	Водитель погрузчика	Митин Антон Владимирович	14.05.1996	Мужской	
Ежегодный профосмотр 000000008 от 12.06.2022 21:32:23					
7379	Электромонтер	Фомин Дмитрий Петрович	08.08.1989	Мужской	
Ежегодный профосмотр 000000009 от 12.06.2022 21:32:32					
9639	Оператор ЗВМ	Исакова Людмила Викторовна	11.10.1995	Женский	
Ежегодный профосмотр 000000011 от 12.06.2022 21:32:46					
5052	Ведущий инженер-технолог по мехобработке	Запотов Айрат Русланович	27.04.1979	Мужской	

Рис. 1 – Отчет «Сведения о результатах анализов» в пользовательском режиме

С помощью командного интерфейса пользователь будет перемещаться по функциональным опциям разработанного модуля информационной системы для регистрации и обработки данных (рис. 2).

1С Конфигурация (1С:Предприятие)

Главное Документы Справочники Отчеты

Организации Пациенты Пользователи Специалисты и кабинеты Факторы производства по приказу

Ежегодный профосмотр

Создать Удалить отбор по пройденным осмотрам Создать документы по данным из excel

Номер	Дата	Табельный ...	Организация	Должность
000000009	12.06.2022 21:32:32	9639	ОАО РИАТ	Оператор ЗВМ
000000008	12.06.2022 21:32:23	7379	ОАО РИАТ	Электромонтер
000000007	12.06.2022 21:32:09	9279	ОАО РИАТ	Водитель погрузчика

Рис. 2 – Сформированный командный интерфейс

Разработанный программный продукт позволяет медицинским учреждениям оптимизировать работу специалистов, занимающихся оформлением первичной документации. Интеграция в учетную систему не требует изменения конфигурации, что позволяет без проблем ее обновлять. Проведённый анализ программного продукта, установил эффективность использования его в работе пользователя. Пользователь получает конкретный план действий для корректного оформления документации, каталог сформированных электронных документов, возможность добавления вложенных документов в сформированные документы, возможность сортировки каталога сформированных документов по определенным значениям.

Список литературы

1. Глушаков С.В. Базы данных / С.В. Глушаков, Д.В. Ломотько. - М.: Харьков: Фолио, 2016. - 504 с.
2. Фрост Рэймонд Базы данных. Проектирование и разработка / Рэймонд Фрост и др. - М.: НТ Пресс, 2017. - 592 с.
3. Хрусталёва Е.Ю. Технологии интеграции "1С: Предприятия 8.3" / М.: 1С-Паблишинг. – 2020.- 503 с.

2.3.3.

С.И. Куприянов, И.А. Радченко канд. техн. наукУниверситет ИТМО,
Санкт-Петербург, stasz776@gmail.com**О ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ ПАРАДИГМЫ MLOPS**

В данной статье авторы представляют обзор проблематики внедрения проектов с применением машинного обучения в производственную среду, а также детализируют основные процессы, лежащие в основе методологии MLOps. Дополнительно анализируются некоторые подходы к созданию интеллектуальных систем в рамках парадигмы MLOps. Приводится обобщенная архитектурная схема системы, ориентированной на применение MLOps. Основные компоненты такой системы включают управление жизненным циклом модели машинного обучения с автоматизацией процессов переобучения, непрерывное обновление моделей машинного обучения, контроль качества, отладка и доставка моделей в продуктивный контур. Статья также включает обзор ключевых открытых платформ, реализующих MLOps, с акцентом на платформе MLFlow.

Ключевые слова: машинное обучение, жизненный цикл MLOps, платформы MLOps.

Введение

Специалисты в области искусственного интеллекта (ИИ) довольно часто сталкиваются со сложностями при внедрении и эксплуатации интеллектуальных систем в корпоративной среде.

По статистическим данным, 72% организаций, которые начали пилотные проекты в области ИИ до 2019 года, не смогли внедрить ни одного приложения в производство [1]. Иными словами, модели не внедряются в производство, а если и внедряются, то ломаются, потому что не могут адаптироваться к изменениям на производстве. Причины этого кроются в банальных проблемах: большое количество ручной работы, отсутствие повторно используемых или воспроизводимых компонентов, а также трудности при передаче функций между специалистами по обработке данных.

При попытках масштабирования и развертывания интеллектуальных систем наиболее распространенными препятствиями являются дефицит квалифицированных кадров среднего и высшего уровня, отсутствие эффективных механизмов управления изменениями, а также недостаток оптимизированных моделей управления для достижения масштабируемости систем [2].

Парадигма MLOps представляет собой подход DevOps для систем, использующих МО. DevOps — это методология, включающая в себя автоматизацию процессов сборки, настройки и развертывания программного обеспечения. Она объединяет рабочие процессы разработки с процессами тестирования и эксплуатации для минимизации времени выпуска программного обеспечения в производство. К основным принципам методологии можно отнести непрерывную интеграцию и непрерывную доставку (CI/CD) [3]. Методология MLOps интегрирует этапы обработки данных, обучения, оценки и развертывания моделей, способствуя автоматизации и оптимизации инфраструктуры ИИ. По сути, в подход MLOps объединены разработка и эксплуатация систем, использующих МО.

Архитектура системы, построенной с использованием MLOps

Процесс автоматизации внедрения систем с использованием МО требует специального программного обеспечения и комплексного подхода при выстраивании взаимодействия между командами. Для того, чтобы лучше понять какие именно процессы будут происходить внутри производственного цикла, приведём в пример обобщённую схему архитектуры

выявления качественного набора данных. После получения готового набора данных его разделяют на обучающую, тестовую и валидационную выборки для обучения модели. Затем код модели и подобранные параметры сохраняются в корпоративном репозитории. Ключевая цель процесса экспериментирования заключается в выборе лучшего алгоритма реализации задачи и подборе наилучших гиперпараметров модели.

Блок Г: Автоматизированный рабочий МО-процесс

В блоке Г происходит переобучение или экспериментирование с разными моделями МО для того, чтобы лучшая модель в итоге замещала текущую в производстве. При этом все процессы должны осуществляться автоматически.

На данном этапе взаимодействуют несколько ключевых блоков: компонент оркестровки рабочих процессов, отвечающий за запуск конвейера по заданному расписанию или событию; система хранения признаков моделей, из которого берутся данные по необходимым для модели признакам; реестр моделей и хранилище метаданных, куда помещаются модели и их метрики, полученные по завершении работы запущенного конвейера. Структура самого блока совмещает в себе блок эксперимента В и блок разработки признаков Б2, но добавляет вывод и загрузку модели в реестр.

В корпоративной среде обычно существует хранилище артефактов, необходимых для оркестровки процессов переобучения моделей. Артефакты, представляющие собой версионированный и модернизированный код, хранящийся в репозиториях и выполняются на специфических серверах, являясь ключевым элементом для обеспечения корректности результата.

Важно отметить, что автоматизировать эксперименты в общем случае невозможно, так как на сегодняшний день нет признанного решения, которое можно было бы использовать для любой тематики эксперимента с одинаковым результатом.

Для доставки новых версий модели в продуктивный контур существуют вспомогательные блоки: компонент обслуживания модели, CI/CD-компоненты и компонент мониторинга. CI/CD-компоненты занимаются развертыванием готовых для работы в производстве моделей, а компонент обслуживания модели организует схему генерации предсказаний для моделей МО, как для потокового, так и для пакетного сценариев.

Подобные архитектуры с использованием MLOps представлены и в других исследованиях и интернет-ресурсах [5].

Краткий обзор существующих платформ MLOps с открытым исходным кодом

В настоящий момент уже существует множество решений с открытым исходным кодом для работы с проектами, где требуется реализовать MLOps-подход. Вот некоторые из них:

- MLflow: Платформа MLOps с открытым исходным кодом от Databricks, которая предоставляет возможности для отслеживания экспериментов, упаковки кода в повторно используемые модели и совместного использования и развертывания моделей.
- Kubeflow: Основанная на Kubernetes, Kubeflow предоставляет набор инструментов для развертывания, мониторинга и управления моделями МО в масштабируемых средах.
- Metaflow: Разработанный в компании Netflix, Metaflow предоставляет инструменты для создания и развертывания рабочих процессов МО.
- ClearML: Платформа для автоматизации и управления рабочими процессами МО.
- TensorFlow Extended (TFX): Платформа от компании Google для развертывания рабочих процессов МО на больших наборах данных.

Для осуществления задач в рамках методологии MLOps можно использовать как полноценные платформы, которые содержат инструменты для всех этапов рабочего процесса МО, так и специализированные, предназначенные для исследования данных, развертывания и тестирования.

MLflow является хорошим выбором для будущих исследований, так как представляет собой платформу с открытым исходным кодом для специалистов по МО, которая позволяет управлять жизненным циклом МО посредством экспериментов, развертывания и тестирования, и включает в себя центральный реестр моделей [6]. В отличие от Kubeflow,

MLflow может работать без Kubernetes. Однако при этом MLflow способен упаковывать модели в Docker-образы, для развертывания в Kubernetes.

MLflow включает четыре компонента: MLflow Tracking (запись и запрос экспериментов), MLflow Projects (стандартизированный формат для совместного использования кода между исследователями и воспроизведения кода на различных платформах), MLflow Models (стандартизированный формат для совместного использования моделей в различных инструментах ML) и MLflow Registry (централизованное хранилище для управления жизненным циклом модели).

Заключение

В данной работе представлен подход к конструированию архитектуры системы, основанной на методологии MLOps, с детализацией ключевых внутренних процессов. Описанный подход акцентирует внимание на фундаментальных аспектах проекта, критически важных для интеграции автоматизации процесса повторных обучений модели в производственной среде.

В ходе анализа существующих платформ было выявлено, что большинство из них специализируются на конкретных задачах в сфере машинного обучения и MLOps, однако некоторые предоставляют комплексное решение, охватывающее всю палитру потребностей разработчика. В контексте дальнейших исследований интеграции принципов MLOps наибольший интерес представляют платформы, обеспечивающие удобство экспериментирования с моделями и широкий набор инструментов для работы с ними.

Список литературы

1. The AI-powered enterprise: Unlocking the potential of AI at scale. Презентация. [Электронный ресурс] // URL: https://www.capgemini.com/gb-en/wp-content/uploads/sites/5/2022/05/AI-powered-enterprises_30June2020-1.pdf (Дата обращения 06.08.2023).
2. Khalid Salama, Jarek Kazmieczech, Donna Schut. Practitioners guide to MLOps. [Электронный ресурс] // URL: https://services.google.com/fh/files/misc/practitioners_guide_to_mlops_whitepaper.pdf (Дата обращения 06.08.2023).
3. MLOps: Continuous delivery and automation pipelines in machine learning. [Электронный ресурс] // URL: <https://cloud.google.com/architecture/mlops-continuous-delivery-and-automation-pipelines-in-machine-learning> (Дата обращения 06.08.2023).
4. Dominik Kreuzberger, Niklas Kühl, Sebastian Hirschl. Machine Learning Operations (MLOps): Overview, Definition, and Architecture. [Электронный ресурс] // URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2205/2205.02302.pdf> (Дата обращения 08.08.2023).
5. MLOps Principles. [Электронный ресурс] // URL: <https://ml-ops.org/content/mlops-principles> (Дата обращения 08.08.2023).
6. MLflow Documentation. [Электронный ресурс] // URL: <https://mlflow.org/docs/latest/index.html> (Дата обращения 08.08.2023).

2.3.3.

В.И. Курир

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ,
институт автоматики и электронного приборостроения,
кафедра электрооборудования,
Казань, kurir_valerian@mail.ru

**МИКРО- И МИНИ-ГЭС НА ОСНОВЕ ГИДРОТУРБИННЫХ БЛОКОВ
HYDROMATRIX И STRAFLOMATRIX**

В статье рассмотрен вопрос использования элементов малой гидроэнергетики в пределах промышленного города и его окрестности. Представлены варианты мини-ГЭС в виде погружных капсульных гидрогенераторов HYDROMATRIX и SrafloMatrix. Последние монтируются в проточных конструкциях (шлюзы, арки мостов, дамбы с проточной частью и т.д.) в виде ряда последовательно соединенных мини-ГЭС, либо в виде прямоугольной матрицы, в слоты которой вмонтированы указанные мини-ГЭС.

Ключевые слова: *погружные капсульные гидрогенераторы, мини-ГЭС.*

С середины 70-х годов малая гидроэнергетика начинает привлекать к себе внимание. Кроме резкого повышения стоимости нефти этому способствует:

освоение труднодоступных районов и необходимость их эксплуатации;

отработанная с годами технология проектирования, строительства и эксплуатации МГЭС (малых ГЭС), мини-ГЭС и микро-ГЭС.

К малой энергетике относятся бесплотинные электростанции МГЭС,

мощность которых не превышает 30 МВт, а мощность единичного агрегата составляет менее 10 мВт, мини-ГЭС, мощность которых не превышает 1000 кВт, и микро-ГЭС, мощность которых не превышает 100 кВт.

Ниже приведён пример наиболее оптимального варианта мини-ГЭС, которая может располагаться в черте города, и не требует сооружения большой плотины.

HYDROMATRIX [Andritz VA Tech Hydro GmbH, Австрия] – это мини – ГЭС [1–5], содержащая турбину и генератор, расположенные на одном валу (рис. 1 – 3). Турбина пропеллерная, осевая. Вода поступает в сужающийся канал, проходит через неподвижные лопасти, попадает на турбину, вращает её и выходит через горизонтальную отсасывающую трубу. В конструкции HYDROMATRIX направляющий аппарат с лопатками не предусмотрен. Генератор переменного тока синхронный с возбуждением от постоянных магнитов, либо асинхронный. Мощность HYDROMATRIX, задана производителями в диапазоне от 200 кВт до 700 кВт. Приведём технические данные одной используемой установки. Напор воды перед плотиной – 5,86 м. Диаметр рабочего колеса турбины – 1,32 м. Скорость вращения турбины – 336,7 об/мин. Напряжение на выходе генератора – 690 В. Мощность на выходе – 545 кВт.



Рис. 1 – Генератор с турбиной HYDROMATRIX

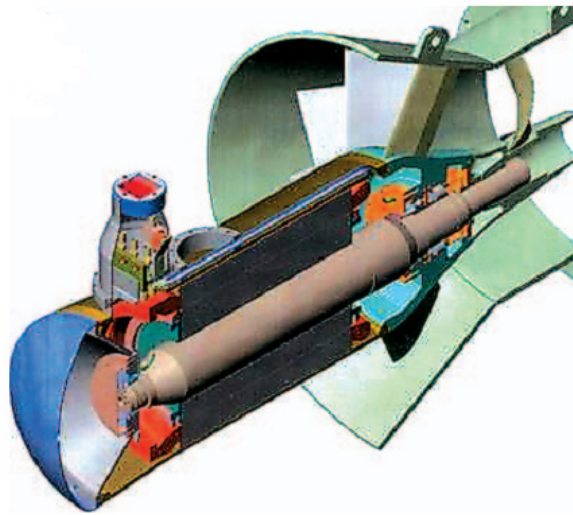


Рис. 2 – Генератор HYDROMATRIX (в разрезе)



Рис. 3 – Матрица мини-ГЭС HYDROMATRIX

В отличие от HYDROMATRIX мини-ГЭС StrafloMatrix (рис.4) имеет вынесенный наружу генератор и вода проходит внутри установки по спрямленному водному тракту (straight flow). Длина установки вдвое меньше, чем у HYDROMATRIX. Обычно используется турбина Каплана. Приведем данные одной эксплуатируемой установки. Напор воды перед плотиной – 8,5 м. Диаметр рабочего колеса турбины – 1,12 м. Скорость вращения турбины на выходе – 428,6 об/мин. Мощность на выходе – 700 кВт.

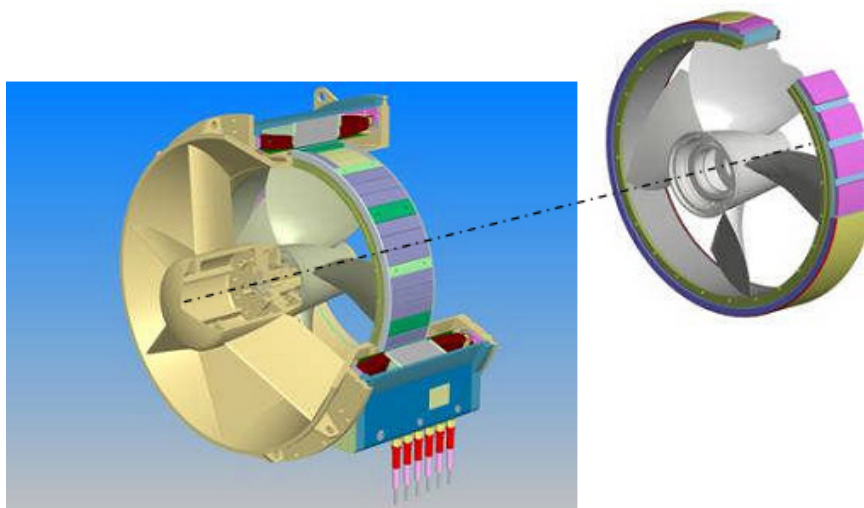


Рис.4 – Генератор с турбиной StrafloMatrix

Примером применения мини –ГЭС на основе гидротурбинных блоков Straflo-Matrix укажем мини-ГЭС в местечке Chievo Dam, Италия (рис. 5).



Рис. 5 – Мини-ГЭС Chievo Dam, Италия

Одним из достоинств проекта является использование существующего перепускного шлюза без серьезных изменений конструкции.

Особенности и преимущества мини-ГЭС:

1. Матрицы с мини-ГЭС можно рассматривать как распределенную генерацию электроэнергии, но которая может быть и соединена с общей городской электросетью. Как правило за такой мини-сетью закреплен промышленный объект, либо удаленный городской (пригородный) микрорайон. Выход их строя одной мини-ГЭС серьезно не скажется на питании объекта, тогда как авария на мощном гидрогенераторе крупной ГЭС создаст немало хлопот.

2. Энергия, произведенная матрицей мини-гидрогенераторов, может быть подана на параллельные АС-АС преобразователи частоты и напряжения, преобразована перед подачей в общую городскую электросеть.

3. Гидротехнические сооружения малых ГЭС не требуют создания дорогостоящих плотин, подъем из воды гидрогенераторов автоматизирован.

Замена, ремонт отдельного гидрогенератора проводится в обычном рабочем режиме.

Список литературы

1. HYDROMATRIX – Energy from low head hydro. – [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https:// andritz.com/productsen/products/hydromatrix.pdf](https://andritz.com/productsen/products/hydromatrix.pdf).
2. Interconnection of HYDROMATRIX units with electric power systems. – [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://nachhaltigwirtschaften.at/adz_pdf/20061019_dg-tagung_hell_19_vortrag_19_hell/pdf?m=1469660045&.
3. *Schlemmer E. and Müller F.* Electromagnetic Finite Element Calculations of Permanent Magnet Generators for ECOBulb and HYDROMATRIX Applications // In Proceedings International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'03), Vigo, Spain, 9– 12 April 2003. – pp. 123 – 127. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/228901701_Electromagnetic_Finite_Element_calculations_of_permanent_magnet_generators_for_ECOBulb_and_HYDROMATRIXR_applications.pdf.
4. *Gautam N., Rentschler A., Schneider T., Binder A.* Modeling and analysis of parallel connected permanent magnet synchronous generators in a small hydropower plant // In Proceedings of the 2006 IASME/WSEAS International Conference on Energy & Environmental Systems, Chalkida, Greece, May 8–10, 2006. – pp. 83–88. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2006evia/papers/516-304.pdf>.
5. *Schlemmer E., Ramsauer F., Cui X., and Binder A.* HYDROMATRIX and StrafloMatrix, Electric Energy from Low Head Hydro Potential // In Proceedings of International Conference on Clean Electrical Power 21 May, 2007. pp. 329 – 334. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/4261198_HYDROMATRIX_and_StrafloMatrix_electric_energy_from_low_head_hydro_potential.pdf.

2.3.3.

В.С. Петров, М.В. Овечкин канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,
аэрокосмический институт,
кафедра систем автоматизации производства,
Оренбург, programmer-08@mail.ru, maxov-1@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассмотрено имеющееся на рынке решение, а также метод математического моделирования, в качестве вектора для развития и разработки методики автоматизированного проектирования технологического процесса контроля качества изделий из композиционных материалов на основе моделирования параметров дефектоскопического оборудования. Рассмотрены сильные и слабые стороны инструмента обучения для специалистов по неразрушающему контролю CIVA NDT и его применение в рамках ультразвукового контроля образцов. Сделан вывод о потенциале использования математического моделирования непосредственно значений параметров дефектоскопического оборудования.

Ключевые слова: *математическое моделирование, неразрушающий контроль, параметры дефектоскопа, дефекты.*

В современном мире, производство нацелено на использование современных методов и материалов, что в свою очередь повышает эффективность технологического процесса и одновременно приводит к его удорожанию. Примерами могут являться использование аддитивных технологий и композиционных материалов. Одним из методов проверки правильности проведения технологических процедур, а также обеспечение дальнейшей безопасности при эксплуатации изделий является неразрушающий контроль (НК). НК позволяет обнаруживать дефекты в материале или конструкции без причинения вреда их функциональности. Однако для проведения НК необходимо иметь параметры дефектоскопического оборудования, которые можно получить при настройке на эталоне с заложенными в него искусственными отражателями, имитирующими дефект. Изготовление эталонов для настройки так же входит в стоимость конечного изделия и может достигать сопоставимой стоимости с изделием интереса. Одним из способов минимизации использования ресурсов при изготовлении изделий является использование программных комплексов и методов математического моделирования для поиска оптимальных параметров дефектоскопического оборудования.

Инновационным программным комплексом, предназначенным для моделирования и оптимизации процессов неразрушающего контроля и испытаний, является CIVA NDT [1]. Разработанный компанией Extende, экспертом в области NDT и процессов принятия решений, CIVA NDT предоставляет мощные инструменты моделирования для широкого спектра методов неразрушающего контроля, включая ультразвуковые, радиографические, термографические и электрические методы. Он является ярким представителем инновационных технологий в области неразрушающего контроля. Интерфейс при симуляции, представленный на рисунке 1, позволяет визуализировать процессы неразрушающего контроля и легко управлять ими. Пользователи могут увидеть результаты моделирования в реальном времени и анализировать их для принятия решений.

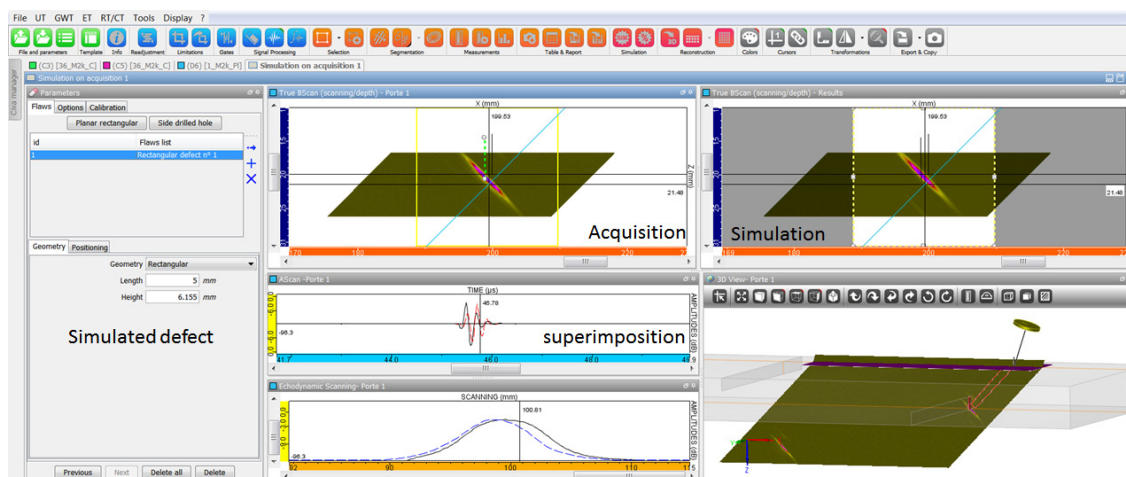


Рис. 1 – Интерфейс CIVA NDT

CIVA NDT — это мощный инструмент обучения для специалистов по неразрушающему контролю (NDT). Он не только позволяет проводить обучение и оценку квалификации персонала, но и предоставляет возможность виртуального моделирования и анализа процессов контроля. Однако, следует отметить, что CIVA NDT не предоставляет параметры дефектоскопического оборудования. Вместо этого, он может выделять отдельные параметры, такие как амплитуда сигнала от отражателя. Это полезно для анализа сигналов и определения характеристик дефектов. Также стоит учесть некоторые ограничения при использовании CIVA NDT. Во-первых, правообладатель находится за пределами страны использования, что может вызывать сложности с поддержкой. Кроме того, базы данных материалов, предоставляемые в CIVA NDT, могут не соответствовать реально используемым материалам на производстве. Наконец, важно отметить, что функционал CIVA NDT может быть достаточно сложным и требует высокой квалификации специалистов и высокопроизводительных рабочих станций. Это особенно актуально при использовании программного комплекса в рамках опытного или серийного производства.

Одним из примеров применения математического моделирования является исследование, проведенное ФГУП «ВИАМ» на тему «Применение математического моделирования физических процессов ультразвукового контроля для снижения количества необходимых настроечных образцов» [2]. Основная цель этого исследования заключается в разработке корректирующих величин, которые помогут выравнивать чувствительность при ультразвуковом контроле объектов с криволинейной поверхностью после настройки на образцах с плоской поверхностью. В ходе исследования был использован инструмент CIVA для апробации результатов, и полученные данные показали высокий уровень точности. Это означает, что математическое моделирование физических процессов ультразвукового контроля может быть полезным инструментом для оптимизации процедуры настройки и снижения количества необходимых настроечных образцов. Благодаря корректировкам, возможно достичь более точного и эффективного ультразвукового контроля, что в свою очередь позволяет сократить количество необходимых настроечных образцов. Это исследование имеет большое практическое значение, поскольку ультразвуковой контроль является важным методом для обнаружения дефектов и оценки качества материалов. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к разработке новых методов и технологий, которые будут еще более эффективными и экономически выгодными.

Проведенное исследование ФГУП «ВИАМ» подтверждает точность и эффективность использования математической модели для анализа амплитуд эхосигналов при неразрушающем контроле с помощью ультразвуковых колебаний. Это означает, что модель способна предсказывать амплитуды эхосигналов с небольшой ошибкой. Тем не менее, общие результаты подтверждают эффективность моделирования для этих случаев. Результаты испытаний показали, что разница между моделью и натурными экспериментами не превышала 4,2 дБ, а систематическая относительная погрешность варьировалась от 0,03% до

7%. Однако следует отметить, что в рамках данного исследования были установлены некоторые ограничения. В частности, были получены только корректирующие параметры для цилиндрических поверхностей преобразователей, используемых на определенных моторостроительных и металлургических предприятиях. Это означает, что модель может быть ограничена в применении для других типов поверхностей и преобразователей. Тем не менее, вышеописанный обзор исследования указывает на положительную перспективу использования математического моделирования в неразрушающем контроле и возможность его внедрения как отдельного модуля, так и в составе программного обеспечения.

Таким образом, современные исследования подтверждают эффективность математической модели в неразрушающем контроле и указывают на потенциал ее использования в различных отраслях промышленности. В дальнейшем можно продолжать исследования с целью расширения применимости модели на различные типы поверхностей и преобразователей, чтобы улучшить точность и надежность неразрушающего контроля.

Список литературы

1. CIVA NDE NDT Software for Simulation and Analysis [Электронный ресурс] URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1693302227&tld=ru&lang=en&name=CIVA_2023_Description_EN.pdf&text=civa%20ndt%20software%20for%20simulation%20and%20analysis&url=https%3A%2F%2Fwww.extende.com%2Ffiles%2Fextende%2Fdownload_files%2FCIVA_2023_Description_EN.pdf&lr=10738&mime=pdf&l10n=ru&sign=05f3bdb63fea992c64543dfae98f7357&keyno=0&serpParams=tm%3D1693302227%26tld%3Dru%26lang%3Den%26name%3DCIVA_2023_Description_EN.pdf%26text%3Dciva%2Bndt%2Bsoftware%2Bfor%2Bsimulation%2Band%2Banalysis%26url%3Dhttps%253A%2F%2Fwww.extende.com%2Ffiles%2Fextende%2Fdownload_files%2FCIVA_2023_Description_EN.pdf%26lr%3D10738%26mime%3Dpdf%26l10n%3Dru%26sign%3D05f3bdb63fea992c64543dfae98f7357%26keyno%3D0 (дата обращения 29.08.2023).
2. Далин М.А., Яковлева С.И., Краснов И.С., Генералов А.С. Применение математического моделирования физических процессов ультразвукового контроля для снижения количества необходимых настроечных образцов, Цифровые технологии, моделирование и автоматизация процессов неразрушающего контроля в аэрокосмической отрасли. Проблемы и перспективы внедрения: материалы XIII Всероссийской конференции по испытаниям и исследованиям свойств материалов «ТестМат» (г. Москва, 12 февраля 2021 г.). С. 20-35.

2.3.3.

¹С.В. Романов, ²Е.А. Басуматорова

Государственный аграрный университет Северного Зауралья,
инженерно-технологический институт,
¹кафедра техносферная безопасность,
²кафедра энергообеспечения сельского хозяйства,
Тюмень, romanovsv@gausz.ru, basumatorovaea.21@mti.gausz.ru

РАСЧЕТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КУСТОВОЙ ПЛОЩАДКИ

В данной статье выполнен расчет токов короткого замыкания для системы электроснабжения кустовой площадки. Одной из приоритетных задач в современных реалиях российской энергетики является повышение экономической эффективности энергообъектов и энергосистемы в целом. В связи с этим прогрессивная электроэнергетика должна базироваться на современной технической базе, что, в свою очередь, требует своевременной организации и управления процессом производства и передачи электроэнергии. Кроме того, необходимо оптимизировать использование существующего оборудования и, по возможности, повысить экономическую эффективность отрасли за счет модернизации устаревшего оборудования[1]. Особое внимание также следует уделить вопросам, связанным с качеством электроэнергии и надежностью ее доставки потребителям. Основными недостатками вышеуказанного оборудования являются отсутствие запасных частей, низкая производительность и высокий уровень качества продукции, периодические простои из-за выхода из строя отдельных компонентов оборудования, высокая сложность устранения неполадок.

Ключевые слова: аварийные режимы, расчет, система, электроснабжение, электрооборудование, питание, фаза, трансформатор.

Введение. Актуальность проблемы качества, долговечности и надежности электроснабжения актуальны на воздушной линии 6 кВ Приобского месторождения. В большинстве случаев такие проблемы возникают из-за физически и морально устаревшего оборудования организации. Коррозия высоковольтного оборудования (воздушные, масляные выключатели, электромеханическая релейная защита, оперативный источник питания) является основной причиной сбоев в электроснабжении постоянно растущего производства [2].

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение токов короткого замыкания (КЗ) в сети или элементах электрооборудования вследствие повреждения изоляции или неправильных действий обслуживающего персонала [3].

В данной статье определены следующие виды КЗ: трехфазные; двухфазные. Расчет токов короткого замыкания выполняется в соответствии методикой изложенной в ГОСТ Р 52735-2007. При расчетах токов КЗ для облегчения вычисления принимаются следующие допущения:

- Все источники, участвующие в питании рассматриваемой точки КЗ, работают одновременно и с номинальной нагрузкой;
- Электродвижущие силы всех источников питания совпадают по фазе;
- Расчетное напряжение каждой ступени при расчете максимально возможного тока КЗ принимается на 5 % выше номинального напряжения сети, а при расчете минимально возможного тока КЗ равным номинальному напряжению сети[4];
- Сопротивление места КЗ считается равным нулю (КЗ считается металлическим);

– Расчёт производится в относительных единицах, все величины сравниваются с базисными, в качестве которых приняты базисная мощность и базисное напряжение. В качестве базисного напряжения принимается среднее напряжение той ступени, на которой имеет место КЗ ($U_6 \text{ ВН} = 115 \text{ кВ}$; $U_6 \text{ НН} = 6,3 \text{ кВ}$). В качестве базисной мощности принимаем мощность $S_6 = 16 \text{ МВА}$.

Результаты исследования. Для расчета токов КЗ составлена расчетная схема и схему замещения системы электроснабжения (рис. 1). Расчетная схема представляет собой упрощенную однолинейную схему, на которой указаны все элементы системы электроснабжения и их параметры, влияющие на ток КЗ. Указаны точки, в которых необходимо определить ток КЗ[5].

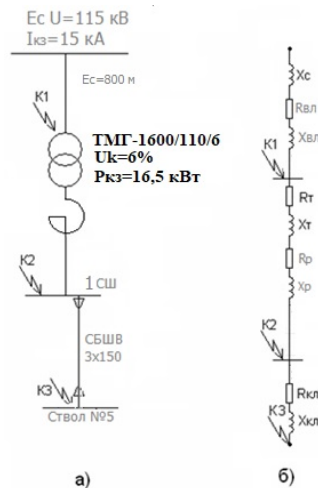


Рис. 1 – Расчетная схема (а) и схема замещения (б)

Определим сопротивление системы

$$X_c = \frac{U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{КЗ}}}, \quad (1)$$

где X_c – сопротивление системы, Ом

$U_{\text{ВН}}$ – базисное напряжение, кВ;

$I_{\text{КЗ}}$ – максимальный ток короткого замыкания системы, кА;

$$X_c = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 15} = 4,43 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление воздушной линии

$$R_{\text{ВЛ}} = r_{\text{ВЛ}} \cdot l_{\text{ВЛ}}, \quad (2)$$

где $r_{\text{ВЛ}}, X_{\text{ВЛ}}$ – удельное активное и индуктивное сопротивление воздушной линии, для провода АС-70/11 равно $r_{\text{ВЛ}} = 0,428 \text{ Ом/км}$, $X_{\text{ВЛ}} = 0,408 \text{ Ом/км}$, $l_{\text{ВЛ}}$ – длина воздушной линии, 800 м.

$$R_{\text{ВЛ}} = 2,76 \cdot 0,8 = 2,21 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{ВЛ}} = 0,408 \cdot 0,8 = 0,326 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление трансформатора. Активное сопротивление:

$$R_t = \frac{P_k \cdot U_6^2}{S_{\text{т.ном.}}^2} = \frac{16,5 \cdot 115^2}{1,6^2} \cdot 10^{-3} = 8,52 \text{ Ом} \quad (3)$$

где P_k – потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

Индуктивное сопротивление

$$X_t = \frac{U_k \%}{100} + \frac{U_6^2}{S_{\text{т.ном.}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{1,6} = 495 \text{ Ом} \quad (4)$$

где U_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{\text{т.ном.}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

Индуктивное сопротивление токоограничивающего реактора РБСДГ 10-2500-0.2 берем из технических данных на реактор.

$$X_p = 0,2 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление реактора определяем по формуле:

$$R_p = \frac{\Delta P_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}^2} \quad (5)$$

где $\Delta P_{\text{ном}}$ – потери активной мощности в фазе реактора при номинальном токе, берем из технических данных на реактор, Вт, $\Delta P_{\text{ном}} = 16$ кВт;

$I_{\text{ном}}$ – номинальный ток реактора, А;

$$R_p = \frac{16000}{2500^2} = 0,00256 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление кабельной линии до точки КЗ:

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot l_{\text{кл}} \quad (6)$$

где r_0 , x_0 – удельное активное и индуктивное сопротивление кабеля СБШВ 3×150 $r_0 = 0,122$ Ом/км, $x_0 = 0,074$ Ом/км, $l_{\text{к}}$ – длина кабеля, 1500 м.

$$R_{\text{кл}} = 0,122 \times 1,5 = 0,183 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{кл}} = 0,074 \cdot 1,5 = 0,111 \text{ Ом}$$

Определим результирующие активные сопротивления для точки короткого замыкания К1. Сопротивление будет равно сопротивлению воздушной линии [6].

$$R_{\text{кл}} = R_{\text{вл}} = 0,342 \text{ Ом} \quad (7)$$

Определим результирующие реактивные сопротивления для точки короткого замыкания К1:

$$X_{\text{кл}} = X_c + X_{\text{вл}}, \quad (8)$$

где X_c – реактивное сопротивление системы, Ом;

$X_{\text{вл}}$ – реактивное сопротивление воздушной линии, Ом;

$$X_{\text{кл}} = 4,43 + 0,326 = 4,75 \text{ Ом}$$

Определим результирующие полное сопротивления для точки короткого замыкания К1:

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{R_{\text{к1}}^2 + X_{\text{к1}}^2} \quad (9)$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{0,342^2 + 4,69^2} = 4,76 \text{ Ом}$$

Определяем ток трехфазного короткого замыкания для точки К1:

$$I_{\text{к1}} = \frac{U_{\text{к1}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{к1}}} \quad (10)$$

$$I_{\text{к1}} = \frac{115}{\sqrt{3} \times 4,76} = 13,9 \text{ кА}$$

Определим токи двухфазного короткого замыкания для точки К1:

$$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)} \quad (11)$$

где $I^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания:

$$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13,9 = 12,1 \text{ кА}$$

Определяем значение ударного тока для точки К1:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{к}} \quad (12)$$

где K_y – ударный коэффициент определяем по [8, рис.7.4] из соотношения $K_y = f(X_k/R_k)$, $I_{\text{к}}$ – ток трехфазного короткого замыкания;

Определяем ударный коэффициент для точек замыкания К1:

$$K_y = f\left(\frac{X_k}{R_k}\right) \quad (13)$$

где X_k – реактивное сопротивление в точке замыкания;

R_k – реактивное сопротивление в точке замыкания;

$$K_{y\text{к1}} = f\left(\frac{4,75}{0,34}\right) = f(1,53) = 1,8$$

Определяем значение ударного тока по формуле 3.49 для точки К1

$$i_{y\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 13,9 = 35,4 \text{ кА}$$

Для остальных точек сопротивления и тока рассчитываются аналогично, все расчётные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчетные токи короткого замыкания

	K1	K2	K3
R, Ом	0,34	0,02	0,192
X, Ом	4,75	0,43	0,293
Z, Ом	4,76	0,43	0,35
$I_{кз}^{(3)}$, кА	13,9	8,42	6,27
$I_{кз}^{(2)}$, кА	12,1	7,29	5,43
K_y	1,8	1,35	1,08
I_y , кА	35,38	18,5	9,57

Надежная работа БКРУ6 кВ может быть обеспечена только тогда, когда каждый выбранный аппарат соответствует как условиям номинального режима работы, так и условиям работы при коротких замыканиях. Поэтому электрооборудование сначала выбирают по номинальным параметрам, а затем осуществляют проверку на действие токов короткого замыкания[7].

Для подходящих и секционной линий выбран вакуумный выключатель ВВ TEL 6 кВ. Технические характеристики выключателя и условия проверки приведены в таблице 2. Выключатели проверяют по электродинамической стойкости и по термической стойкости.

Таблица 2 – Проверка выключателя ВПБ-110

Параметры ВВ TEL 6 кВ	Условие	Номинальное значение	Расчетное значение
Номинальное напряжение (U_n), кВ		6	6
Номинальный ток (I_n), А	$I_{н.вык} \geq I_{н.рас}$	1600	189,2
Номинальный ток электродинамической стойкости ($I_{дин}$), кА	$I_{д.вык} \geq i_{у.рас}$	128	0,48
Ток термической стойкости ($I_{тер}$), кА		40	13,9
Время протекания тока термической стойкости ($t_{терм}$), с		3	3
Тепловой импульс β , кА·с	$\beta_{ном} \geq \beta_{расч}$	4800	152,4

1) Проверим выбранный выключатель по условиям электродинамической стойкости

$$I_{д.вык} \geq i_{у.рас} \quad (14)$$

$$128 > 0,48 \text{ кА}$$

2) Проверим выключатель по термической стойкости. Для проверки на термическую стойкость при сквозных токах короткого замыкания определяют номинальный и расчётный тепловой импульс[8].

$$\beta_{ном} \geq \beta_{расч} \quad (15)$$

где $\beta_{ном}$ – номинальный тепловой импульс выключателя который он может выдержать;

$\beta_{расч}$ – расчетный тепловой импульс;

Определим номинальный тепловой импульс выключателя

$$\beta_{ном} = I^2 \cdot t \quad (16)$$

где I – ток термической стойкости выключателя, кА;

t – максимально допустимое время прохождения тока термической стойкости, с

$$\beta_{ном} = 40 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с}$$

Определим расчетный тепловой импульс выключателя

$$\beta_{расч.} = I_{кз}^2 \cdot (t_{рз} + t) \quad (17)$$

где $I_{кз}$ – ток трехфазного короткого замыкания, кА;

$t_{рз}$ – время действия релейной защиты, принимаем равным 2,1 с для 110 кВ из справочных данных;

t – собственное время отключения выключателя, с

$$\beta_{расч.} = 8,42^2 \cdot (2,1 + 0,05) = 152,4 \text{ кА}^2\text{с}$$

Проверим выполнения условия 3.52

$$4800 \geq 152,4$$

Выбранный выключатель удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям. Проверка остального выбранного оборудования выполняется аналогично. Проверка разъединителя 6 кВ

1) Проверим выбранные разъединители для 6 кВ. Технические характеристики разъединителя РГ-110/1000 и условия проверки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики разъединителя РГ-110/1000

Параметры РГ-110/1000	Условие	Номинальное значение	Расчетное значение
Номинальное напряжение (U_n), кВ		110	110
Номинальный ток (I_n), А	$I_{н.вык} \geq I_{н.рас}$	1000	65,3
Номинальный ток электродинамической стойкости ($I_{дин}$), кА	$I_{д.вык} \geq i_{у.рас}$	80	35,38
Ток термической стойкости ($I_{тер}$), кА		31,5	13,9
Время протекания тока термической стойкости ($t_{терм}$), с		3	3
Тепловой импульс β , кА·с	$\beta_{ном} \geq \beta_{расч}$	2976	579,6

Проверка трансформатора тока 110 кВ Расчетный ток, по которому выбираем трансформатор тока ТОМ-110 300/5, технические характеристики и условия проверки приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики ТОМ-110

Параметры ТОМ-110	Условие	Номинальное значение	Расчетное значение
Номинальное напряжение (U_n), кВ		110	110
Номинальный ток (I_n), А	$I_{н.тр} \geq I_{н.рас}$	300	65,3
Номинальный ток электродинамической стойкости ($I_{дин}$), кА	$I_{д.вык} \geq i_{у.рас}$	40	35,38
Ток термической стойкости ($I_{тер}$), кА		15,5	13,9
Время протекания тока термической стойкости ($t_{терм}$), с		3	3
Тепловой импульс β , кА·с	$\beta_{ном} \geq \beta_{расч}$	720,5	579,6

Вывод. Таким образом были произведены расчёты нагрузок, компенсирующего устройства, трансформаторной подстанции, воздушной линии, рассчитаны токи короткого замыкания и выполнена проверка выбранного оборудования. Выполнен расчет токов короткого замыкания на основании, которого была выполнена проверка выбранной коммутационной аппаратуры 110 кВ по условиям динамической и термической стойкости к токам короткого замыкания.

Список литературы

1. *Никольский О.К., Качесова Л.Ю, Шаныгин И.А.* Математическая модель оценки и управления рисками аварий в системах электроснабжения/Электрооборудование: эксплуатация и ремонт - 2018, - N11. - с. 72-77
2. *Бойко В.И.* Системотехника электронных схем: Аналоговые и импульсные устройства: Учебник для вузов / В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.
3. *Егоров М.Ю.* Новый подход к проблеме стабилизации трехфазного напряжения // Промышленная энергетика. - 2017. - № 3. - С. 46 – 50.
4. *Кизуров А.С., Басуматорова Е.А.* Режимы работы оборудования в трехфазных четырехпроводных цепях переменного синусоидального тока// Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2023. - № 2 (66). - С. 120-125.
5. *Юндин, М.А.* Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства / М.А. Юндин, А.М. Королев — Санкт Петербург, Лань, 2011. -320 с.
6. *Архипов Н.Г., Басуматорова Е.А.* Системы уличного освещения тюменского района с внедрением устройств автоматизации. В сборнике: Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России. сборник трудов национальной научно-практической конференции. Тюмень, 2022. - С. 69-74.
7. Релейная защита трансформаторов с использованием микропроцессорного устройства РС83-ДТ2. Методические указания для дипломного проектирования защит трансформаторов раздела «Релейная защита» для студентов специальности 140211 /Сост. Д.Н. Шестаков. – Курган: Изд-во КГУ, 2010. – 43 с.

2.3.3.

И.В. Савчук, Е.А. Басуматорова

Государственный аграрный университет Северного Зауралья,
инженерно-технологический институт,
кафедра энергообеспечения сельского хозяйства,
Тюмень, savchukiv@gausz.ru, basumatorovaea.21@mti.gausz.ru

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ МИКРОКЛИМАТ ПТИЧНИКА
НА МНОГОПРОФИЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

В данной статье рассматривается разработка и внедрение автоматизированной системы управления микроклиматом птичника в многопрофильном сельскохозяйственном предприятии юга Тюменской области. В настоящее время сельскохозяйственные предприятия сталкиваются с необходимостью совершенствования своих производственных процессов с целью достижения более эффективного функционирования и повышения своей конкурентоспособности на рынке. В связи с этим внедрением современных технологий и автоматизации становится все более актуальным для достижения этих целей. Одним из ключевых аспектов в сельском хозяйстве является обеспечение оптимальных условий содержания животных, особенно если речь идет о крупных птицефабриках. Микроклимат - это совокупность факторов, влияющих на состояние климата в ограниченном пространстве. Содержание и выращивание птиц в сельскохозяйственных помещениях является важным этапом в производстве сельскохозяйственной продукции. Поддержание благоприятного микроклимата в помещении с животными обеспечивает сохранность продуктов и повышение их качества. Он отличается от общего климата и представляет собой более узкомасштабные параметры, характеризующие местные условия в пределах определенного пространства.

Ключевые слова: автоматизация, микроклимат, птичник, внедрение, технология, организм, разработка, внедрение, управление.

Введение. Выращивание птицы в промышленных сельскохозяйственных помещениях является важным этапом в производстве и дальнейшей реализации сельскохозяйственной продукции, это необходимо для поддержания оптимального микроклимата. Отклонение комнатных факторов от нормы приводит к снижению среднесуточного прироста массы тела и влияет на сохранность птицы, особенно в осенне-зимний период, а также влияет на ее продуктивную яйценоскость. Известно, что 40...50% всей энергии, получаемой животными из корма, идет на поддержание нормальной температуры тела, а остальное - на набор веса и правильное развитие. Температура окружающей среды напрямую влияет на количество тепла, выделяемого курицей на начальном этапе, и, соответственно, на потребление корма. Отклонения температуры окружающей среды от оптимальной значительно снижают рост и развитие молодняка птицы и увеличивают расход корма, что приводит к дополнительным незапланированным финансовым потерям для фермы.

Автоматический микроклимат в птицеводстве представляет собой систему управления, которая контролирует и поддерживает оптимальные условия окружающей среды в птичнике с использованием современных технологий и оборудования. Эта система имеет значительное влияние на производительность и благополучие птиц, а также на эффективность птицеводческих хозяйств.

Исследование было проведено многопрофильном сельскохозяйственном предприятии юга Тюменской области, расположенном в селе Онохино. Основными направлениями деятельности предприятия являются: производство пищевых яиц, производство сухого меланжа (яичного порошка), производство мяса птицы, производство зерна и комбикормов, оптовая и розничная торговля. Основным продуктом, производимым на предприятии, является пищевое куриное яйцо.

Автоматизация производства, достигнутая в ходе реализации инвестиционного проекта, позволяет сказать о высоком качестве продукции, когда покупатель первым берет в руки яйцо. Создание оптимального микроклимата в птичниках является важным условием реализации генетического потенциала продуктивности птицы и минимизации удельных затрат материально-технических ресурсов. Контроллеры представляют собой электронные устройства, оснащенные современными системами контроля и управления, такими как компьютеры и датчики. Они позволяют эффективно реагировать на изменения внешних условий и поддерживать стабильные и оптимальные условия в птичнике.

Одним из производителей оборудования для птицефабрик, является компания Big Dutchman. Их контроллеры обладают важной функциональностью - возможностью загрузки программы в соответствии с возрастом птицы и ее поголовьем. Основное оборудование основано на продуктах и технологиях компании Big Dutchman. Контроллер от Big Dutchman аккуратно отслеживает эту информацию и использует ее для управления микроклиматом в птичнике. Алгоритмы специально разработанной программы точно определяют оптимальные параметры микроклимата в зависимости от возрастной группы и количества птиц. Эти параметры включают температуру, влажность, уровень освещения, объем и скорость подачи корма. Контроллеры обеспечивают точное и автоматическое регулирование условий содержания, учитывая специфические потребности кур-несушек на разных стадиях их жизненного цикла.

Одной из значимых особенностей контроллеров от Big Dutchman является их энергоэффективность. Системы автоматического микроклимата, такие как системы вентиляции, отопления и охлаждения, разработаны с учетом энергоэффективности. Они позволяют оптимизировать потребление энергии, минимизируя затраты на отопление и охлаждение птичника, и в то же время обеспечивают стабильные условия содержания птиц.

Еще одним плюсом внедрения автоматического микроклимата является значительное улучшение условий труда птицеводов. Компьютер экономит время и ресурсы, необходимые для ручной регулировки условий микроклимата. Автоматизация освобождает птицеводов от рутинной работы и позволяют им сконцентрироваться на других аспектах ухода за стадом. Одним из ключевых аспектов является система поения, где были использованы ниппельные поилки.

Расчет отопления птичника представляет собой процесс определения необходимой мощности отопительной системы, а также выбора подходящего оборудования для поддержания желаемой температуры внутри помещения.

При расчете отопления птичника также учитываются факторы энергоэффективности, такие как утепление стен, потолка и пола, выбор энергосберегающих систем отопления и регулирования температуры.

Согласно стандарту РД-АПК 1.10.05.04-13, каждая птица выделяет тепло в количестве 9,92 Вт на каждый килограмм своей массы. Принимая массу одной птицы равной 1,7 кг, мы можем вычислить общее количество теплоты, которое выделяется птицами внутри помещения по формуле:

$$P_{\Pi} = 1,7 \cdot 9,92 \cdot 116928 = 1971\,873,79 \text{ Вт} = 1971,9 \text{ кВт}, \quad (1)$$

Для расчета тепла калорифера воспользуемся формулой 10:

$$P_K = P_O + P_B - P_{\Pi}$$

где P_O -потеря теплоты через ограждения, кВт;

P_B -теплота, уносимая с вентилируемым воздухом, кВт;

P_{Π} -теплота, выделяемая птицами, кВт.

Для расчета потерь теплоты через ограждения воспользуемся формулой:

$$P_O = \lambda \cdot S_o \cdot (t_{\Pi} - t_n) \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где λ -коэффициент общей теплопередачи материала, птичник обшит сэндвич-панелями с наполнителем минеральная вата их коэффициент теплопередачи равен 0,021;

S_o -общая площадь ограждений, м²;

t_n -температура воздуха внутри птичника, °C;

t_n -расчетная температура наружного воздуха, °C.

Для анализа теплопотерь, связанных с ограждающими конструкциями птичника, требуется выполнить расчет площади перекрытия, стен, ворот и окон:

$$S_{\text{пер}} = 9,34 \cdot 78 \cdot 2 = 1345 \text{ м}^2, \quad (3)$$

$$S_{\text{стен}} = 6,95 \cdot 78 \cdot 2 + 6,95 \cdot 18 \cdot 2 = 1334,4 \text{ м}^2, \quad (4)$$

Для упрощения расчетов, площадь ворот ($S_{\text{ворот}}$) и окон ($S_{\text{ок}}$) принимается равными 5% от общей площади стен.

$$S_{\text{ворот}} = S_{\text{ок}} = 0,05 \cdot 1334,4 = 66,72 \text{ м}^2$$

Подставим полученные значения в формулу 24:

$$P_0 = 0,021 \cdot 2746,12 \cdot (22 - (-35)) \cdot 10^{-3} = 3,28 \text{ кВт}$$

Для расчета тепла, уносимого вентиляцией, воспользуемся формулой:

$$P_B = C \cdot \rho \cdot V \cdot (t_n - t_n) \cdot K_p \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где -удельная теплоемкость воздуха, 0,28 Вт·ч/(кг·°C);

ρ - плотность наружного воздуха, 1,342 кг/м³;

V - объем птичника, м³;

t_n -температура воздуха внутри птичника, °C;

t_n -расчетная температура наружного воздуха, °C.

K_p -кратность воздухообмена.

Получим:

$$P_B = 2,28 \cdot 1,342 \cdot 11507 \cdot (22 - (-35)) \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 2957,5 \text{ кВт}$$

Расчетная теплота калорифера:

$$P_K = 3,28 + 2957,5 - 1971,9 = 988,9 \text{ кВт}$$

Для создания требуемых условий в здании предусматривается система отопления с использованием теплогенераторов, с потреблением природного газа. Для обогрева птичника данного предприятия используются газовые теплогенераторы закрытого типа Jet-Master, NG-L 80 фирмы «Big Dutchman», теплопроизводительностью 80 кВт.

Однако у данного типа теплогенераторов существует ряд недостатков. Одним из недостатков, характерным для климата Тюменской области является конденсация. При использовании газовых пушек в условиях сильного перепада температур между внутренней и внешней сторонами помещения возникает проблема конденсации. В конечном итоге это явление приводит к нарастанию наледи внутри камина и ухудшению производительности воздухообмена.

Предлагается внедрить многоэлектродного композиционного электрообогревателя (МКЭ) используя типовые пластины ГЭК-2 размерами 230×135×10 мм, мощностью 25 Вт, смонтированные внутри приточных каминов (рис. 1). Предполагается разместить равномерно по трубе 12 пластин. Это решение поможет обеспечить безопасное и эффективное обогревание птичников предотвращая конденсацию в помещении и оледенение приточной вентиляции.

Многоэлектродный композиционный электрообогреватель для агрессивных и влажных сред представляет собой инновационное тепловое устройство, разработанное специально для обогрева в условиях с повышенной влажностью и наличием агрессивных веществ. Основными компонентами многоэлектродного композиционного электрообогревателя являются металлические электроды, вкладыши и композиционные материалы. Электроды размещены в специальном порядке и образуют множество точечных источников нагрева, что позволяет равномерно распределить тепло по всей площади обогреваемой поверхности.

Композиционные материалы, используемые в данном обогревателе, обладают высокой термической стойкостью и химической стойкостью к агрессивным веществам, таким как кислоты, щелочи и другие коррозионные среды. Это позволяет использовать такой обогреватель в условиях с повышенной влажностью и наличием химически активных компонентов.

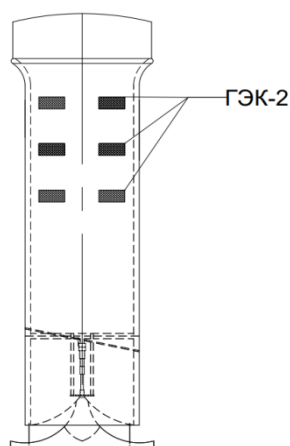


Рис. 2 – Размещение пластин ГЭК-2 внутри приточного камина

Вывод. Таким образом, разработанный проект по автоматизации микроклимата птичника на многопрофильном сельскохозяйственном предприятии юга Тюменской области представляет собой комплексную систему, способную обеспечить оптимальные условия проживания птицы и повысить производительность предприятия. Внедрение данного проекта имеет потенциал для достижения значительных экономических и экологических преимуществ, а также способствует развитию сельскохозяйственного сектора и улучшению жизни птицеводческих хозяйств.

Список литературы

1. *Заводов А.В.* Особенности микроклимата птичника для ремонтного молодняка кур яичного направления// Птицеводческое хозяйство. Птицефабрика. №11, 2011. – с.8-11.
2. *Буяров В.С.* Технологические и экономические аспекты производства мяса бройлеров / В.С. Буяров, Е.А. Буярова, В.А. Бородин. М.: 2012// «Комбикорма» №4, 2012. с. 39-45.
3. *Вендин С.В.* Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: методические указания / С. В. Вендин, С. В. Килин, С. В. Соловьёв. — Белгород: БелГАУ им.В.Я.Горина, 2020. — 62 с.
4. *Юденич Л.М.* Системы автоматизации сельскохозяйственных предприятий. Курсовое проектирование / Л. М. Юденич. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 108 с.
5. *Бессорабов Б.Ф.* Птицеводство и технологии производства яиц и мяса птиц: Учебник. - СПб. Издательство “Лань”, 2005. – 231 с.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ — 2.3.5.**

2.3.5.

И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт механики и математики им. Н.И. Лобачевского,
кафедра теоретической механики,
Казань, e_xo@mail.ru

**НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ
В ЗОНЕ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ
ПО ТРАНСФОРМИРУЮЩИМСЯ РАСЧЕТНЫМ СХЕМАМ**

На основе непротиворечивых уравнений геометрически нелинейной теории упругости в рамках конечно-элементного подхода к описанию геометрии реализована методика решения трехмерных задач статики бетонных и железобетонных элементов конструкций. В рамках подхода, известного в литературе как расчет деформируемых конструкций по трансформирующимся расчетным схемам, развиты новые вычислительные модели деформирования пространственных элементов строительных конструкций при их взаимодействии с грунтовыми средами

Ключевые слова: нелинейное деформирование, бетонные элементы конструкций, грунты, расчет по трансформирующимся расчетным схемам.

Существует достаточно широкий круг задач, для которых линейная теория упругости даёт приемлемые результаты. Однако нельзя не заметить, что уравнения линейной теории упругости являются достаточно грубым приближением могут быть совершенно неприемлемыми при моделировании механического поведения деформируемых твёрдых тел в реальной постановке. В связи с развитием современной и стремительным развитием вычислительной техники появилась возможность решать задачи нелинейной теории упругости с учётом реальной работы конструкции и практически всех физико-механических свойств материала.

Исследованию нелинейного деформирования элементов трехмерных конструкций посвящено достаточно много работ. В качестве классических примеров можно привести монографии и работы [1-5]. В настоящей работе за деформации принимаются три деформации удлинений и три составляющие сдвиговых деформаций, которые носят название «истинных». Предлагаемая авторами методика частично была представлена в работах [6-7].

Для деформируемого твердого тела объемом V_0 ограниченное граничной поверхностью S_0 в ортогональной декартовой системе координат x^i ($i = 1, 2, 3$) в состоянии статического равновесия тела имеет место вариационное уравнение (1)

$$\iiint_{V_0} \sigma_i^* \delta u_{,i} dV_0 = \iiint_{V_0} \mathbf{F}^* \delta \mathbf{u} dV_0 + \iint_{S_\sigma} \mathbf{P}^* \delta \mathbf{u} dS_\sigma. \quad (1)$$

В качестве σ_i^* , $\mathbf{P}^*$ и $\mathbf{F}^*$ приняты: вектор напряжений, вектор поверхностных и, соответственно, вектор объемных сил на площадках деформированного элементарного объема, отнесенных к единицам площади dS_0 и объема dV_0 , $\mathbf{u}$ - вектор перемещений.

Пусть $\mathbf{R}_i^* = \partial \mathbf{R}^* / \partial x^i = \mathbf{e}_i + \mathbf{u}_{,i}$ – основные базисные векторы в деформированном состоянии тела, то для векторов $\boldsymbol{\sigma}_i^*$ можно принять разложение $\boldsymbol{\sigma}_i^* = \sigma_{ij}^* \mathbf{R}_j^*$.

Если для векторов $\boldsymbol{\sigma}_i^*$ принять разложения $\boldsymbol{\sigma}_i^* = \sigma_{ij}^* \mathbf{R}_j^*$, где $\mathbf{R}_i^* = \partial \mathbf{R}^* / \partial x^i = \mathbf{e}_i + \mathbf{u}_{,i}$ – основные базисные векторы в деформированном состоянии тела, то левая часть уравнения (1) преобразуется к виду (2):

$$\iiint_{V_0} \boldsymbol{\sigma}_i^* \delta \mathbf{u}_{,i} dV_0 = \iiint_{V_0} \sigma_{ij}^* \delta \varepsilon_{ij} dV_0. \quad (2)$$

Истинными деформациями удлинений и сдвигов назовем величины

$$\varepsilon_{ii}^{tr} = \varepsilon_i = dl_i^* / dl_i - 1 = \sqrt{1 + 2\varepsilon_{ii}} - 1, \quad \varepsilon_{ij}^{tr} = \sin \gamma_{ij} = 2\varepsilon_{ij} (1 + \varepsilon_i)^{-1} (1 + \varepsilon_j)^{-1} \quad (3)$$

а истинными [1] напряжениями В.В. Новожилову являются компоненты векторов $\boldsymbol{\sigma}_i$ в представлениях $\boldsymbol{\sigma}_i = \sigma_{ij} \mathbf{e}_j^*$, где $\mathbf{e}_j^* = (1 + \varepsilon_j)^{-1} (\delta_{ji} + e_{ji}) \mathbf{e}_i$. Так как [1] $S_i \boldsymbol{\sigma}_i^* = S_i^* \boldsymbol{\sigma}_i$, то между компонентами σ_{ij}^* и σ_{ij} имеют место зависимости [2], преобразующиеся к виду

$$\sigma_{11}^* = \frac{\sigma_{11}}{1 + \varepsilon_1} (1 + \varepsilon_2) (1 + \varepsilon_3) \cos \gamma_{23}, \quad (4)$$

$$\sigma_{12}^* = \sigma_{12} (1 + \varepsilon_3) \cos \gamma_{23} = \sigma_{21} (1 + \varepsilon_3) \cos \gamma_{13} = \sigma_{21}^*;$$

С учетом соотношений (2), (3) и (4), вариационное уравнение (1) может быть записано через компоненты тензоров истинных напряжений и деформаций.

В задачах моделирования механических процессов, происходящих в сложных строительных конструкциях при поэтапном процессе их возведения вводится понятие трансформирующихся конструкций (или механических систем), которые на отдельных этапах строительства претерпевают структурные изменения и переходят от одного класса к другому. При этом на каждом этапе в строительных конструкциях формируются новые поля напряжений, деформаций и перемещений. Причем напряженно-деформированное состояние элементов таких конструкций на предыдущем этапе строительства могут существенно влиять на механическое состояние конструкции на последующих шагах. В большинстве случаев необходима постановка задач механики с учетом геометрической нелинейности, когда процесс деформирования представляется как последовательность равновесных состояний, и переход из текущего состояния в последующее определяется приращением нагрузки, изменением граничных условий или расчетной области и т.д.

Первоначально в грунт внедряются буронабивные сваи, а потом в зоне их оснований при помощи jet-технологии под высоким давлением впрыскивается жидкий бетонный раствор, после застывания которого и образуются так называемые подпяточные опоры. Расчетная область для проекта с короткими буронабивными сваями и защитным кожухом представляет собой кусочно-однородную область грунта, на которую через фундаментные плиты передается нагрузка от здания (рис. 1) к пяточным опорам, расположенным на границе песок-глина. Сваи расположены как под боковыми корпусами проектируемого здания, так и под центральным.

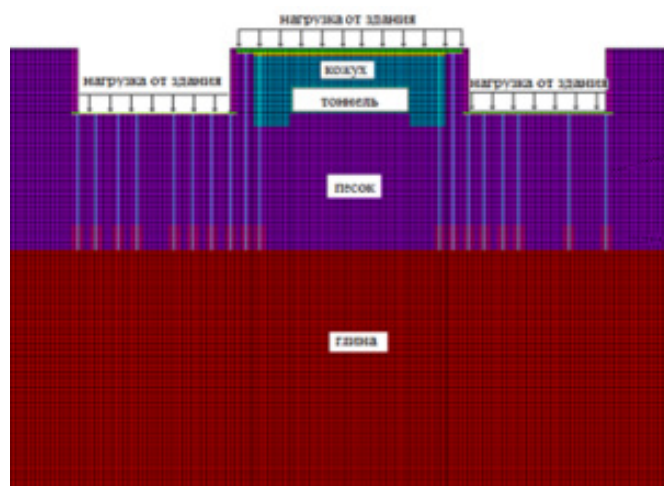


Рис. 1 – Расчетная область

В расчете принято, что граница расчетной области проходит по границе глина-известняк. На рисунках 2 и 3 приведены распределения осадок в грунте в зоне станции тоннеля метрополитена для случаев с защитным кожухом и без него.

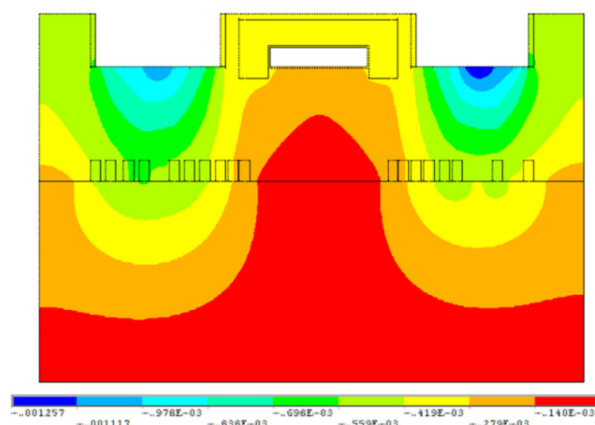


Рис. 2 – Осадка расчетной области для случая расчета с защитным кожухом

Можно отметить, что предложенный в статье метод учета влияния компенсационной заправки на деформацию близко расположенных подземных сооружений и грунтов достаточно эффективен при определении осадки. Определение напряженно-деформированного состояния в непосредственной близости от закачиваемого раствора оставляет желать лучшего.

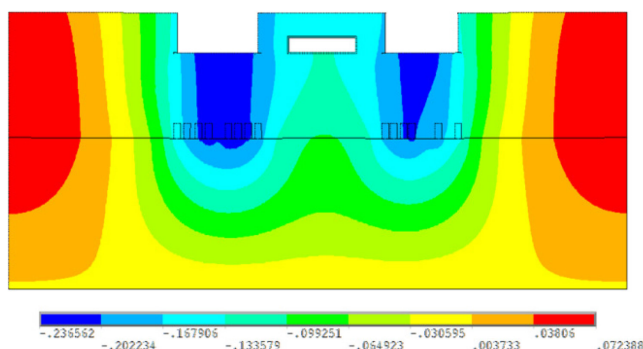


Рис. 3 – Осадка расчетной области для случая расчета без защитного кожуха

Исследование выполнено при финансовой поддержке, выделяемой Казанскому федеральному университету по государственному заданию в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2023-0009.

Список литературы

1. Новожиллов В.В. Вопросы механики сплошной среды. – Л.: Судостроение, 1989. – 400 с.
2. Паймушин В.Н. Об уравнениях геометрически нелинейной теории упругости и безмоментных оболочек при произвольных перемещениях // Прикладная математика и механика. – 2008. – Т. 72, вып. 5. – С. 822-841.
3. Большаков П.В., Саченков О.А. Моделирование разрушения неоднородного тела методом конечных элементов с использованием данных компьютерной томографии // Российский журнал биомеханики. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 248-258.
4. Акифьев К.Н., Стаценко Е.О., Смирнова В.В., Харин Н.В., Большаков П.В., Саченков О.А. Методика исследования пористости образцов с жидкостью рентгеновским компьютерным томографом при одноосном сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2023. - № 2. – С. 11-21.
5. Харин Н.В., Воробьев О.В., Бережной Д.В., Саченков О.А. Методика построения репрезентативной модели по данным компьютерной томографии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2018. - № 3. – С. 95-102.
6. Бережной Д.В., Шамим М.Р., Балафендиева И.С. Построение численной методики расчета клинч-соединений // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань. – 2017. - №5. – С. 126-128.
7. Berezhnoi, D.V., Faicel Laalai and Sekaeva L.R. Numerical modeling of concrete deformation processes during its interaction with reinforcement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. Vol. 709. –044019.

2.3.5.

И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт механики и математики им. Н.И. Лобачевского,
кафедра теоретической механики,
Казань, e_xo@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СПЛОШНЫХ СРЕД РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

В рамках конечно-элементного подхода к описанию геометрии реализована методика контактного взаимодействия элементов деформируемых конструкций и грунтовых материалов сложной физической природы. Построен специальный контактный конечный элемент сплошной среды, позволяющий моделировать упругое взаимодействие двух контактирующих поверхностей, их сдвиг относительно друг друга и отрыв.

Ключевые слова: *нелинейное деформирование, армированные бетонные элементы конструкций, грунты.*

Современное состояние проблем, возникающих при конечно-элементной реализации приведено в книгах [1, 2]. В настоящее время известен ряд подходов к решению контактной задачи методом конечных элементов [3, 4].

Механизм взаимодействия элементов деформируемых сред через контактирующие поверхности A и B может быть описан следующим образом. Примем, что между контактирующими поверхностями расположен некоторый контактный слой конечной толщины H_0 , а через H обозначим текущую величину зазора между контактирующими поверхностями. Рассмотрим несколько случаев взаимодействия контактирующих поверхностей. Первоначально будем считать, что контактирующие поверхности не связаны друг с другом, а введенный искусственно контактный слой лишь позволяет идентифицировать различные варианты контактного взаимодействия.

1. В контактном слое возникает нормальное напряжение обжатия $\sigma_H = \sigma^A = \sigma^B$ и линейная деформация обжатия $\varepsilon_H = \sigma_H / E_H$, где E_H - модуль упругости фиктивного материала контактного слоя, σ^A и σ^B - нормальные напряжения на контактных поверхностях. Геометрическим условием возникновения такого варианта деформирования контактного слоя является $H \leq H_0$. Контактующие поверхности при этом пытаются сблизиться друг с другом.

2. Если контактирующие поверхности пытаются разъединиться за счет нормальных напряжений σ^A и σ^B , то при этом также справедливы соотношения $\sigma_H = \sigma^A = \sigma^B$, $\varepsilon_H = \sigma_H / E_H$. Такая ситуация возникает при наличии предварительного обжатия, когда $H < H_0$.

3. Если контактирующие поверхности пытаются разъединиться (и для случая отсутствия силового воздействия), то контактирующие поверхности свободно перемещаются и справедливы соотношения $H \geq H_0$, $\sigma_H = 0$.

4. Для случая свободного проскальзывания касательные напряжения не возникают. Этот вариант взаимодействия возникает при $H \geq H_0$, в этом случае касательные напряжения в контактном слое $\tau_H = 0$.

5. Возможен вариант упругого взаимодействия контактирующих поверхностей с обжатием и сдвигом без проскальзывания. Эта ситуация возникает при $H \leq H_0$, причем для напряжений и деформаций в контактном слое справедливы соотношения

$\sigma_H = \sigma^A = \sigma^B$, $\tau_H = \tau^A = \tau^B$, $\varepsilon_H = \sigma_H / E_H$, $\gamma_H = \tau_H / G_H$. Но в этом случае должно выполняться дополнительное условие $\tau_H \leq f|\sigma_H|$, где f - погонный коэффициент трения.

6. Если условие $\tau_H \leq f|\sigma_H|$, не выполняется, то $\sigma_H = \sigma^A = \sigma^B$, $\tau_H = \tau_{np} = f|\sigma_H|$, $\varepsilon_H = \sigma_H / E_H$ и имеется возможность проскальзывания.

7. Если контактирующие поверхности до начала процесса деформирования «склеены», то варианты контактного взаимодействия 1-3 будут выполняться не для ограничения толщины контактного слоя $H \leq H_0$, а для $H \leq H_0^p$, где H_0^p - предельная толщина контактного слоя, допустимая до его разрушения при нормальных напряжениях растяжения.

Аналогичная ситуация складывается и при «проскальзывании» контактирующих поверхностей от касательной нагрузки. В этом случае предельное касательное напряжение выбирается не из условия $\tau_{np} = f|\sigma_H|$, а из условия его допустимости до разрушения при сдвиге.

Если отрыв контактирующих поверхностей произошел, то далее справедливы все варианты деформирования 1-6.

Разрешающее уравнение можно записать исходя из принципа виртуальных перемещений в вариационной форме

$$\sum_m \iiint_{\Omega_m} \{\sigma\}^T \{\delta\varepsilon\} d\Omega + \sum_k \iiint_{\Omega_k} \{\sigma_H\}^T \{\delta\varepsilon_H\} d\Omega = \\ = \sum_m \left(\iiint_{\Omega_m} \rho \{g\}^T \{\delta V\} d\Omega + \iint_{S_m^\sigma} \{P\}^T \{\delta V\} dS \right),$$

где сумма по m - сумма по объемам деформируемой среды, сумма по k - сумма по объемам контактного слоя, Ω_m, Ω_k - соответственно объемы элементов деформируемой среды и контактного слоя; $\{\sigma\}, \{\varepsilon\}, \{u\}$ - напряжения, деформации и перемещения деформируемой среды; $\{\sigma_H\}, \{\varepsilon_H\}$ - напряжения и деформации в контактном слое, $\{g\}$ - вектор ускорения свободного падения ($\rho\{g\}$ - сила тяжести), $\{P\}$ - граничная нагрузка, действующая на части границы S_m^σ .

Для решения сформулированной физически нелинейной задачи использовать итерационный метод, являющийся вариантом метода начальных напряжений.

На основе предложенной методики был вычислительный эксперимент исследования сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном. Был численно воссоздан эксперимент, проведенный в работе [5]. На рисунке 1 приведены диаграммы «выдергивающая сила – проскальзывание арматуры относительно бетона», полученные по результатам эксперимента [5] и по методике, предложенной в работе [6].

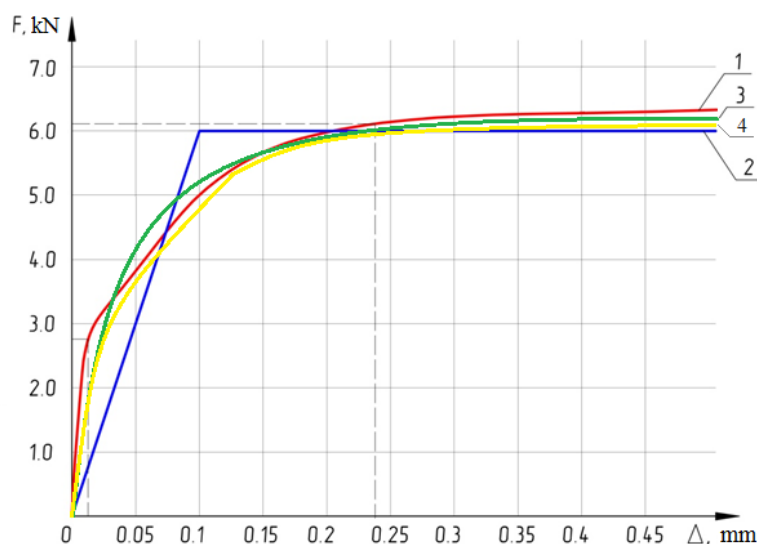


Рис. 1 – Графики зависимости перемещения стеклопластиковой арматуры Δ от выдергивающей силы F , 1 – по результатам испытаний [5];

2 – для численного моделирования из работы [5]; 3 – по предложенной в [6] методике;
4 – по предложенной в работе методике

На рисунках 2 и 3 приведено сравнение решения данной задачи, полученной в ANSYS и ABAQUS с учетом растрескивания по XFEM методике.

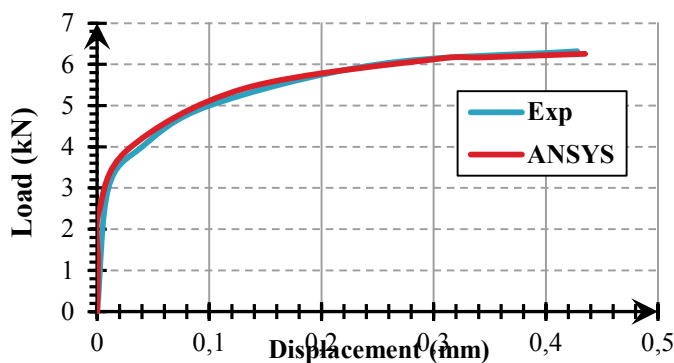


Рис. 2 – Сравнение с экспериментом результатов, полученных в ANSYS

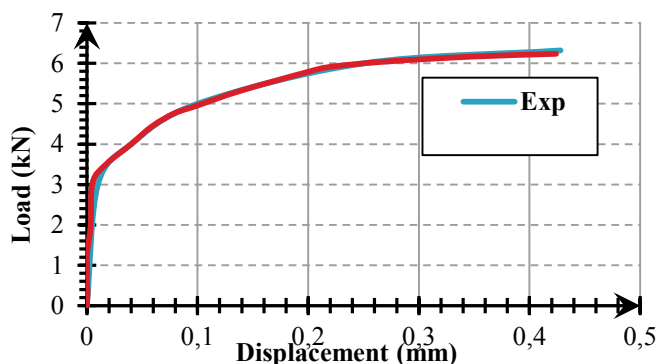


Рис. 3 – Сравнение с экспериментом результатов, полученных в ABAQUS

Можно отметить, что в задаче «вырыва» арматуры из бетона учет нелинейного деформирования арматуры позволяет получить приемлемое совпадение с экспериментом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке, выделяемой Казанскому федеральному университету по государственному заданию в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2023-0009.

Список литературы

1. *Wriggers P.* Computational Contact Mechanics. Chichester, West Sussex, England: Wiley&Sons. – 2002. – 442 p.
2. *Laursen T.A.* Computational contact and impact mechanics: fundamentals of modeling interfacial phenomena in nonlinear finite element analysis. – Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong: Springer. – 2002. – 454 p.
3. *Акифьев К.Н., Стаценко Е.О., Смирнова В.В., Харин Н.В., Большаков П.В., Саченков О.А.* Методика исследования пористости образцов с жидкостью рентгеновским компьютерным томографом при одноосном сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2023. - № 2. – С. 11-21.
4. *Бережной Д.В., Шамим М., Саченков А.А., Секаева Л.Р.* Исследование процессов термонасадки модели турбокомпрессора на вал // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань. – 2018. - №10 – С.158-161.
5. *Zinnurov, T.A., Piskunov, A.A., Safiyulina, L.G., Petropavlovskih, O.K., Yakovlev, D.G., Bereznoi, D.V. and Balafendieva, I.S.* Numerical modeling of composite reinforcement with concrete // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. Vol. 1158. – 042046.
6. *Bereznoi, D.V., Faicel Laalai and Sekaeva L.R.* Numerical modeling of concrete deformation processes during its interaction with reinforcement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. Vol. 709. – 044019.

2.3.5.

И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной, А.А. Саченков, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт механики и математики им. Н.И. Лобачевского,
кафедра теоретической механики,
Казань, e_xo@mail.ru

НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КОМПЕНСАЦИОННОМ НАГНЕТАНИИ И С УЧЕТОМ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

На основе конечно-элементного подхода к описанию геометрии и в рамках непротиворечивых уравнений геометрически нелинейной трехмерной теории упругости на основе аналогового подхода дана постановка задачи компенсационного нагнетания. Развита методика процессов трещинообразования в элементах с предварительно напряженной полимеркомпозитной арматурой. Решена модельная задача, проведено сравнение с экспериментальными данными.

Ключевые слова: *нелинейное деформирование, армированные бетонные элементы конструкций, процессы трещинообразования.*

Интенсивность подземного строительства в городской черте требует от строителей обеспечить сохранности гражданских объектов и сооружений, попадающих в зону строительства. В основном, для защиты строительных объектов в зоне их оснований и фундаментов используется дополнительное укрепление грунта [1, 2]. Одним из вариантов ограничения развития дополнительных деформаций оснований фундаментов зданий и сооружений является технология компенсационного нагнетания. Использование подобного подхода позволяет компенсировать почти любые дополнительные осадки основания фундаментов за счет впрыскивания под высоким давлением бетонного раствора в зону основания фундаментов здания или сооружения.

Одним из возможных способов решения проблемы высокой деформативности бетонных конструкций, а, вместе с этим, и высокой трещиноватости, является применение предварительно-напряженного полимеркомпозитного армирования [3].

Проведение исследования процессов деформирования современных строительных конструкций в большинстве случаев связано с численными методиками. Очень удобно эти методики основывать в рамках нелинейного конечно-элементного анализа [4-6]. В настоящей работе используются определяющие соотношения, связывающие приращения «истинных» (по В.В. Новожилову) напряжений и приращений «истинных» деформаций.

Сущность метода компенсационного нагнетания заключается в инъекции медленно твердеющего раствора на минеральной основе с требуемой вязкостью в предварительно подготовленные грунты основания здания или сооружения для исключения дальнейшей осадки или ее компенсации.

В рамках численного анализ такой подход легко осуществить приданием дополнительных свойств объему, который занимает труба для впрыскивания бетонного раствора. Во-первых, можно предположить, что этот впрыскиваемый раствор обладает своими (по сравнению с застывшим бетоном) механическими характеристиками. Во-вторых, чтобы не вводить в общую систему разрешающих уравнений уравнения баланса массы, считать впрыскиваемый бетон термоупругим материалом с приведенным (фиктивным) коэффициентом термического расширения, а для остальных грунтов, в которых проводится инъекции раствора, этот коэффициент считать нулевым:

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} - 3K\alpha T \delta_{ij},$$

где $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}$ – компоненты тензоров напряжений и деформаций, λ, μ – упругие постоянные материала, K – объемный модуль упругости, α – линейный коэффициент теплового расширения, T – изменение температуры. Далее, при повышении «фиктивной температуры» раствора, он будет расширяться и распирает окружающие грунты. На каждом шаге инъецирования («повышения температуры») необходимо дискретно повышать плотность раствора. В-третьих, на границе раствора и распираемых грунтов ввести условие контакта.

Эта методика достаточно проста и эффективна для оценки изменения осадки грунта в зоне компенсационного нагнетания.

Алгоритм учета процессов трещинообразования в бетонном грунте аналогичен методу определения зон пластической деформации в сплошных средах, только связь между приращениями истинных напряжений и деформаций осуществляется по формуле:

$$\Delta\sigma_{ij} = 2G \left(\Delta\varepsilon_{ij}^{tr} + \delta_{ij} \frac{3\mu}{1-2\mu} \Delta\varepsilon_0^{tr} \right) -$$

$$-\alpha \frac{\left(\frac{G}{\tau_i} \sigma'_{ij} + K(R_c - R_p) \delta_{ij} \right) \sum_{kl} \left(\frac{G}{\tau_i} \sigma'_{kl} + K(R_c - R_p) \delta_{ij} \right) \Delta\varepsilon_{kl}^{tr}}{G + K(R_c - R_p) \delta_{ij}}.$$

При реализации алгоритма в рамках метода конечных элементов условие пластичности или, как в данном случае, условие возникновения микротрещины проверяется в каждой точке гауссовского квадратурного интегрирования. Если это условие достигается на определенном шаге нагружения, то определяют область, по которой началась трещина. Невозможность сопротивления отрыву в заданной точке осуществляется путем интегрирования матрицы жесткости по осям, связанным с направлениями нормалей к зоне отрыва. В этих же осях можно учесть наличие или отсутствие трения по краям этой микротрещины. При этом на каждом шаге нагружения в рамках итерационного процесса напряженно-деформированное состояние в балке будет перераспределяться, и балка некоторое время будет сохранять несущую способность за счет армирования.

Рассчитана трехмерная бетонная балка, армированная двумя стержнями из полимерного композита. Экспериментальные данные для этой задачи представлены в [3]. На рис. 1 представлена схема опирания и нагружения расчетной трехмерной балки. Бетонная балка (B25) размерами 0,12 x 0,2 x 1,8 м, армированная стеклянными стержнями. Нижняя арматура предварительно напряженная – Ø6 SPA, верхняя зона – арматура – Ø4 SPA.

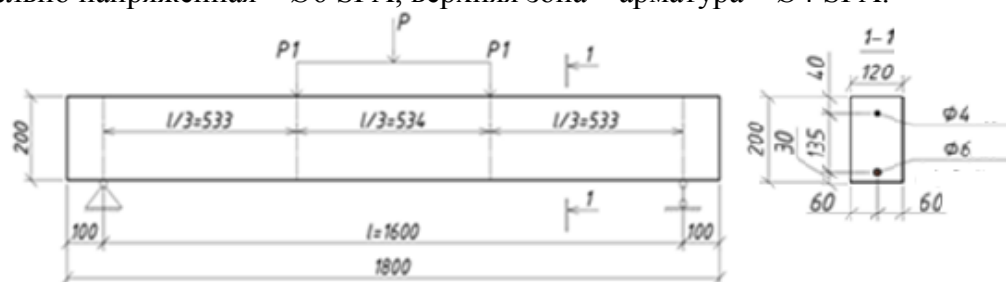


Рис. 1 – Схема опирания и нагрузки расчетной балки

На рисунке 2 представлена зависимость нагрузки P от прогиба f , где кривая 1 получена по результатам экспериментов из [3] и кривая 2 получена по предлагаемому методу.

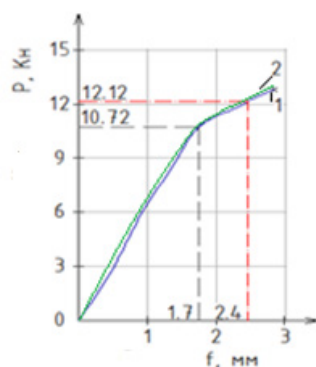


Рис. 2 – Зависимость нагрузки P от прогиба f ,

1 – по результатам экспериментов из [3]; 2 – по предлагаемому способу

Figures 3 and 4 show a comparison of the solution the problem obtained in ANSYS and ABAQUS respectively, taking into account cracking using the XFEM method.



Рис. 3 – Результаты моделирования развития трещин при нагружении (ABAQUS)

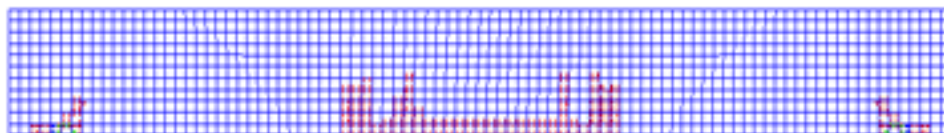


Рис. 4 – Результаты моделирования развития трещин при нагружении (ANSYS)

Предложенный в статье метод расчета позволяет с достаточной точностью моделировать процессы трещинообразования в бетонных балках с предварительно напряженной полимерной композитной арматурой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке, выделяемой Казанскому федеральному университету по государственному заданию в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2023-0009.

Список литературы

1. Зерцалов М.Г., Симутин А.Н., Александров А.В. Технология компенсационного нагнетания для защиты зданий и сооружений // Вестник МГСУ. – 2015. - №6. – С. 32-40.
2. Лузин И.Н. Расчет напряженно-деформированного состояния оснований фундаментов в процессе компенсационного нагнетания // Строительство и архитектура. – 2020. – Т. 8, № 1 (26). – С. 33-38.
3. Piskunov, A.A., Zinnurov, T.A., Berezhnoi, D.V., Umarov, B.S., Volter, A.R. and Balafendieva, I.S. On the results of experimental and numerical studies of the stress-strain state of concrete structures reinforced with pre-stressed polymer composite links // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. Vol. 1158. – 032048.
4. Большаков П.В., Саченков О.А. Моделирование разрушения неоднородного тела методом конечных элементов с использованием данных компьютерной томографии // Российский журнал биомеханики. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 248-258.
5. Акифьев К.Н., Стаценко Е.О., Смирнова В.В., Харин Н.В., Большаков П.В., Саченков О.А. Методика исследования пористости образцов с жидкостью рентгеновским компьютерным томографом при одноосном сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2023. - № 2. – С. 11-21.
6. Харин Н.В., Воробьев О.В., Бережной Д.В., Саченков О.А. Методика построения репрезентативной модели по данным компьютерной томографии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2018. - № 3. – С. 95-102.

2.3.5.

В.Д. Петелина

ФГБОУ НИУ «Московский Государственный Строительный Университет»,
Институт Цифровых Технологий и Моделирования в Строительстве,
кафедра высшей математики,
Москва, verapetelina51@gmail.com

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ

В статье рассмотрена задача получения асимптотического приближения решения возмущенной системы дифференциальных уравнений в случае, когда в уравнении «быстрых движений» при изменении параметра происходит бифуркация: два положения равновесия сливаются с последующей сменой устойчивости, изучается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

Ключевые слова: *система дифференциальных уравнений возмущенного движения тела, регуляризирующая независимая переменная, возмущение, многочлен, приближение.*

Одной из основных задач, связанных с траекторными измерениями является приближение прямоугольных координат, составляющих скорости исследуемого тела алгебраическими многочленами низкой степени относительно вспомогательной переменной с наперед заданной степенью точности. Общие принципы построения теории возмущений в координатах рассмотрены в статье [1]. Различные варианты универсальных переменных таких, как S_k и β были рассмотрены в статье [2], намечены пути использования универсальных переменных в ряде задач механики, в частности для определения возмущений методом вариации произвольных постоянных. В работах [3-5] введены вспомогательные переменные S_k в виде степенных рядов относительно переменной β , рассмотрены вопросы использования регуляризирующих переменных при вычислении пассивных траекторий перелета. При разработке метода вычисления возмущений в координатах применялся метод малого параметра, позволяющий получить асимптотические разложения решения в окрестности исходной точки.

В статье [6] описана основная процедура, которая использовалась при составлении специальной системы дифференциальных уравнений возмущенного движения тела. Основное достоинство построенной системы дифференциальных уравнений возмущенного движения состоит в том, что коэффициенты при проекциях возмущающего ускорения X, Y, Z являются целыми функциями независимой регуляризирующей переменной ψ . Это позволяет эффективно вычислять возмущения не только первого порядка, но и более высоких порядков, используя метод последовательных приближений.

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений с малым параметром при производных в векторной форме:

$$\begin{aligned}\varepsilon \frac{dx}{dt} &= f(x, y), \\ \frac{dy}{dt} &= g(x, y),\end{aligned}\tag{1}$$

где x и f k - мерные векторы, y и g l - мерные векторы, $\varepsilon > 0$ - малый параметр. Системы такого вида встречаются во многих задачах теории колебаний. Поведение решений системы (1) при $\varepsilon \rightarrow 0$ будем изучать в зависимости от свойств стационарных решений системы «быстрых движений»

$$\frac{dx}{d\tau} = f(x, y), \quad (2)$$

где $\tau = \frac{t}{\varepsilon}$, y - постоянный вектор.

Рассмотрим случай, когда в системе (2) при изменении параметра y происходит слияние устойчивого и неустойчивого предельных циклов, приводящее к появлению двух новых циклов со сменой устойчивости. Предположим, что система (2) при $y = y_0$ имеет вырожденный предельный цикл $\varphi_0(\tau)$ с периодом $T_0 = 1$. Рассмотрим аналог функции последования для системы (2) $v = \chi(u, y)$ - отображение $(k-1)$ - мерного пространства переменных $u^1, \dots, u^{k-1}$ в себя и пусть u_0 - неподвижная точка этого отображения при $y = y_0$, соответствующая предельному циклу $\varphi_0(\tau)$.

Предположим, что одно собственное значение матрицы равно единице:

$$M_0 = \left\| \frac{\partial \chi^i(u_0, y_0)}{\partial u^j} \right\|, (i, j = 1, \dots, k-1) \quad (3)$$

А все остальные собственные значения по модулю меньше единицы. Пусть $\bar{m} = (m^1, \dots, m^{k-1})$, $\bar{n} = (n_1, \dots, n_{k-1})$ - собственные векторы матрицы M_0 и транспонированной матрицы M_0^T , соответствующие единичному собственному значению, такие что $m^\alpha n_\alpha = 1$.

Введем следующие условия:

$$\begin{aligned} p &= \frac{1}{2} n_\delta \chi_{u^\alpha u^\beta}^\delta(u_0, y_0) m^\alpha m^\beta \neq 0 \\ q_\mu &= n_\delta \chi_{y^\mu}^\delta(u_0, y_0) = 0, (\mu = 1, \dots, l). \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда при дополнительных ограничениях, наложенных на правые части системы (1) существует гладкая поверхность π вида $y^1 = h(y^2, \dots, y^l)$, обладающая следующим свойством: если $y \notin \pi$, то отображение $v = \chi(u, y)$ имеет две неподвижные точки $\psi_1(y), \psi_2(y)$, а система (2) имеет два невырожденных предельных цикла: $\varphi_1(\tau, y)$, устойчивый при $y^1 < h(y^2, \dots, y^l)$ и $\varphi_2(\tau, y)$, устойчивый при $y^1 > h(y^2, \dots, y^l)$.

Если $y \in \pi$, то возникает один вырожденный предельный цикл такого же типа, как $\varphi_0(\tau)$. Рассмотрим осредненную систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\bar{y}}{dt} = \bar{g}_i(\bar{y}), \quad (5)$$

$$\text{Где } \bar{g}_i(\bar{y}) = \frac{1}{T_i(\bar{y})} \int_0^{T_i(\bar{y})} g[\varphi_i(\theta, \bar{y}), \bar{y}] d\theta,$$

$\varphi_i(\theta, \bar{y})$ - устойчивый предельный цикл с периодом $T_i(\bar{y}), i = 1, 2$.

Наложим следующие дополнительные ограничения:

- 1) выражения $n_\delta \psi_{y^\alpha}^\delta(y_0) \bar{g}^\alpha(y_0) \neq 0$ либо одного знака с параметром P , либо они противоположных знаков с P ;
- 2) $\bar{g}(y_0)$ не касается поверхности π и направлен в область устойчивости невырожденного предельного цикла $\varphi_2(\tau, y)$.

Пусть точка y_1 достаточно близка к точке y_0 и невырожденный предельный цикл $\varphi_1(\tau, y_1)$ устойчив. Обозначим через $\bar{y}(t)$ - решение осредненной системы дифференциальных уравнений (5) при $i=1$ с начальным условием $\bar{y}(t_1) = y_1$. В некоторый момент времени t_2 решение осредненной системы $\bar{y}(t)$ попадает на поверхность π . Непрерывно продолжим решение $\bar{y}(t)$ при $i=2$ на интервал $t_2 < t \leq t_3$. Сформулируем основной результат.

Пусть $x(t, \varepsilon), y(t, \varepsilon)$ - решение системы (1), начальная точка которой находится в окрестности порядка ε кривой:

$$\{x = \varphi_1(\tau, y_1), y = y_1\} \quad (6)$$

Тогда при $t_1 \leq t \leq t_3$ решение $y(t, \varepsilon)$ является близким к решению осредненной системы дифференциальных уравнений (5) $\bar{y}(t)$, а решение $x(t, \varepsilon)$ остается вблизи устойчивого предельного цикла $\varphi_1(\tau, \bar{y}(t))$, ($i=1$ при $t_1 \leq t \leq t_2$, $i=2$ при $t > t_2$) и совершает быстрые колебания.

Сформулируем теорему. Если решение $x(t, \varepsilon), y(t, \varepsilon)$ системы дифференциальных уравнений (1) удовлетворяет следующим условиям:

$$\begin{aligned} |x(t_1, \varepsilon) - \varphi_1(\frac{t_1}{\varepsilon}, y_1)| &= o(\varepsilon), \\ |y(t_1, \varepsilon) - y_1| &= o(\varepsilon), \end{aligned} \quad (7)$$

то существуют функции $\theta_i(t, \varepsilon), i=1, 2$, гладко зависящие от t , для которых выполняются неравенства (8):

$$\begin{aligned} |\varepsilon \frac{d\theta_i}{dt} - \frac{1}{T_i[\bar{y}(t)]}| &\leq M\omega(\varepsilon), \\ |x(t, \varepsilon) - \varphi_i[T_i(\bar{y}(t)) \cdot \theta_i(t, \varepsilon), \bar{y}(t)]| &\leq M\omega(\varepsilon), \\ |y(t, \varepsilon) - \bar{y}(t)| &\leq M\omega(\varepsilon), \end{aligned} \quad (8)$$

где $i=1$ при $t_1 \leq t \leq t_2$, $\omega(\varepsilon) = \varepsilon^{\frac{1}{2}+\gamma}$, $i=2$ при $t_2 \leq t \leq t_3$, $\omega(\varepsilon) = \varepsilon^{\frac{1}{2}-\gamma}$, $\gamma > 0$.
Систему (1) с помощью преобразования координат можно привести к виду:

$$\begin{aligned} \frac{d\xi^1}{ds} &= p(\xi^1)^2 + e_{\alpha^1}^1(s)\xi^1\xi^{\alpha^1} + d_{\beta}^1(s)\xi^1\eta^{\beta} + \dots, \\ \frac{d\xi^*}{ds} &= B^*\xi^* + C^*(s)(\xi^1)^2 + d^*(s)\eta + \dots, \\ \frac{d\eta^1}{ds} &= \varepsilon(1 + o(|\xi|) + o(|\eta|)), \\ \frac{d\eta^*}{ds} &= \varepsilon(o(|\xi|) + o(|\eta|)), \end{aligned} \quad (9)$$

где $\xi^* = (\xi^2, \dots, \xi^{k-1})$, $\eta^* = (\eta^2, \dots, \eta^{k-1})$, $\alpha^1 = 2, \dots, k-1$.

Коротко систему (9) можно записать в виде:

$$\frac{d\xi}{ds} = F(s, \xi, \eta), \quad (10)$$

$$\frac{d\eta}{ds} = \varepsilon G(s, \xi, \eta),$$

где функции $F(s, \xi, \eta), G(s, \xi, \eta)$ - это периодические функции по переменной s с периодом 2 и $F(s, 0, 0) = 0$.

Уравнение поверхности π имеет вид $\eta^1 = 0$. Предельные циклы обозначим через $\xi_1(s, \eta)$ и $\xi_2(s, \eta)$, первый будет устойчивым при $\eta^1 < 0$, второй будет устойчивым при $\eta^1 > 0$.

Начальными значениями для этих предельных циклов будут неподвижные точки отображения последования $U_1(\eta), U_2(\eta)$.

Учитывая конкретный вид правых частей системы дифференциальных уравнений (9) и зависимость решений системы (9) от начальных условий, приведем вспомогательные формулы:

$$\xi_i^1(s, \eta) = U_i^1(\eta) + o(|\eta|^2), i = 1, 2 \quad (11)$$

$$F_{\xi_i}^1[s, \xi_i(s, \eta), \eta] = \pm D\eta^1 + \gamma(s)\eta^1 + o(|\eta^*|) \quad (12)$$

$$\int_0^2 \gamma(s)ds = 0, \quad (13)$$

$$D = 2p\left(\frac{\partial U_1^1(0)}{\partial \eta^1} - \frac{\partial U_2^1(0)}{\partial \eta^1}\right), \quad (14)$$

$$\frac{\partial U_i^1(0)}{\partial \eta^1} = n_\delta \psi_{iy^\alpha}^\delta(y_0) \bar{g}_\alpha(y_0). \quad (15)$$

Если параметр $p > 0$, то либо $\frac{\partial U_1^1(0)}{\partial \eta^1} > 0, \frac{\partial U_2^1(0)}{\partial \eta^1} < 0$, либо обе частные производные положительны. Обозначим через D_1 совокупность точек, координаты которых удовлетворяют неравенствам:

$$|\xi^1 - \xi_1^1(s, \eta)| \leq M\omega(\varepsilon)(1 + \delta(s)\eta^1), \quad (16)$$

где $\delta(s) = \int_0^s \gamma(s)ds$ - периодическая функция:

$$W(\xi^2 - \xi_1^2(s, p), \dots, \xi^{k-1} - \xi_1^{k-1}(s, p)) \leq N^2\omega^2(\varepsilon), \quad (17)$$

$$\eta^1 \leq 0, \quad |\eta^*| \leq K(\eta^1)^2 + o(\omega(\varepsilon)). \quad (18)$$

Если начальная точка решения $\xi(s, \varepsilon), \eta(s, \varepsilon)$ системы (9) находится в области D_1 , то решение не выходит из области D_1 , пока $\eta^1(s, \varepsilon) < 0$. Обоснуем этот результат. Найдем производную V_1 , из системы дифференциальных уравнений (9) в точках области D_1 , удовлетворяющих уравнению (19):

$$|\xi^1 - \xi_1^1(s, \eta)| = M\omega(\varepsilon)(1 + \delta(s)\eta^1). \quad (19)$$

Выполняя преобразования и используя равенства (11)-(15), представим производную V_1 в следующем виде:

$$\begin{aligned} V_1 = & \pm D \cdot M\omega(\varepsilon)\eta^1 + \frac{M^2}{2} F_{\xi_1^1}^1[s, \xi_1(s, \eta), \eta] \omega^2(\varepsilon)(1 + \delta(s)\eta^1)^2 + \\ & + M\omega(\varepsilon)o(|\eta^*|) + N\omega(\varepsilon)o(|\eta|) - \frac{\partial U_1^1(0)}{\partial \eta^1} \varepsilon - M\omega(\varepsilon)\varepsilon\delta(s) + \\ & + \varepsilon o(|\xi|) + \varepsilon o(|\eta|), \end{aligned} \quad (20)$$

откуда, полагая $\omega(\varepsilon) = \varepsilon^{\frac{1}{2}+\gamma}$ при $\eta_1^1 \leq \eta^1 \leq -\varepsilon^{\frac{1}{2}-\gamma}$ и $\omega(\varepsilon) = \varepsilon^{\frac{1}{2}-\gamma}$ при $-\varepsilon^{\frac{1}{2}-\gamma} \leq \eta^1 \leq 0$, получим, что производная $V_1 > 0$.

Аналогично проверяется, что $V_1 < 0$ в точках, удовлетворяющих уравнению (21):

$$\xi^1 = \xi_1^1(s, \eta) + M\omega(\varepsilon)(1 + \delta(s)\eta^1), \quad (21)$$

при $\omega(\varepsilon) = \varepsilon^{\frac{1}{2}+\gamma}$, $\eta_1^1 \leq \eta^1 \leq 0$.

Для производной V_2 из системы дифференциальных уравнений (9) в точках, удовлетворяющих уравнению (22):

$$W(\xi^2 - \xi_1^2(s, \eta), \dots, \xi^{k-1} - \xi_1^{k-1}(s, \eta)) = N^2\omega^2(\varepsilon), \quad (22)$$

справедлива оценка:

$$V_2 \leq -pN^2\omega^2(\varepsilon) + o(\varepsilon^{\frac{1}{2}+\gamma})\eta^1(\xi^1 - \xi_1^1(s, \eta)) + o(\varepsilon^{1+2\gamma}). \quad (23)$$

Учитывая условия, определяющие область D_1 при достаточно большом M , получим, что производная $V_2 < 0$.

В случае, когда $\frac{\partial U_2^1(0)}{\partial \eta^1} > 0$, определим область D_2 с помощью неравенств (24):

$$\begin{aligned} \xi^1 &\geq \xi_2^1(s, \eta) - M\varepsilon^{\frac{1}{2}-\gamma}(1 + \delta(s)\eta^1), \\ \delta(s) &= \int_0^s \gamma(s)ds, \\ 0 &\leq \eta^1 \leq \eta_2^1, \\ \xi^1 &= \xi_2^1(s, \eta) + M\omega(\varepsilon)(1 + \delta(s)\eta^1), \end{aligned} \quad (24)$$

$$W(\xi^2 - \xi_2^2(s, \eta), \dots, \xi^{k-1} - \xi_2^{k-1}(s, \eta)) \leq N^2\omega^2(\varepsilon),$$

$$|\eta^*| \leq K|\eta^1|^2 + o(\omega(\varepsilon)),$$

где $\omega(\varepsilon) = \varepsilon^{\frac{1}{2}+\gamma}$ при $0 \leq \eta^1 \leq \varepsilon^{\frac{1}{2}-2\gamma}$, $\omega(\varepsilon) = \varepsilon^{\frac{1}{2}-\gamma}$ при $\varepsilon^{\frac{1}{2}-2\gamma} \leq \eta^1 \leq \eta_2^1$.

Полученные оценки доказывают, что решение системы дифференциальных уравнений (9) не выходит из области D_2 , если $0 \leq \eta^1(s, \varepsilon) \leq \eta_2^1$.

Таким образом в статье рассмотрена задача получения асимптотического приближения решения возмущенной системы дифференциальных уравнений в случае, когда в уравнении «быстрых движений» при изменении параметра происходит бифуркация: два положения равновесия сливаются с последующей сменой устойчивости, изучается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

Список литературы

1. Goodyear W.H. A general method of variation of parameters for numerical integration // Astron. J. – 1965. Vol. 70, №5. – P. 524-526.
2. Herrick S. Universal variables // Astron. J. – 1965. Vol. 70, №4. – P. 309-315.
3. Broucke R. Perturbations in rectangular coordinates by iteration // Celest. Mech. – 1969. Vol. 1, №1. – P. 110-129.
4. Szebehely U., Pierce D., Standish S. A group of Earth to Moon trajectories with consecutive collisions // Celest. Mech. and Astrodyn. – 1964. Vol. 14. – P. 35-51.
5. Яров-Яровой М.С. Аналитическая теория движения космического корабля к Луне // Труды гос. астроном. инст. им. П. К. Штернберга. – 1967. – Т. 36. – С. 24-160.
6. Petelina V.D. About choosing the form of perturbed body motion differential equations system // IOP Conf. Ser: Mater. Sci. and Eng. – 2018. Vol. 456 – P. 012123.

2.3.5.

М.Р. Тихонов канд. техн. наук

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
институт системной и программной инженерии и информационных технологий,
Москва, kurotenshi91@yandex.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗОВ

В этой статье рассмотрен алгоритм обработки данных экспертной системы обнаружения предвестников отказов, ориентированный на применение модели нечеткого вывода Мамдани. Алгоритм предполагает расчет значений по нескольким периодам, и множественную вложенность циклов, связанных с особенностями выбранной модели и задачами нахождения решения в задачах нечеткой логики. Реализация алгоритма предполагает его связь с базой знаний экспертной системы обнаружения предвестников отказов для получения данных о функциях принадлежности и их параметрах.

Ключевые слова: экспертные системы, алгоритм, модель Мамдани, предвестники отказов.

При построении экспертных систем обнаружения предвестников отказов необходимым является выбор модели нечеткого вывода и построение алгоритмов, описывающих последовательность действий выбранной модели. Основным назначением данного алгоритма является расчет значения выходного параметра экспертной системы с применением термов, функций принадлежности и усеченных функций. Такой расчет необходимо проводить для нескольких рассматриваемых периодов функционирования объекта анализа и оценки, что в последующем позволит оценить тренд изменения его состояния и рискованности его эксплуатации.

Алгоритм обработки данных экспертной системы обнаружения предвестников отказов предполагается к выполнению после алгоритма обработки входов экспертной системы обнаружения предвестников отказов и до алгоритма обработки выходов (результатов) экспертной системы обнаружения предвестников отказов.

Для разработки алгоритма обработки данных рассмотрим модель нечеткого вывода Мамдани [1-5]. В ее основе заложен перебор всех нечетких правил на этапе композиции и использование операции минимизации с целью получения усеченной функции принадлежности. Как и большинство других моделей такого назначения, она предполагает следующие этапы:

1. Этап фазификации входных данных, формирования функций принадлежности, нечетких правил, расчета параметров и степеней истинности;

2. Этап логического вывода, импликации с применением соответствующей операции, определения уровней отсечения, композиции и объединения усеченных функций принадлежности;

3. Этап дефазификации, нахождения выходного значения системы по выбранному методу.

На основе данных этапов и содержащихся в них операциях можно предположить наличие нескольких циклов в разрабатываемом алгоритме [6]:

- цикл рассматриваемых периодов. В данном цикле предполагается изменение индекса рассматриваемого периода;

- цикл входных параметров системы. В зависимости от выбранных входных параметров экспертной системы обнаружения предвестников отказов, некоторые операции необходимо проводить по каждому из них;

- цикл нечетких правил. Модель нечеткого вывода предполагает расчеты по каждому из нечетких правил.

С применением таких циклов возможно построение алгоритма обработки данных экспертной системы обнаружения предвестников отказов, представленного ниже:



Рис. 1 – Алгоритм обработки данных экспертной системы обнаружения предвестников отказов

Расчет значения термов проводится для каждого входного параметра каждого рассматриваемого периода на основе входных данных системы и ее базы знаний. В зависимости от заложенных в систему экспертных данных выбираются типы функций принадлежности, описывающие неопределенность отнесения значений параметров и влияющие на получаемые при расчете значения термов. Для задач обнаружения предвестников отказов при построении соответствующих экспертных систем могут применяться как линейные функции принадлежности, так и нелинейные.

Следующим шагом для каждого нечеткого правила проводится расчет значений уровней отсечения и усеченных функций принадлежности термов выходного параметра системы. Для этого может применяться операция минимума и сопоставления минимальных значений термов входных параметров с минимальным значением термина выходного параметра из нечеткого правила.

На этапе расчета объединенной усеченной функции принадлежности выходного параметра и значения выходного параметра осуществляется поиск минимального из значения усеченного термина выходного параметра и соответствующего значения термина функции выходного параметра. Минимальное значение используется при последующем расчете значения выходного параметра, к примеру, по формуле:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n C'(c_i) c_i}{\sum_{i=1}^n C'(c_i)}$$

где c_i – значение абсциссы i -ой точки функции принадлежности; $C'(c_i)$ – значение объединенной усеченной функции принадлежности в точке c_i ; n – количество рассматриваемых точек.

Разработанный алгоритм ориентирован на применение модели нечеткого вывода Мамдани, однако могут быть применены и другие схожие модели, к примеру, Ларсена. Данные о функциях принадлежности и их параметрах могут быть получены из базы знаний экспертной системы обнаружения предвестников отказов.

Алгоритм обработки данных экспертной системы обнаружения предвестников отказов не предполагает использование специализированных программных библиотек и может быть реализован на любом языке программирования. При решении о поддержке нескольких функций принадлежности возможно применения условных операторов для выбора соответствующего количества параметров функций. Учитывая многоуровневую структуру циклов, при реализации алгоритма для обеспечения быстродействия возможно применение языка программирования, ориентированного на обработку большого количества данных, к примеру, Python.

Список литературы

1. Амаева Л.А. Моделирование угроз компьютерных систем с использованием нечеткой логики // Инновационная наука. – 2018. – № 4. – С. 19-21.
2. Маркин Д.М. Разработка нечеткой модели определения типа водоемов на основе индуктивного логического вывода Мамдани // Актуальные вопросы развития современной цифровой среды : сборник статей по материалам научно-технической конференции молодых ученых, Москва, 14–16 апреля 2021 года. – Волгоград: ИП ЧЕРНЯЕВА ЮЛИЯ ИГОРЕВНА (Издательский дом "Сириус"), 2021. – С. 135-139.
3. Долгов Д.В. Программная реализация нечеткой модели Мамдани в системах охраны окружающей среды // Наука сегодня глобальные вызовы и механизмы развития : материалы международной научно-практической конференции, Вологда, 24 апреля 2019 года. – Вологда: ООО «Маркер», 2019. – С. 31-32.
4. Афанасьева М.В. Принципы построения модели надежности системы управления кибербезопасностью АСУ ТП / М.В. Афанасьева, Д.Р. Абзалутдинов, К.Я. Бараков // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2020. – № 2(36). – С. 56-60.
5. Кузнецов П.А. К вопросу учета опасностей при анализе надежности АСУ ТП опасных производств / П.А. Кузнецов, Я.А. Тынченко, В.В. Колесник // Информатика. Экономика. Управление. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 217-228.
6. Тагирова О.А. Прогнозирование прибыли организации / О. А. Тагирова // Проблемы управления, экономики и права в общегосударственном и региональном масштабах : Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 27–28 сентября 2017 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2017. – С. 109-113.

2.3.5.

А.О. Шилов, А.Р. Морозов, Р.В. Камалов, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн

Уральский федеральный университет,
Научно-образовательный центр «Наноматериалы и нанотехнологии»,
Екатеринбург, ao.shilov@urfu.ru, alexandrmrzv02@gmail.com,
rvkamalov@gmail.com, a.s.vokhmintsev@urfu.ru, i.a.weinstein@urfu.ru

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОТРУБОК АНОДНОГО HfO_2
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

В работе представлены результаты изучения фотолюминесцентных свойств нанотубулярного HfO_2 . Оценка геометрических параметров нанотрубок проводилась при помощи программного модуля на основе машинного обучения. Исследовано влияние высокотемпературного отжига на спектральные параметры ФЛ и ширину запрещённой зоны. Наблюдаемое сине-зелёное излучение обусловлено процессами переноса зарядов с участием кислородных вакансий.

Ключевые слова: нанотрубки диоксида гафния, HfO_2 , кислородные вакансии, размерное распределение, искусственные нейронные сети.

1. Введение

Большой интерес к диоксиду гафния обусловлен его перспективами при создании элементной базы для наноэлектроники нового поколения. Помимо применения HfO_2 в качестве подзатворного диэлектрика КМОП-транзисторов, существует возможность создания устройств памяти, для работы которых необходимо индуцировать собственные дефекты в материале [1]. Активными дефектами в диоксиде гафния являются кислородные вакансии в различных конфигурационных и зарядовых состояниях [2]. Именно на вакансиях происходит локализация заряда, из-за чего HfO_2 обладает собственной люминесценцией. Кроме того, ввиду высокой атомной массы гафния, материал является отличной матрицей для допирования редкоземельными ионами, что позволит создавать современные сцинтилляторные среды и светоизлучающие устройства [3].

Одним из способов направленного синтеза нестехиометрического диоксида гафния является создание низкоразмерных структур, в которых высокая концентрация собственных дефектов обусловлена особенностями морфологии. Одним из примеров таких структур является нанотубулярный HfO_2 , в котором кислородные вакансии появляются из-за высокой удельной площади поверхности. Для создания нанотрубок (НТ) могут использоваться различные методы, среди которых наиболее распространенными являются синтез при помощи атомно-слоевого осаждения [4], комбинация электроспиннинга и ионного распыления [5,6], а также анодное окисление металлической фольги [7,8]. Первая попытка синтеза НТ HfO_2 методом анодного окисления описана в работе [7], в которой в качестве электролита использовалась смесь H_2SO_4 и NaF . Управление морфологией может проводиться путём изменения состава электролита, либо изменением параметров электрохимического синтеза [8]. В свою очередь, изменение морфологии и фазового состава НТ позволяет влиять на электронную структуру материала [9,10].

Экспериментальные исследования оптических и люминесцентных свойств НТ HfO_2 крайне важны для установления особенностей энергетического спектра и могут быть полезными для анализа процессов переноса заряда в нанотрубках, что позволит осуществлять направленный синтез наноструктур с оптимальным набором параметров. Наша работа посвящена анализу геометрических характеристик НТ HfO_2 и исследованию люминесцентных свойств синтезированных наноструктур.

2. Материалы и методы

В данной работе исследовался нанотубулярный диоксид гафния. Образцы были синтезированы методом электрохимического окисления, в качестве анода выступала гафниевая фольга, а в качестве катода – нержавеющая сталь. Анодирование проводилось в растворе, NH_4F (0.5 мас.%), H_2O (2 мас.%) и этиленгликоль. Синтез проводился при постоянном напряжении в 40В в течение 4 часов. Некоторые образцы отжигались в воздушной атмосфере при $T = 700^\circ\text{C}$ в течение 2 часов.

Морфология НТ исследовалась при помощи сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss SIGMA VP. Спектры диффузного отражения измерялись в диапазоне 210-850 нм с шагом в 0.1 нм при помощи спектрофотометра SHIMADZU UV-2450. Измерения фотолюминесценции (ФЛ) проводились с использованием установки, состоящей из спектрометра Andor Shamrock SR-303i-B с регистрирующей ПЗС-матрицей NewtonEM DU970P-BV-602. В качестве источника фотовозбуждения использовался лазер DTL-389QT с длиной волны 263 нм. Спектры возбуждения ФЛ измерялись при помощи спектрометра Perkin Elmer LS 55. Для получения зависимости интенсивности ФЛ от энергии фотонов была введена поправка, необходимая в случае использования монохроматора с линейной дисперсией по длинам волн [11].

3. Характеризация структур

На рисунке 1 приведены изображения СЭМ.

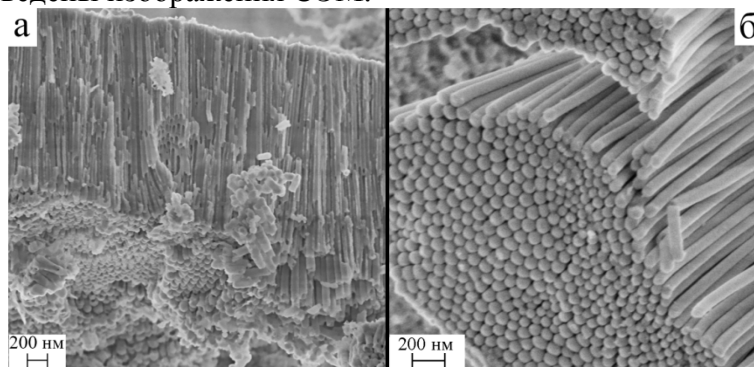


Рис. 1 – Изображения синтезированных нанотрубок, полученные при помощи СЭМ

Полученные СЭМ-изображения были обработаны при помощи разработанного программного модуля «NeuroSEM» на основе машинного обучения для анализа геометрических характеристик наноструктур. Для его работы были обучены свёрточные нейросети, автоматически распознающие нанотубулярные структуры на снимках с электронного микроскопа. На рис. 2 представлен пример работы программы. Для каждой найденной на снимке нанотрубки вычисляется её внешний и внутренний диаметры, а затем происходит расчёт толщины стенок. Анализ полученных данных позволил получить распределение диаметров синтезированных НТ (см. гистограмму на рис. 2в), которое может быть описано логнормальным законом. Таким образом, средняя длина синтезированных нанотрубок составляет 10 ± 3 мкм, а средний внешний диаметр – 46 ± 7 нм. По данным химического анализа, проведённого методом EDS, примесей тяжёлых элементов не выявлено.

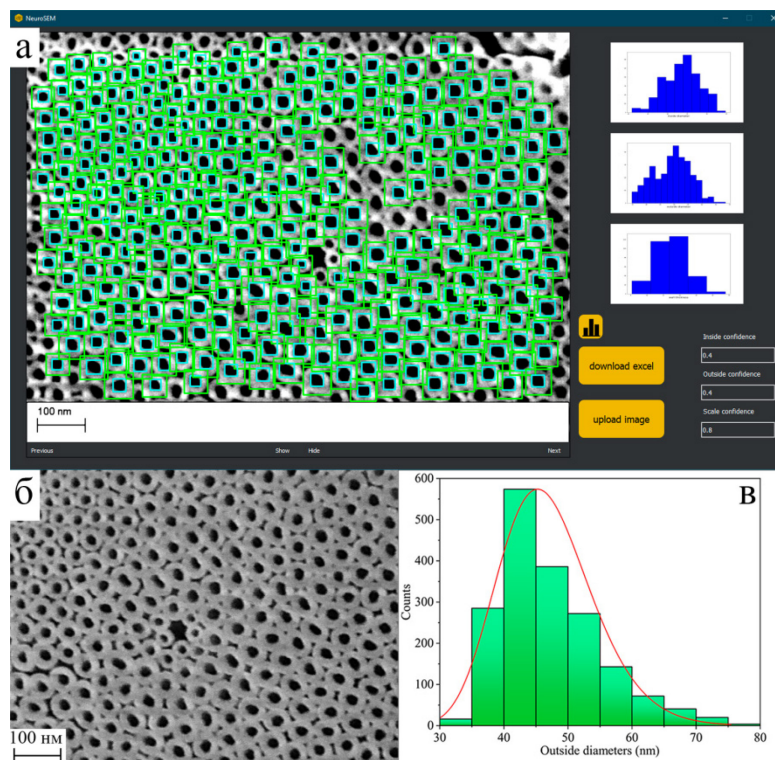


Рис 2. – Пример автоматической оценки диаметров нанотрубок с использованием программного модуля «NeuroSEM» (2а) для СЭМ-изображения (2б). Результаты итоговой обработки всех СЭМ-снимков представлены на гистограмме (2в)

При исследовании ФЛ НТ HfO_2 проявляется сине-зеленое свечение, присущее диоксиду гафния [2,5,12,13]. На рис. 3 приводятся спектры излучения и возбуждения ФЛ. Спектральные полосы свечения исходных НТ оказываются шире в сравнении с отожжёнными образцами (полуширина 0.93 и 0.68 эВ, соответственно), при этом положения максимумов спектров свечения остаются практически неизменными (2.34 и 2.36 эВ, соответственно). Спектры возбуждения фотолюминесценции (ВФЛ) содержат 4 явно выраженных компоненты. Положение первых двух компонент относится к области поглощения дефектов, а оставшиеся два максимума находятся в области резкого роста поглощения, вызванного оптическими переходами вблизи края собственного поглощения [12].

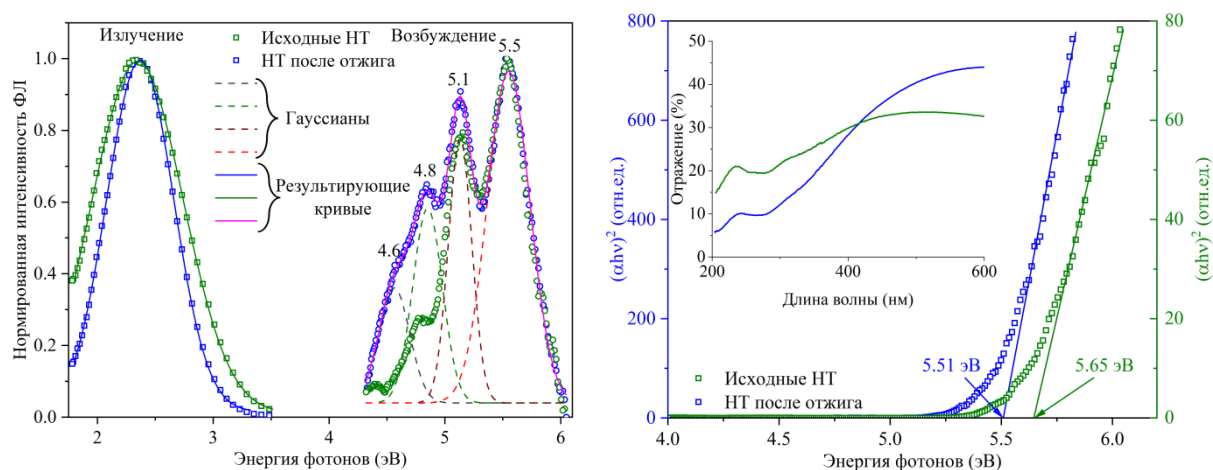


Рис. 3 – Слева – спектры ФЛ исходных (зеленый) и отожжённых (синий) НТ при возбуждении лазером с длиной волны 263 нм и спектры возбуждения исследуемой эмиссии.

Аппроксимация спектров кривыми гауссовой формы показана сплошными линиями, пунктиром показаны отдельные компоненты. Справа – область края собственного поглощения в координатах Тауца для прямых разрешённых переходов. На вставке – исходные спектры диффузного отражения

4. Обсуждение

По данным спектров диффузного отражения с использованием формализма Кубелки-Мунка и методики Тауца была вычислена ширина запрещённой зоны [12]. Установлено, что край собственного поглощения формируется с участием прямых разрешённых переходов и $E_g = 5.20 \pm 0.05$ eV для отождествлённых нанотрубок, а для исходных образцов $E_g = 5.32 \pm 0.05$ eV (см. рис. 3), что оказывается меньше в сравнении с полученным нами ранее значением для моноклинного нанопорошка [12].

Исследуемые спектры ФЛ нанотрубок HfO_2 представляют собой широкие полосы гауссовой формы. Свечение возникает из-за присутствия в образцах собственных дефектов – кислородных вакансий [13]. Несмотря на то, что нанотубулярный диоксид гафния представляет большой интерес для исследователей, в литературе практически не представлены данные по исследованию люминесцентных свойств нанотрубок. ФЛ НТ HfO_2 , полученных магнетронным распылением, исследовалась в работах [5,6]: при возбуждении лазером 325 нм наблюдается синее свечение с максимумом 2.9 эВ. Такое значительное различие может быть обусловлено геометрией нанотрубок: диаметр нанотрубок, полученных авторами работ [5,6], составляет 200 нм – в 4 раза больше диаметра анодных НТ.

Заключение

В этой работе исследовались люминесцентные свойства нанотубулярного диоксида гафния. Нанотрубки были получены методом электрохимического анодирования при постоянном напряжении, характеристика синтезированных наноструктур была проведена при помощи сканирующей электронной микроскопии. СЭМ-снимки проанализированы при помощи разработанного программного модуля «NeuroSEM». Показано, что в ходе синтеза растут нанотрубки длиной 10 ± 3 мкм, а их средний внешний диаметр составляет 46 ± 7 нм.

Установлено, что проведение высокотемпературного отжига нанотубулярного HfO_2 уменьшает ширину запрещённой зоны, а также смещает спектр излучения в синюю область. Наблюдаемое сине-зеленое свечение вызвано процессами переноса зарядов с участием собственных дефектов на основе кислородные вакансии.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00310, <https://rscf.ru/project/23-22-00310/>.

Список литературы

1. Zrinski I., Mardare C.C., Jinga L.I., Kollender J.P., Socol G., Minenkov A., Hassel A.W., Mardare A.I. Electrolyte-dependent modification of resistive switching in anodic hafnia // *Nanomaterials*. – 2021. – Vol. 11. – P. 1–18.
2. Gritsenko V.A., Islamov D.R., Perevalov T.V., Aliev V.S., Yelisseyev A.P., Lomonova E.E., Pustovarov V.A., Chin A. Oxygen Vacancy in Hafnia as a Blue Luminescence Center and a Trap of Charge Carriers // *Journal of Physical Chemistry C*. – 2016. – Vol. 120. – P.19980–19986.
3. Ćirić A., Stojadinović S., Dramićanin M.D. Judd-Ofelt and chromaticity analysis of hafnia doped with trivalent europium as a potential white LED phosphor // *Optical Materials*. – 2019. – Vol. 88. – P. 392–395.
4. Gu D., Baumgart H., Namkoong G., Abdel-Fattah T.M. Atomic layer deposition of ZrO_2 and HfO_2 nanotubes by template replication // *Electrochemical and Solid-State Letters*. – 2009. – Vol. 12. – P. 2–6.
5. Liu L., Wang Y., Su Y., Ma Z., Xie Y., Zhao H., Chen C., Zhang Z., Xie E. Synthesis and white light emission of rare earth-doped HfO_2 nanotubes // *Journal of the American Ceramic Society*. – 2011. – Vol. 94. – P. 2141–2145.
6. Liu L.X., Ma Z.W., Xie Y.Z., Su Y.R., Zhao H.T., Zhou M., Zhou J.Y., J. Li, E.Q. Xie Photoluminescence of rare earth³⁺ doped uniaxially aligned HfO_2 nanotubes prepared by sputtering with electrospun polyvinylpyrrolidone nanofibers as templates // *Journal of Applied Physics*. – 2010. – Vol. 107.

7. *Tsuchiya H., Schmuki P.* Self-organized high aspect ratio porous hafnium oxide prepared by electrochemical anodization // *Electrochemistry Communications*. – 2005. – Vol. 7. – P. 49–52.
8. *Apolinário A., Sousa C.T., G.N.P. Oliveira, A.M.L. Lopes, J. Ventura, L. Andrade, A. Mendes, J.P. Araújo* Tailoring the anodic hafnium oxide morphology using different organic solvent electrolytes // *Nanomaterials*. – 2020. – Vol. 10.
9. *Shandalov M., McIntyre P.C.* Size-dependent polymorphism in HfO₂ nanotubes and nanoscale thin films // *Journal of Applied Physics*. – 2009. – Vol. 106.
10. *Shilov A.O., Savchenko S.S., Vokhmintsev A.S., Gritsenko V.A., Weinstein I.A.* Optical parameters and energy gap estimation in hafnia thin film // *AIP Conference Proceedings*. – 2020. – Vol. 2313.
11. *Pelant I., Valenta J.* *Luminescence Spectroscopy of Semiconductors* // Oxford University Press. – 2012. – 580 p.
12. *Shilov A.O., Savchenko S.S., Vokhmintsev A.S., Gritsenko V.A., Weinstein I.A.* Thermal quenching of self-trapped exciton luminescence in nanostructured hafnia // *Journal of Luminescence*. – 2022. – Vol. 247. – P. 118908.
13. *Aleksanyan E., Kirm M., Feldbach E., Harutyunyan V.* Identification of F⁺ centers in hafnia and zirconia nanopowders // *Radiation Measurements*. – 2016. – Vol. 90. – P. 84–89.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ — 2.3.5.**

2.3.5.

А.А. Дронина, Р.С. Зарипова

Казанский государственный энергетический университет,
Казань, zarim@rambler.ru

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ
МАШИНИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

Железнодорожный транспорт – это основа транспортной инфраструктуры России. Российские железные дороги делают всё возможное для улучшения транспортной доступности, повышая качество жизни населения. Современные информационные технологии способны снизить время на выполнение работы, исключить риск из-за человеческого фактора и повысить продуктивность работников. В статье предложена система дистанционного мониторинга состояния машинистов с использованием технологии машинного зрения.

Ключевые слова: автоматизация, железнодорожный транспорт, мониторинг, психофизическое состояние, машинное зрение.

В 2021 году в распоряжении о транспортной стратегии Российской Федерации президентом Российской Федерации была поставлена цель формирования единого транспортного пространства России на базе сбалансированного опережающего развития эффективной транспортной инфраструктуры [1]. Одним из направлений достижения этой цели является повышение надежности и безопасности движения [2].

В настоящее время психофизическое состояние машинистов ОАО «РЖД» отслеживается посредством проведения медицинского осмотра перед рейсом или с помощью автоматизированных систем контроля бодрствования. После полного осмотра работник может быть допущен до службы, но на данный момент не существует системы, которая могла бы отслеживать состояние сотрудников в реальном времени. Потеря самообладания или снижение работоспособности машинистов во время смены может привести к трагическим последствиям, именно поэтому рассматриваемая тема приобретает особую актуальность.

Для мониторинга состояния машинистов предполагается, что они будут снабжены нагрудными сенсорами или браслетами, отслеживающими пульс, температуру, сатурацию и т. д. Также внутри кабины машиниста должны быть установлены видеокамеры, которые будут передавать изображение, обрабатываемое специальным программным обеспечением (ПО). Полученная информация о психофизическом состоянии машиниста должна передаваться по сетям мобильной связи на удаленные серверы специалистам, принимающим меры по обеспечению безопасности (рис. 1).

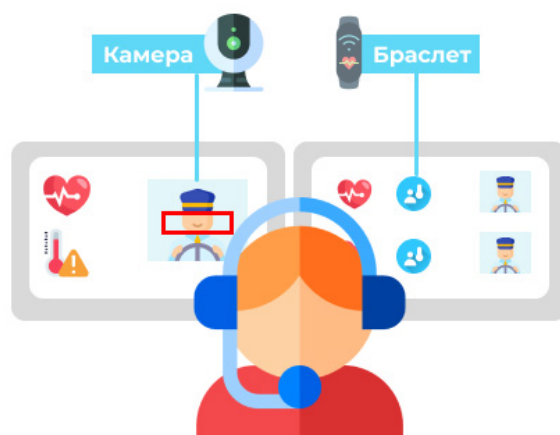


Рис. 1 – Визуальное представление работы системы мониторинга

Предлагается рассмотреть возможность создания ПО, которое будет включать в себя работу с технологией машинного зрения на языке программирования Python [3]. Обоснованием выбора данного языка является его универсальность, кроссплатформенность, эффективность, простота, большое количество обучающего материала в интернете, возможность работать с библиотеками OpenCV и dlib, удобство для реализации проектов, связанных с машинным обучением. OpenCV – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов с открытым кодом [3]. Dlib – расширенная библиотека машинного обучения, созданная для решения сложных задач.

Первоочередная задача заключалась в разработке программы, которая сможет считывать границы лица человека в реальном времени. Пример возможностей библиотеки dlib показан на рис. 2.

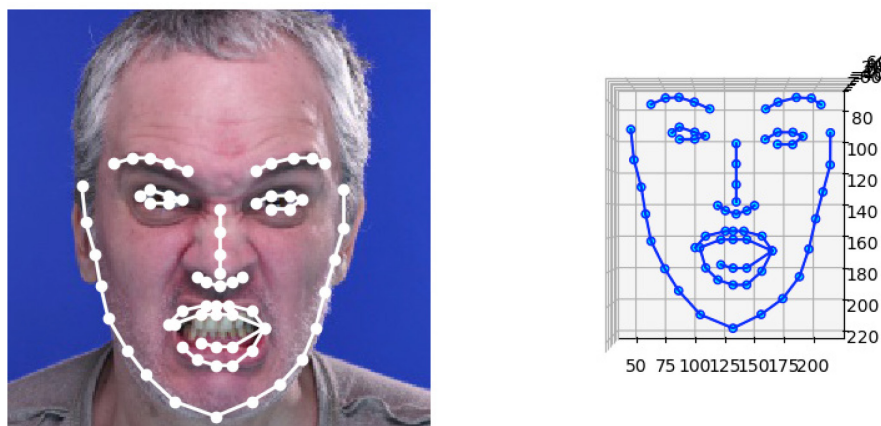


Рис. 2 – Границы человеческого лица, отслеживаемые программой

Следующая задача заключалась в выявлении решения отслеживания закрытых глаз. Для этого был предложен следующий алгоритм: 1) захватить область глаз на изображении, которое передается с видеокамеры в режиме реального времени, для чего нужно корректно просчитать соотношение сторон глаза; 2) при закрытии глаз программа должна выдавать предупреждение на изображение.

Для вычисления соотношения сторон глаза воспользуемся следующей формулой:

$$R = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2\|p_1 - p_4\|}$$

где, $p_1, \dots, p_6$ – это граничные точки глаза, как показано на рис. 3.

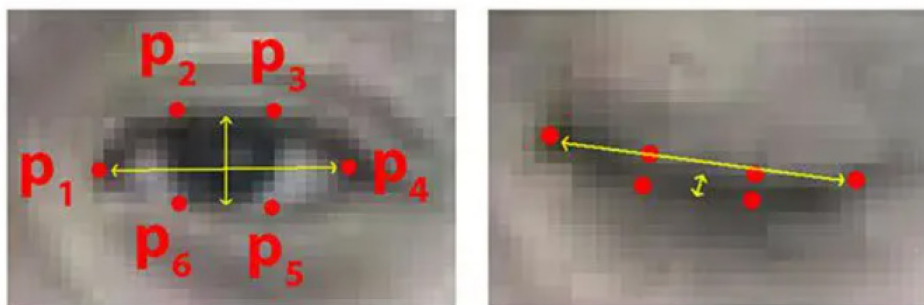


Рис. 3 – Граничные точки глаза на 2D-изображении

Для корректной работы программы нужно подключить библиотеки, которые содержат функции от математических действий до подключения видеокамеры к работе программы (рис. 4).

```
from scipy.spatial import distance as dist
from imutils.video import FileVideoStream
from imutils.video import VideoStream
from imutils import face_utils
import numpy as np
import argparse
import imutils
import time
import dlib
import cv2
```

Рис. 4 – Подключение необходимых библиотек в файле python

Следующий этап заключался в запуске видеопотока с камер наблюдения и просмотре передаваемых кадров для распознавания лица [4]. Если кадры с видеокамеры не поступают, то нужно прервать работу программы. Программа преобразует исходные цвета в оттенки серого, что поможет встроенному сканеру в библиотеке dlib обнаружить человеческое лицо (рис. 5).

```
while True:
    if fileStream and not vs.more():
        break
    frame = vs.read()
    frame = imutils.resize(frame, width=450)
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    rects = detector(gray, 0)
```

Рис. 5 – Обнаружение лица с помощью встроенных функций python

Теперь необходимо найти точки, которые показывают границы области лица. В листинге (рис. 6) показано извлечение координат лица, в том числе глаз и вычисление соотношения сторон глаза.

```
for rect in rects:
    shape = predictor(gray, rect)
    shape = face_utils.shape_to_np(shape)
    leftEye = shape[lStart:lEnd]
    rightEye = shape[rStart:rEnd]
    leftEAR = eye_aspect_ratio(leftEye)
    rightEAR = eye_aspect_ratio(rightEye)
    ear = (leftEAR + rightEAR) / 2.0
```

Рис. 6 – Получение отдельных координат

Следующая часть кода отвечает за мониторинг закрытых глаз. Здесь сравнивается вычисленное соотношение сторон глаз с открытым глазом и закрытым. В данном случае оцениваются моргания (рис.7). Если глаз закрылся, но не открылся, то счетчик не обнуляется, а значит человек заснул. В перспективе развития мониторинга открытия-закрытия глаз можно использовать переменную с таймером, измеряющим длительность закрытого состояния глаз и основывать проверку именно на этом.

```
if ear < EYE_AR_THRESH:
    COUNTER += 1
else:
    if COUNTER >= EYE_AR_CONSEC_FRAMES
        TOTAL += 1
    COUNTER = 0
```

Рис. 7 – Подсчет морганий

Финальный блок кода проверяет, обнулится ли счетчик морганий. Если не обнулится, то выходит сообщение о том, что глаза закрыты. Сюда также добавляем вариант обновления данных после нажатия клавиши Q и закрытие видеопотока (рис. 8).

```
if COUNTER==1
    cv2.putText(frame, "ГЛАЗА ЗАКРЫТЫ", (10, 30),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

cv2.imshow("Памка", frame)
key = cv2.waitKey(1) & 0xFF

if key == ord("q"):
    break
cv2.destroyAllWindows()
vs.stop()
```

Рис. 8 – Проверка закрытых или открытых глаз

Таким образом, разработана система дистанционного мониторинга состояния машинистов, которая способна обрабатывать изображения в реальном времени, а именно находить границы лица и области глаз. В качестве дальнейшего совершенствования системы можно рассмотреть вариант сохранения данных в облаке и обеспечение информационной безопасности [5]. Также открытым остается вопрос о получении согласия на обработку персональных данных у машинистов, что может создать определенные трудности при попытках внедрения данной системы.

Список литературы

1. Салтанаева Е.А., Эшлиоглу Р.И. Современная логистика: от управления до оптимизации / International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 2-2. С. 79-83.
2. Юсупова Р.И., Заринова Р.С. Приоритетные направления обеспечения транспортной безопасности / Технологический суверенитет и цифровая трансформация: материалы международной научно-технической конференции. Казань, 2023. С. 111-114.
3. Дронова А.А., Заринова Р.С. Применение системы машинного зрения для распознавания данных об электрооборудовании / Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: материалы Международной научно-технической конференции. Казань, 2023. Т.1. С. 382-386.
4. Пырнова О.А., Заринова Р.С. Автономные машины и искусственный интеллект / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 3 (21). С. 46-49.
5. Шакиров А.А., Заринова Р.С. Синергия логистической информационной системы и облачных вычислений / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 4 (22). С. 60-62.

2.3.5.

^{1,2}А.Г. Коробейников д-р техн. наук, ¹В.Л. Ткалич д-р техн. наук,
¹О.И. Пирожникова канд. техн. наук, ¹А.Н. Югансон канд. техн. наук

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,

²Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова Российской академии наук

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ИХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

Статья посвящена проблеме перехода мультиагентных технологий в индустриальную область, а именно в обеспечение информационной безопасности объектов транспортной инфраструктуры. В качестве мультиагентной системы в работе представлена транспортная инфраструктура современного мегаполиса. В такой системе транспортные средства подходят под иерархию рой-стая-коллектив, а сама система получает информацию из окружающей среды. В работе рассмотрены методы и средства обеспечения информационной безопасности данной мультиагентной системы. Результаты проведенных модельных экспериментов подтверждают выявление фактов деструктивных информационных воздействий на рассматриваемую роевую систему.

Ключевые слова: ИБ, мультиагентные системы, деструктивное информационное воздействие, ОТИС.

Современные концепции методов защиты мультиагентных систем (МАС) и вопросы, связанные с обеспечением информационной безопасности (ИБ) объектов транспортной инфраструктуры (ОТИС), являются быстро развивающимися направлениями информационных технологий (ИТ) [1]. Это обусловлено рядом взаимозависимых моментов, в частности, переходом МАС в индустриальную область, недостаточной транслируемостью классических методик обеспечения ИБ для таких объектов как МАС [2]. Наблюдается явное отставание уровня теоретического восприятия вопросов ИБ от степени изменений в развитии и потребностях самих МАС.

Исторически к ИТ, базирующимся на принципах МАС, можно отнести групповые робототехнические системы и сеть беспроводных узлов, а также ряд мобильных сенсоров и программных агентов. Проблемы ИБ таких систем проявляются: в компонентной ограниченности ресурсов; входящих в их состав элементарных агентов; физическом захвате и оказываемом влиянии на агентов, специфики мониторинга, контроля, взаимодействия с распределёнными агентами; специфики распознавания и аутентификации; проблемах выявления факта вторжения. При наличии наблюдаемого в настоящий момент роста рисков этих проблем, их успешное решение является важнейшей задачей процесса интеграции ИТ МАС. Проблемам ИБ МАС посвящено значительное количество научных работ [1-5]. Предположим, что формой реализации МАС будет некая совокупность роботизированных устройств. Роль такой системы может играть транспортная инфраструктура современного мегаполиса [5]. Движущиеся ОТИС подходят под иерархию рой-стая-коллектив. Мультиагенты такой МАС получают информацию из окружающей их среды, включая количественный состав и цели других участников движения.

Задачей исследования будут являться разработка методов и средств обеспечения ИБ данной МАС.

Если принять, что агенты системы создают роевую систему, то свойствами агентов будут являться следующие качества:– свободное перемещение в границах пространства, размер которого задается величиной имеющейся у системы энергии и задачами роя;– информационный обмен с другими участниками процесса (агентами);– владение информацией о задаче ролевой системы;– модифицирование собственного поведения.

С учетом базовых предположений о построении и функционировании ролевой системы можно ожидать:– достижения основной цели системы за счет наличия эмерджентных свойств в коллективе;– потеря агента не приводит к существенному снижению вероятности достижения целей;– предопределение функциональной ограниченности агента, что обусловлено его невысокой стоимостью.

Задача обеспечения ИБ роевой системы сводится к решению ряда частных задач, а именно: – анализу устойчивости по отношению к деструктивному воздействию, с построением аналитических и имитационных моделей (разработка моделей угроз и моделей нарушителей); – выявлению информационных атак на ранней стадии; – разработке методов и средств, направленных на противодействие атакам на роевую систему.

Для решения задач подобного типа применимы технологии моделирования, например с помощью системы MATLAB [6-8].

Основные положения концепции защиты мультиагентных систем.

К основным задачам развития концепции можно отнести: – дальнейшее развитие пространства признаков и определение минимальных комбинаций этих признаков при выявлении информационных атак на ОТИС в условиях начальной стадии активации агентов-диверсантов; – создание алгоритмов выявления информационных атак в системах контроля функционирования ОТИС; – анализ возможности выявления типов атак и определения агентов-диверсантов на базе полученных данных, а также оценки степени влияния на достижение цели при изменении соотношения аутентичных агентов с агентами-диверсантами.

Применительно к МАС системам представляется целесообразным выделении двух групп признаков. Первая группа характеризует перемещение агентов, вторая – их информационное взаимодействие. При построении моделей угроз учитывается, что эти две группы не относятся к независимым, так как характеризуют целостный процесс.

При проведении модельных экспериментов анализировались косвенные характеристики в поведении роевой системы, которая выполняла задачу при равномерном распределении на поверхности, отсутствие помех и наличие информационных атак. Атаки моделировали введением в роевую систему агентов дестабилизаторов, которые умышленно искажали данные своего местоположения. Атаки такого рода сложно выявляемы, так как не подвержены демаскировке при нарушении штатного режима работы. Кроме того, само деструктивное воздействие может быть идентифицированы на этапе, для которого основную цель уже достичь невозможно.

Модель реализуется на базе дискретных временных промежутков с переменным шагом. Анализу подвергаются независимые характеристики, такие как вектора скорости, ускорения, оставшаяся величина энергии, параметры информационного обмена, наличие фактов столкновения, координаты местоположение агентов и переход за границу рабочей зоны.

В ходе модельных экспериментов выявлены зависимости исполнения алгоритмов распределения по двухкоординатному пространству с использованием метода потенциалов. Алгоритм распределения на поверхности реализован для условий функционирования роевой системы без помех и с учетом деструктивных воздействий.

Было выявлено существенное различие ($\approx$ в 10 раз) значений модуля ускорений для вышеперечисленных двух условий, что связано с тем, что агенты, не успевая набрать скорость, проявляют псевдохаотический характер поведения. Согласно полученным результатам модельных экспериментов при указанных условиях, можно говорить о том, что они не идут вразрез с гипотезой о возможности выявления фактов деструктивных информационных воздействий на роевую систему, то есть на ОТИС.

Данный подход является эффективным при обнаружении атак на этапах проведения типовых манёвров. Однако он является зависимым от конкретного вида аппаратного исполнения агента, что не находится в противоречии с тезисом о возможности предсказания поведения агентов.

В дальнейшем представляется целесообразной реализация расширения признакового пространства, и минимизация комбинаций признаков при выявлении информационных атак на роевую систему.

Перспективным направлением является анализ возможности выявления типа атак и определения агентов-диверсантов.

Всё вышеперечисленное позволит разрабатывать меры противодействия различным видам информационных атак, а также создавать алгоритмы устойчивые к деструктивным воздействиям.

Заключение

Результаты анализа и модельных экспериментов могут свидетельствовать о возможности определения фактов скрытых деструктивных информационных воздействий на роевую систему в условиях соблюдения штатного режима работы. Эффективность данного подхода особенно велика на этапе исполнения типовых маневров. На этом этапе получаемые портреты (зависимости) не включают воздействия от других типовых маневров. Однако, данный подход предусматривает зависимость от конкретных аппаратных реализаций входящих в роевую систему агентов. С учетом этого необходимо предварительно формировать эталонные портреты для каждого агента. Это не находится в противоречии с гипотезой о предсказуемости поведения агента ОТИС.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации
№ МК-5323.2022.4*

Список литературы

1. Шниперов А.Н., Сантьев Е.А. Разработка системы защиты информации для гетерогенных информационных систем на основе мультиагентного подхода // Информатика и системы управления, 2014, №1(39), с. 23 -25
2. Матвеева А.А., Ким Ю.В., Вискнин И.И. Методы обеспечения информационной безопасности коммуникационных каналов в мультиагентных робототехнических системах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 1. С. 102–108.
3. Шуть В.Н. Мультиагентное управление движением транспортных средств в улично-дорожной сети города // Искусственный интеллект. 2014. № 4. С. 123–128.
4. Santra P., Roy A., Majumder K. A Comparative analysis of cloud forensic techniques in IaaS // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017.
5. Комаров И.И., Дранник А.Л., Юрьева Р.А. Моделирование проблем информационной безопасности мультиагентных систем // В мире научных открытий. 2014. № 4 (52). С. 61–70.
6. Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю. Разработка и исследование многомерных математических моделей с использованием систем компьютерной алгебры // СПбНИУ ИТМО.-Санкт-Петербург: СПбНИУ ИТМО, 2013.-100 с.
7. Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г. Алгоритм поиска, некоторые свойства и применение матриц с комплексными значениями элементов для стеганографии и синтеза широкополосных сигналов // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 5. С. 9.
8. Коробейников А.Г., Кутузов И.М., Колесников П.Ю. Анализ методов обфускации // Кибернетика и программирование. 2012. № 1. С. 31-37.

2.3.5.

¹Нгуен Тхи Тху, ²Р.С. Зарипова, ¹Нгуен Фук Хау¹Университет Шао-До, г. Чи Линь, провинция Хай Зьонг, Вьетнам,²Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия,¹phuchauptit@gmail.com, ²zarim@rambler.ru

КОНЦЕПЦИЯ QR-КОДА И РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЕГО СКАНИРОВАНИЯ

Используя QR-коды для поиска информации, пользователи могут сканировать код для доступа к информации без необходимости искать или вводить данные в поисковые системы. QR-коды помогают обеспечивать достоверность выводимой информации, т. к. содержат предварительно запрограммированную информацию и нет риска ошибочного ввода или путаницы информации. В статье рассмотрена концепция QR-кода и предложено приложение, основанное на сочетании технологий разработки веб-приложений и разработки систем сканирования QR-кода. Данное приложение позволяет пользователям сканировать QR-коды, извлекать и читать текстовые документы, слушать аудиоинформацию.

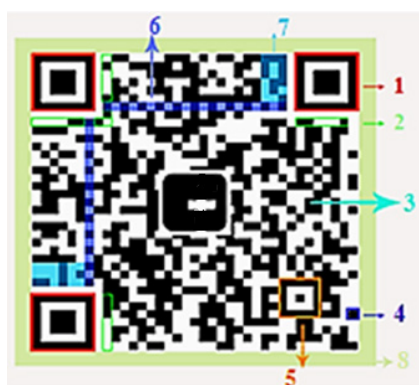
Ключевые слова: *QR-код, веб-программирование, код быстрого ответа, матричный штрих-код, сканирование.*

В эпоху цифровизации проблема быстрого поиска информации о конкретном человеке или какой-либо организации является актуальной. Такой поиск помогает заинтересованным людям быстро и удобно получать нужную информацию. С помощью приложения для сканирования QR-кодов, позволяющего получать документальную, текстовую и аудиоинформацию, пользователи могут легко искать информацию о любом интересующем объекте [1]. Сканирование QR-кодов имеет высокую применимость, его просто и удобно использовать любому пользователю. Для решения задачи поиска необходима информационная система для управления информацией о человеке или организации, которая может включать в себя следующие данные: ФИО, возраст, профессиональная квалификация, область научной деятельности, сведения об учреждении и др. [2] Проблема поиска персональной информации оказывается проще, если у организации имеется свой сайт, содержащий сведения о сотрудниках. Такой сайт также должен обеспечивать конфиденциальность информации и позволять просматривать и редактировать информацию только тем, кто имеет к ней доступ [3].

Одним из способов решения проблемы быстрого поиска информации о сотрудниках организации является использование технологии QR-кодов. Эта технология позволяет сотрудникам иметь специальный QR-код, содержащий информацию о них. Для получения информации о сотруднике пользователю достаточно отсканировать QR-код с помощью мобильного устройства, и система отобразит информацию о сотруднике. QR-код может содержать информацию о веб-адресе, времени события, контактную информацию, адреса электронной почты, текстовые символы, информацию о геолокации и т. д. В зависимости от используемого устройства считывания QR-кода сканирование приведет к переходу на веб-страницу, звонку на телефонный номер или просмотру сообщения [4].

QR-код представляет собой большой квадрат, усеянный маленькими, случайными, сложными квадратиками, которые трудно прочитать и понять (рис. 1). Однако QR-коды имеют определенные структуры, которые могут быть распознаны машиной [5]. Поисковые маркеры расположены в трёх углах QR-кода и отвечают за позиционирование. Их назначение – указывать направление кода, чтобы камера могла определить дальность действия кода, а также считать информацию в случае искажения кода. Формат данных имеет функцию

коррекции ошибок, которая определяет уровень коррекции ошибок QR-кода. Для того чтобы помочь сбалансировать черные и белые поля на коде, предусмотрена функция Mask. Основываясь на 8 принципах, информация, хранящаяся в QR-коде, сохраняет целостность, а также цвет черных и белых ячеек для обеспечения баланса. За исключением областей поисковых маркеров и формата данных остальные области QR-кода могут быть оформлены самостоятельно. Область данных содержит данные. В модуле черные ячейки QR-кода содержат двоичный код и имеют значение 1, белые ячейки имеют значение 0. Основной набор ячеек – это информация, хранящаяся в QR-коде. Символ выравнивания помогает ориентировать QR-код, расшифровываемый под любым углом. Даже если код перевернут или расположен под другим углом, машина все равно легко считывает его [6]. С помощью полос синхронизации сканер может определить размер матрицы данных. Код версии указывает версию QR-кода, идентифицируемую по количеству модулей. Всего в настоящее время существует 40 версий от 1 до 40. Версия 1 состоит из 21-го модуля. Каждая последующая версия добавляет по 4 модуля пока не будет достигнута версия 40. Всего 177 модулей. Чем больше модулей внутри QR-кода, тем больше места для хранения информации. Для маркетинговых целей обычно используются QR-коды с версиями от 1 до 7. Белое поле – это свободное пространство вокруг кода, позволяющее сканеру отличать QR-код от его окружения.



1. Поисковые маркеры
2. Формат данных
3. Область данных
4. Модуль
5. Символ выравнивания
6. Полосы синхронизации
7. Код версии
8. Белое поле

Рис. 1 – Структура QR-кода

QR-код имеет квадратную форму и обладает следующими 4 преимуществами: 1) большая емкость данных; 2) персонализация: эти коды могут быть адаптированы к дизайну компании и их можно редактировать даже после их представления; 3) улучшенная коррекция ошибок: QR-коды выдерживают больше повреждений, чем другие коды, что позволяет исправлять ошибки в пределах от 7 до 30%; 4) легко считывается: сканировать QR-код можно практически на любом устройстве, достаточно загрузить приложение на смартфон, настольный компьютер или планшет [7]. Сегодня в устройства встроена функция сканирования QR-кодов.

Рассмотрим процесс генерации QR-кода. Первый способ – онлайн. Для создания QR-кодов лучше всего использовать управляемый сайт. Для этого нужно ввести информацию в имеющиеся поля и сгенерировать QR-код для каждого объекта, которому нужен QR-код. Чтобы не тратить время на программирование генерации QR-кодов, можно воспользоваться веб-приложениями, помогающими генерировать QR-коды: QR Code Kaywa, Delivr QR Code, Mobile-Barcodes. Второй способ – с помощью программного обеспечения для телефонов, работающих под управлением ОС Android или IOS. Можно использовать приложения QR Droid, QR Code Scanner. При загрузке можно создать QR-код, заполнив информацию.

Модель развертывания разработана и построена на основе технологии блокчейн на платформе веб-приложений с базой данных, хранящейся на Sql Server (рис. 2). Пользователи могут сканировать QR-коды веб-страниц с помощью устройств или приложений с функцией сканирования QR-кодов и узнавать необходимую информацию об интересующих сотрудниках.

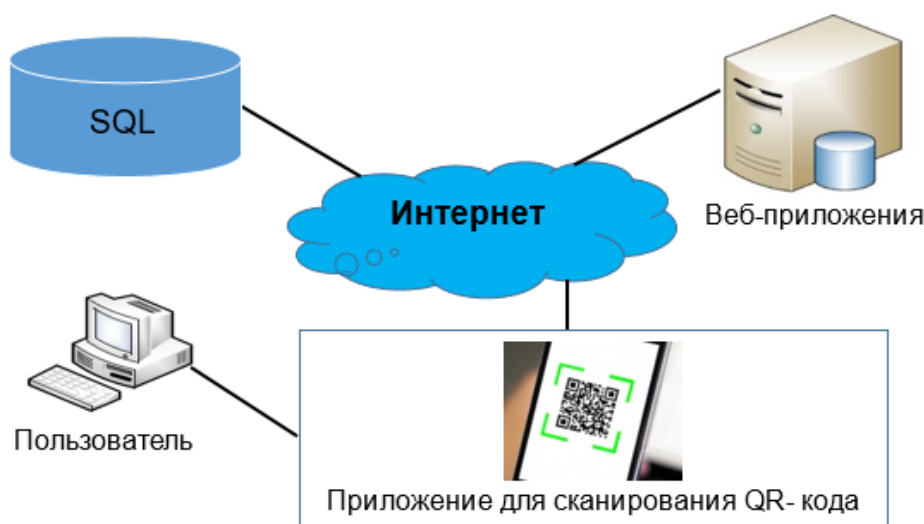


Рис. 2 – Диаграмма, иллюстрирующая модель развертывания

В данной статье рассмотрим проблему использования QR-кодов для получения информации о сотрудниках факультета информационных технологий университета Шао-До, г. Чи Линь, провинция Хай Зыонг, Вьетнам. Пользователи могут свободно использовать веб-приложение для создания информации по каждому человеку, при этом нет необходимости входа в систему для использования прав регистрации. Вот некоторые интерфейсы для планшетов сайта управления персоналом с QR-кодом. Когда участники (не администраторы) входят в систему, они могут выполнять такие задачи, как редактирование и добавление информации о сотрудниках. В качестве администратора можно управлять информацией о сотрудниках, редактировать, добавлять или удалять в блоке факультета и др.

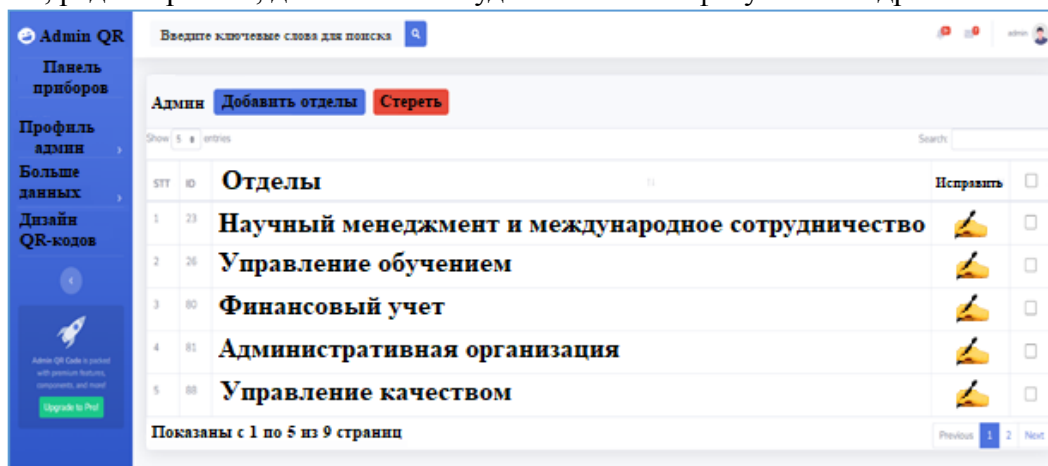


Рис. 3 – Интерфейс администратора сайта университета

После сканирования QR-кода интерфейс отобразит основную информацию о персонале (рис. 4) и воспроизведет звуковой сигнал, чтобы пользователь услышал информацию о найденном сотруднике, что поможет снизить активность глаз при ожидании. Нажав на раздел "Информация о преподавателе", пользователь может ознакомиться с информацией на сайте.

В результате исследования разработанного приложения сканирования QR-кодов на основе технологии блокчейн, программирования ASP.Net, модели MVC и программирования мобильных приложений были получены хорошие результаты по получению быстрого доступа к информации о сотрудниках университета по QR-коду.

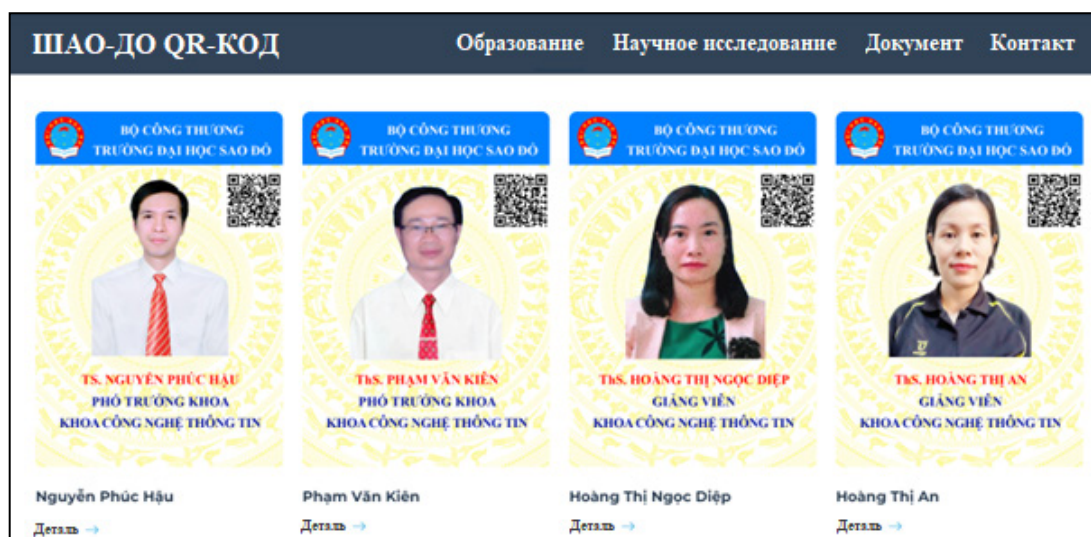


Рис. 4 – Интерфейс для получения информации о сотруднике путем сканирования QR-кода

Следовательно, можно сделать вывод о том, что благодаря концепции QR-кодов и разработанному приложению применение QR-кода является наиболее быстрым и точным способом получения информации об объекте.

Список литературы

1. <https://www.nayuki.io/page/creating-a-qr-code-step-by-step>
2. <https://blog.hubspot.com/blog/tabid/6307/bid/29449/how-to-create-a-qr-code-in-4-quick-steps.aspx>
3. <https://csdlkhoahoc.hueuni.edu.vn/data/2020>
4. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Современные тенденции web-разработки / Russian Journal of Education and Psychology. 2019. Т. 10. № 3. С. 85-88.
5. Салтанаева Е.А., Эшлиоглу Р.И., Бекетова С.И. Цифровые компетенции как обязательная компонента высшего образования / Russian Journal of Education and Psychology. 2023. Т. 14. № 2-2. С. 152-156.
6. Овсеев Г.А. SMART-решения и системы искусственного интеллекта / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2021. № 2 (24). С. 71-74.
7. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Автономные машины и искусственный интеллект / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 3 (21). С. 46-49.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ — 2.3.6.**

2.3.6.

Р.И. Юсупова, Р.С. ЗариповаКазанский государственный энергетический университет,
Казань, zarim@rambler.ru**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Статья посвящена проблеме обеспечения кибербезопасности детей, которая является актуальной и вызывает интерес среди родителей, педагогов, экспертов в сфере кибербезопасности и становится приоритетным направлением для общества в целом. Основной проблемой является обеспечение безопасного взаимодействия молодежи с Интернет, т. к. различные виды киберугроз негативно сказываются на физическом, психологическом и эмоциональном состоянии молодежи.

Ключевые слова: кибербезопасность, информационная безопасность, киберпреступление, кибератаки, кибербулинг, киберугрозы.

В настоящее время информационные технологии проникают во все сферы общества и занимают все больше места в повседневной жизни людей, включая и образование. Однако вместе с большими возможностями появляются и угрозы. Обеспечение информационной безопасности в сети интернет являются одной из актуальных проблем современного общества. Подростающее поколение является наиболее уязвимой возрастной группой из-за несформированной психики и малого жизненного опыта [1]. Опрос родителей показал, что большинство детей в возрасте от 7 до 10 лет (77%) имеют опыт использования гаджетов до поступления в школу. Ситуация отличается у детей в возрасте 11-14 лет, среди которых 46% знакомы с гаджетами до школы, и у подростков в возрасте 15-18 лет, где этот показатель составляет 29%. У большинства детей начальных классов (88%) имеется телефон или планшет, а почти у каждого старшекласника – свой гаджет. Среди детей начальных классов цифровой мир только начинает открываться, но начиная со средней школы заметная доля детей проводит большую часть свободного времени в гаджетах (табл. 1).

Таблица 1 – Использование гаджетов среди детей от 3 до 18 лет

Диапазон времени	3-6 лет	7-10 лет	11-14 лет	15-18 лет
Практически все время	5%	14%	33%	43%
3-5 часов в день	11%	25%	39%	27%
1-2 часа в день	38%	39%	22%	24%
Не более часа	27%	16%	5%	4%
Не каждый день	19%	6%	1%	2%

Проблема киберпреступности, совершаемой в отношении детей и подростков, является очень серьезной и вызывает беспокойство не только у родителей, но и у всего общества. В связи с тем, что дети зачастую скрывают информацию о своей онлайн-активности, становится сложно определить и измерить ущерб, который может быть причинен кибератаками. Недавние исследования свидетельствуют о том, что увеличение числа интернет-пользователей среди молодежи сопровождается ростом киберзапугивания, а школьники ввиду их уязвимости страдают в наибольшей степени. К основным сетевым угрозам относится мошенничество в отношении детей, совершаемое преступниками через Интернет или локальное подключение. Хищение или приобретение прав на чужое имущество путем ввода, удаления, блокировки, модификации компьютерной информации законом определяется как «мошенничество в сфере компьютерной информации». Данный вид противоправных действий рассматривается в ст. 159.6 УК РФ. Ответственность по указанной статье наступает с 16 лет.

Наиболее распространенные схемы интернет-мошенничества:

1. Фишинг – манипулятивные попытки получить конфиденциальную информацию, т.е. логины и пароли, путем использования поддельных веб-сайтов, электронной почты. Ребенок может получить фишинг-сообщение на телефон или почту, в котором будет указано, что это сообщение от банка или другой организации. Мошенники используют легкоузнаваемые логотипы банков и компаний, чтобы заставить ребенка довериться им и предоставить личную информацию. Дети чаще всего не знают о том, что подлинный сайт должен содержать контактную информацию и сведения об авторах, а также о том, что фишинг-сайты могут быть опасными для компьютера и содержать вирусы. Детей нужно необходимым навыкам, чтобы защитить свои данные и избежать попадания в ловушку фишинга.

2. Поддельные интернет-магазины. Различные сайты-мошенники, лжепредприниматели часто предлагают сомнительные услуги и товары онлайн, что может привести к обману, утечке информации и потере денег. Необходимо проверять интернет-магазины на наличие документов и информации о продуктах. Продажи через неспециализированные сайты и социальные сети опасны, т. к. это может привести к обвинению в незаконной предпринимательской деятельности. Для безопасности лучше пользоваться специализированными сайтами. Но дети не думают о том, что на сайте должны быть сведения об адресе, правоустанавливающих документах, соглашение на использование и обработку персональных данных, данные о потребительских свойствах товара и др. Поэтому они становятся уязвимыми в силу своей неосведомленности.

3. Взлом аккаунта и вирусный контент. Как показывает статистика, дети уже с маленького возраста создают аккаунты в социальных сетях и не задумываются об опасности. Вирусный контент может изменить или заблокировать доступ к персональному компьютеру, а затем потребовать от пользователя отправить СМС на указанный номер или произвести оплату с целью восстановления пароля или работоспособности. Некоторые вредоносные программы могут также привести к заражению троянами, которые могут потенциально предоставить злоумышленникам доступ к личным данным. Ежедневно с вредоносными программами сталкиваются несколько тысяч пользователей и не только используя социальные сети, но и при скачивании сомнительных файлов. Данные «Лаборатории Касперского» показывают, что это очень актуальная проблема в России.

Существует также угроза кибербуллинга детей, что сказывается на их эмоциональном состоянии, будущей жизни и отношении к окружающим. Кибербуллинг – это форма насилия, которая использует электронные средства связи, социальные сети для запугивания или дискредитации жертвы. Существует несколько факторов, которые способствуют появлению кибербуллинга, включая анонимность в сети, легкий доступ к интернету, стимулирующую среду и низкую самооценку. Кибербуллинг может иметь различные формы, такие как публичные оскорбления, угрозы, компрометирующие материалы, травлю в социальных сетях, отказ от включения в группу, дискриминацию на основе религии, расы или пола. Чтобы предотвратить последствия кибербуллинга нужны специалисты в области психологии и педагогики, которые смогут применить методы, направленные на создание безопасной и позитивной образовательной среды [2]. Согласно исследованиям Microsoft Россия занимает первое место среди 25 стран по количеству онлайн-травли. Почти половина детей в возрасте от 8 до 17 лет в России подвергались действиям, которые можно охарактеризовать как насильственные. Почти половина опрошенных знает о возможности травли в сети, а более двух третей испытывают беспокойство по этому поводу. При этом 49% подвергались онлайн-травле, 71% – офлайн-травле, а 86% – обоим видам насилия. Был проведен опрос о том, насколько часто дети сталкиваются с нарушением информационной безопасности в интернет. Результаты этого исследования (табл. 2) могут помочь улучшить развитие стратегий обучения населения основным принципам безопасности в интернете. Сравнение ответов показало, что дети более склонны к беспокойству о кибербуллинге, являющимся наиболее высоким процентом в таблице – 52% против 39% (родители). Но кража данных более беспокоит родителей, чем детей – 37% против 34%. Дети чувствуют себя более

защищенными в Интернете, что отображается в более низком проценте среди тех, кто боится утечки данных. Потеря гаджета не является приоритетной опасностью для родителей и детей.

Таблица 2 – Результаты опроса

Виды киберугроз	Ответ родителей про детей	Ответ детей
Интернет-мошенничество	19%	34%
Кража данных (пароль и др.)	37%	34%
Заражение устройств вредоносным ПО	23%	14%
Утечка данных из сервиса	12%	3%
Кибербуллинг	39%	52%
Потеря гаджета	13%	14%

Для обеспечения кибербезопасности первостепенным является повышение грамотности учителей и родителей в информационной сфере, т. к. большую часть времени дети взаимодействуют с данным окружением. Здесь необходим грамотный подход, чтобы знания взрослых были полными и достоверными. Также необходима реализация программ дополнительного профессионального образования школьных работников в области кибербезопасности. Взаимодействие учителей и детей путем проведения разъяснительных бесед о кибербезопасности также является важным фактором. Один из главных аспектов кибербезопасности детей – это обучение осознанному поведению, позволяющему распознавать опасности в Интернете, развитие критического мышления, которое обеспечивает им умение распознавать подозрительные ситуации, мошенничество и разного вида угрозы [3]. Дети должны уметь проверять источники информации, обращать внимание на такие детали, как странные запросы, адреса, неизвестные ссылки и подозрительные приложения.

Одним из способов защиты является установление контроля и ограничения использования Интернет. Родители должны определить рамки и время на использование разных интернет-ресурсов. В школах и семьях рекомендуется использовать современные технические возможности для защиты детей, например, установка блокировщиков нежелательного контента или ограничение доступа к определенным сайтам.

В настоящее время, когда дети всё чаще проводят свободное время в гаджетах, внедрение обучающих мобильных приложений для школьников является одним из эффективных способов повышения кибербезопасности детей. Данные приложения предлагают интерактивные методы обучения, которые помогают детям понять основные принципы безопасности в Интернете и обучить правилам поведения в онлайн-среде. Приложения могут содержать уроки, тесты, советы и практические задания.

Таким образом, обеспечение кибербезопасности детей в Интернет является одной из основных задач. Изучение информатики в школе может быть недостаточным для полного охвата всех аспектов информационной безопасности. Проведение внеурочных мероприятий на тему информационной безопасности, особенно в неформальном виде, может повысить грамотность учеников в этой области, что является ключевым фактором успешной адаптации к цифровой среде.

Список литературы

1. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Влияние информации на молодое поколение / Социальная онтология России: сборник научных статей по докладам XIV Всероссийских Копыловских чтений. Новосибирск, 2020. С. 479-481.
2. Салтанаева Е.А., Эшлиоглу Р.И. Воспитание современного студента / Russian Journal of Education and Psychology. 2023. Т. 14. № 1-3. С. 72-76.
3. Галиуллина Э.Р., Зарипова Р.С. Преимущества и недостатки использования социальных сетей в процессе обучения / Russian Journal of Education and Psychology. 2019. Т. 10. № 7. С. 21-25.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, А.В. Репина, Р.Х. Шагимуллин, А.А. Иванова
ПРИМЕНЕНИЕ ТИОКОЛОВЫХ ГЕРМЕТИКОВ
В ПРОЦЕССЕ НЕФТЕДОБЫЧИ

Ключевые слова: полисульфидный олигомер,
нефтедобыча, тиоколовые герметики.

Экспериментально исследованы физико-механические и другие эксплуатационные свойства промышленных тиоколовых герметиков (жидких тиоколов). Определены оптимальные рецептуры герметиков для нанесения их в качестве ингибиторов парафиноотложения на внутренних поверхностях труб при добычи девонских нефтей Ханты-Мансийского региона.

V.S. Minkin, A.V. Repina, R.H. Shagimullin, A.A. Ivanova
APPLICATION OF THIOCOL SEALANTS
IN THE PROCESS OF OIL PRODUCTION

Keywords: polysulfide oligomer,
oil production, thiocol sealants.

The physicochemical and other operational properties of industrial thiocol sealants (liquid thiocols) have been experimentally investigated. Optimal formulations of sealants for applying them as paraffin deposition inhibitors on the inner surfaces of pipes during the extraction of Devonian oils of the Khanty-Mansiysk region have been determined.

Е.Б. Булгытов
О КЛАССИФИКАЦИИ МУЛЬТИФУНКЦИЙ
ОТНОСИТЕЛЬНО ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МАКСИМАЛЬНЫМ
МУЛЬТИКЛОНАМ РАНГА 2

Ключевые слова: мультифункции, гиперфункции,
частичные функции, мультиклон, суперпозиция.

В данной статье рассматриваются мультифункции размерности 3 и их классификация на основе их принадлежности 15 максимальным мультиклонам ранга 2, описанных В. И. Пантелеевым. Анализ мультифункций проведен с применением специально созданной компьютерной программы на языке C++. Получены векторные представления и характеристические векторы всех мультифункций размерности 3. На их основе дана новая нижняя оценка общего количества уникальных характеристических векторов для мультифункций и частичных функций.

E.B. Bulgytov
ON THE CLASSIFICATION OF MULTIFUNCTIONS
BASED ON THEIR BELONGING TO MAXIMUM
MULTICLONES OF RANK 2

Keywords: multifunctions, hyperfunctions,
partial functions, multiclon, superposition.

The following article deals with 3-dimensional multifunctions and their classification which is based on their belonging to the 15 maximum multiclon of rank 2 described by V. I. Panteleev. The multifunctions were analyzed using a specifically created computer program written in C++ language. Vector representations and characteristic vectors of all 3-dimensional multifunctions of dimension 3 are obtained. Based on them, a new lower bound is given for the total number of unique characteristic vectors for multifunctions and partial functions.

Е.В. Десяев, Т.Ф. Мамедова, Д.К. Егорова
ПОКОМПОНЕНТНОЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЕ
ИНТЕГРИРОВАНИЕ В ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

Ключевые слова: асимптотика, дифференциальные уравнения,
математическая модель, экономический рост,
асимптотическая эквивалентность.

В работе представлены результаты изучения покомпонентного асимптотического интегрирования для нелинейных дифференциальных уравнений. Показано применение этого подхода к решению прикладных задач, а именно – обобщенной модели экономического роста. Представленный подход позволяет анализировать состояние как системы в целом, так и отдельных ее частей.

E.V. Desyaev, T.F. Mamedova, D.K. Egorova
COMPONENT-BY-COMPONENT ASYMPTOTIC
INTEGRATION IN A GENERALIZED MODEL
OF ECONOMIC GROWTH

Keywords: asymptotics, differential equations,
mathematical model, economic growth, asymptotic
equivalence..

This paper presents the results of studying component-wise asymptotic integration for nonlinear differential equations. The application of this approach to solving applied problems, namely a generalized model of economic growth, is shown. The presented approach allows us to analyze the state of both the system as a whole and its individual parts.

О.В. Ильина, С.А. Ляшева, В.М. Трегубов
РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ КООРДИНАТЫ ВЫХОДА
ОПТИЧЕСКОГО ЛУЧА В ЛАЗЕРНЫХ ЦЕНТРИРУЮЩИХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: технологическая подготовка производства,
лазерные методы контроля, системы с пространственным
сканированием лазерного луча, погрешности лазерных
центрирующих измерительных систем, расчет погрешности
координаты выхода оптического луча.

В статье рассматриваются вопросы исследования погрешностей лазерных центрирующих измерительных систем, используемых в самолетостроении. Рассмотрено прохождение лазерного излучения при произвольном угле падения излучения на входную плоскость. Получены зависимость изменения координаты выхода оптического луча от изменения угла входа луча.

O.V. Ilina, S.A. Lyasheva, V.M. Tregubov
CALCULATION OF THE ERROR OF THE OPTICAL
BEAM OUTPUT COORDINATE IN LASER CENTERING
MEASURING SYSTEMS

Keywords: technological preparation of production, laser
control methods, systems with spatial scanning of the laser
beam, errors of laser centering measuring systems, calculation
of the error of the optical beam output coordinate.

The article deals with the issues of studying the errors of laser centering measuring systems used in aircraft construction. The passage of laser radiation at an arbitrary angle of incidence of radiation on the input plane is considered. The dependence of the change in the coordinate of the optical beam output on the change in the angle of the beam input is obtained.

И.И. Ишмиев, С.С. Логинов
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА
СИГНАЛОВ С OFDM

Ключевые слова: PTS, PAPR,
OFDM, CCDF, M-последовательность.

В работе представлены результаты исследования влияния

I.I. Ishmiev, S.S. Loginov
SIMULATION OF THE METHOD OF PARTIAL
TRANSMISSION OF A SEQUENCE OF REDUCING
THE PEAK FACTOR OF SIGNALS WITH OFDM

Keywords: PTS, PAPR, OFDM, CCDF, M-sequence.
The paper presents the results of a study of the influence of the
number of windows, iterations, choice of phase sequence, as

количества окон, итераций, выбора фазовой последовательности, а также от "случайности" информационного сигнала на улучшение дополнительной кумулятивной функции распределения (CCDF) при использовании известного и модифицированного способа снижения пик-фактора методом частичной последовательности передачи (PTS) сигналов с OFDM. Представлены результаты оценок полученного пик-фактора.

Н.А. Котков, И.В. Плохов, К.Г. Эрастова, А.М. Валиуллин
ДИАГНОСТИКА УЗЛОВ СКОЛЬЗЯЩЕГО ТОКОСЪЕМА
ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ
НЕЙРОКЛАССИФИКАТОРА

Ключевые слова: узел скользящего токосъема, щёточно-контактный аппарат, электрические машины, машинное обучение, глубоко обучение, диагностика, классификатор, нейроклассификатор, искусственная нейронная сеть.

Исследована возможность диагностики щёточно-контактного аппарата синхронных электрических машин при помощи искусственных нейронных сетей, определены гиперпараметры нейроклассификатора макета узла скользящего токосъема турбогенератора.

Е.В. Львова, П.А. Шаронов, М.А. Шаронов
ОПТИМАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ключевые слова: Гармоники тока и напряжения, оценка, метод максимального правдоподобия, амплитуда, частота, фаза, реактивная мощность.

В статье предложена методика оценивания параметров гармоник тока и напряжения в промышленных сетях, основанная на методе максимального правдоподобия и учитывающая возможные отклонения частоты основной гармоники от 50 Гц. Методика сводится к решению линейной системы уравнений относительно неизвестных параметров с учетом квадратичных ограничений, налагаемых на них. С помощью компьютерного имитационного моделирования проведено исследование эффективности предлагаемого метода путем сравнения его с известной одноканальной методикой для случая, когда в сигнале присутствуют гармоники тока и напряжения. Модельные эксперименты показали высокую эффективность предложенного алгоритма с точки зрения точности и скорости вычисления оценок неизвестных параметров.

Е.А. Петрова, Т.К. Филимонова,
Г.А. Овсенко, Э.Ш. Кремлева

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК
ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТА

Ключевые слова: модель, маршрут, пассажиропоток, движение автобуса, пассажиронапряженность.

В данной работе рассматривается математическое моделирование транспортного маршрута- процесса создания математических моделей, которые описывают и предсказывают поведение транспортных потоков, таких как движение общественного транспорта, на основе различных факторов, таких как дорожные сети, дорожные условия, потоки транспортных средств. Математическое моделирование также способствует планированию инфраструктуры и разработке улучшенных стратегий управления транспортом.

И.З. Самерханов, Е.А. Печеный, Н.К. Нуриев
О РАЗДЕЛЕНИИ N-КАНАЛЬНОЙ СМО
С КАНАЛАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
НА N НЕЗАВИСИМЫХ ОДНОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: система массового обслуживания, каналы различной производительности, эффективное управление, разделение каналов.

В работе представлены результаты комплекса численных экспериментов, в ходе которых исследовалось влияние на показатели эффективности разделения n-канальной системы массового обслуживания на n независимых одноканальных

well as the randomness of the information signal on the improvement of the additional cumulative distribution function (CCDF) using the conventional and modified method of reducing the crest factor using the partial transmission sequence (PTS) method of signals with OFDM. Graphs of the resulting crest factor are presented.

N.A. Kotkov, I.V. Plokhov, K.G. Erastova, A.M. Valiullin
DIAGNOSTICS OF SLIDING ELECTRICAL CONTACT
UNIT OF TURBOGENERATORS WITH NEURAL
NETWORK CLASSIFIER

Keywords: sliding electrical contact unit, brush-contact device, electrical machines, deep learning, diagnostics, classifier, neural network.

This paper presents deep learning method that can be used for control and diagnostics of sliding electrical contact unit of turbogenerator and it's hyperparameters.

E.V. L'vova, P.A. Sharonov, M.A. Sharonov
OPTIMAL ESTIMATION OF SIGNAL PARAMETERS
IN INDUSTRIAL AC NETWORKS

Keywords: Current and voltage harmonics, estimation, maximum likelihood method, amplitude, frequency, phase, reactive power.

The article proposes a method for estimating the parameters of current and voltage harmonics in industrial networks, based on the maximum likelihood method and taking into account possible deviations of the fundamental harmonic frequency from 50 Hz. The technique comes down to solving a linear system of equations for unknown parameters, taking into account the quadratic constraints imposed on them. Using computer simulation, the effectiveness of the proposed method was studied by comparing it with the well-known single-channel technique for the case when the signal contains current and voltage harmonics. Model experiments have shown the high efficiency of the proposed algorithm in terms of accuracy and speed of calculating estimates of unknown parameters.

E.A. Petrova, T.K. Filimonova,
G.A. Ovseenko, E.S. Kremleva

MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING
THE CHARACTERISTICS OF A TRANSPORT ROUTE

Keywords: model, route, passenger flow, bus movement, passenger tension.

This paper considers mathematical modeling of a transport route - the process of creating mathematical models that describe and predict the behavior of traffic flows, such as public transport, based on various factors, such as road networks, road conditions, vehicle flows. Mathematical modeling also contributes to infrastructure planning and the development of improved transport management strategies.

I.Z. Samerkhanov, E.A. Pecheny, N.K. Nuriev
ABOUT THE SEPARATION OF THE N-SERVER
QUEUEING SYSTEM WITH HETEROGENEOUS SERVERS
ON N INDEPENDENT SINGLE-SERVER SYSTEMS

Keywords: queueing system, heterogeneous servers, effective management, server separation.

The paper presents the results of a set of numerical experiments, during which the effect on the efficiency indicators of the separation of an n-server queueing system into n independent single-server systems was investigated. Mathematical models of 3- and 4-server systems with failures

систем. В качестве примеров рассмотрены математические модели 3-х и 4-х канальных систем с отказами, функционирующие в режиме пуассоновских потоков, а в качестве основного показателя эффективности рассматривалась абсолютная пропускная способность. В рамках экспериментов варьировались соотношения интенсивностей каналов и интенсивность входного потока. Установлено, что в условиях управления потоком разделение каналов различной производительности на независимые одноканальные СМО значительно ухудшает показатели эффективности.

Р.З. Хайруллин

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРЯДКОВЫХ СТАТИСТИК ДЛЯ ЗАДАЧ ПОСТРОЕНИЯ ОЦЕНОК ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ВЫБОРОК

Ключевые слова: малая выборка, оценивание, погрешность измерения, нормальное распределение.

Проведена адаптация метода построения порядковых статистик к задачам метрологического обеспечения сложных технических систем. Основу метода составляют алгоритмы построения порядковых статистик для крайних и средних членов соответствующего вариационного ряда. Приведен пример для выборки размерности 5 для случая нормального распределения погрешности измерения. Продемонстрирована статистическая устойчивость разработанного метода. Сформулировано правило проверки гипотезы о принадлежности результатов измерений нормальной генеральной совокупности.

Е.Г. Царькова

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ СИСТЕМ ОХРАНЫ В УЧРЕЖДЕНИЯХ УИС

Ключевые слова: охранная система, техническое обслуживание, надёжность, принцип максимума Понтрягина, метод проекции градиента.

В работе приведена динамическая модель управления обслуживанием и ремонтами систем безопасности охраняемых объектов ФСИН России. Применен градиентный метод решения задачи, приведены результаты апробации вычислительного алгоритма. Построенная в работе модель и методы решения задачи могут быть использованы для построения систем поддержки принятия решений, используемых при осуществлении мероприятий по совершенствованию ведомственных систем безопасности.

Г.Н. Аглямзянова, Л.З. Гумерова ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ МОДУЛЯ ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ БИБЛИОТЕК PYTHON

Ключевые слова: Python, онтологии, объединение, RDFLib, базы знаний.

В данной статье представлен пример создания модуля для интеграции онтологий при проектировании систем управления техническими объектами. В качестве инструмента выбрана библиотека RDFLib.

С.С. Акимов, М.В. Архипчева РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА ОРГАНИЗМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

Ключевые слова: продуктивность животноводства, микроэлементный состав, управление, математические модели, оптимизация.

Рассматривается влияние микроэлементного статуса на продуктивность животных. Отмечено, что микроэлементы перемещаются из почвы и семян в корма и далее в организм животных, что позволяет регулировать их на каждом этапе. Для этих целей составлены модели, позволяющие комплексировать данные и управлять продуктивностью животных через регулирование микроэлементного состава.

operating in the Poisson flow mode are considered as examples, and absolute throughput was considered as the main indicator of efficiency. As part of the experiments, the ratios of server intensities and the intensity of the input stream varied. It is established that in the conditions of flow control, the separation of heterogeneous servers into independent single-server QS significantly worsens efficiency indicators.

R.Z. Khayrullin

FORMATION OF ORDINAL STATISTICS FOR THE TASKS OF CONSTRUCTING ESTIMATES OF MEASUREMENT ERROR IN CONDITIONS OF SMALL SAMPLES

Keywords: small sample, estimation, measurement error, normal distribution

The method of constructing ordinal statistics is adapted to the tasks of metrological support of complex technical systems. The method is based on algorithms for constructing ordinal statistics for the extreme and middle terms of the corresponding variation series. An example is given for a sample of dimension 5 for the case of a normal distribution of measurement error. The statistical stability of the developed method is demonstrated. A rule is formulated to test the hypothesis that the measurement results belong to a normal general population.

E.G. Tsarkova

BUILDING AN OPTIMAL STRATEGY FOR MANAGING THE RELIABILITY OF SECURITY SYSTEMS IN PENAL INSTITUTIONS

Keywords: security system, maintenance, reliability, Pontryagin maximum principle, gradient projection method. The paper presents a dynamic model of management of maintenance and repairs of security systems of protected objects of the Federal Penitentiary Service of Russia. The gradient method of solving the problem is applied, the results of the approbation of the computational algorithm are presented. The model and methods of solving the problem constructed in the work can be used in the construction of decision support systems in the implementation of measures to improve departmental security systems.

G.N. Aglyamzyanova, L.Z. Gumerova EXPERIENCE IN IMPLEMENTING A MODULE FOR COMBINING ONTOLOGICAL KNOWLEDGE BASES BASED ON PYTHON LIBRARIES

Keywords: Python, ontologies, unification, RDFLib, knowledge bases.

This article presents an example of creating a module for integrating ontologies in the design of control systems for technical objects. The RDFLib library is selected as the tool.

S.S. Akimov, M.V. Arkhapcheva DEVELOPMENT OF A MODEL FOR ASSESSING THE ELEMENTAL STATUS OF THE BODY TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF DAIRY FARMING

Keywords: livestock productivity, microelement composition, management, mathematical models, optimization. The influence of microelement status on the productivity of animals is considered. It is noted that trace elements move from soil and seeds to feed and further into the animal body, which allows them to be regulated at each stage. For these purposes, models have been compiled that make it possible to integrate data and manage the productivity of animals through the regulation of microelement composition.

Д.А. Васильев, М.А. Иванова, Т.И. Васильева
РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА JAVA ДЛЯ ЗАДАЧИ
РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗА

Ключевые слова: перцептрон, Java, метод обратного распространения ошибки, нейрон, взвешенная сумма, логистическая кривая, активация.

В научной статье подробно приведён принцип работы нейронной сети. Он представлен как механизм обработки информации. Наглядно объясняется взаимодействие нейронов и слоев. А также описаны важные этапы разработки нейронной сети на Java.

А.В. Волков, А.В. Марченко, Е.М. Мигачева
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
СОТРУДНИКОВ НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ
ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: работоспособность, информационная безопасность, информационные системы, анализ.

В данной статье исследовано влияние работоспособности сотрудников администрации Плодопитомнического с.п. Рузаевского муниципального района Республики Мордовия на качество и безопасность обслуживания информационных систем. В результате исследования для данной организации была проведена методика регулярной оценки работоспособности, применен однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ, которые позволили более глубоко исследовать взаимосвязи между переменными факторами, влияющими на работоспособность и обеспечение информационной безопасности в организации при обслуживании информационных систем.

А.В. Ганичева, А.В. Ганичев
ГРАММАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ
РОБОТА

Ключевые слова: двуногий робот, формальная грамматика, правила, символ, нетерминалы, углы поворота, цепочка вывода. В статье разработан метод описания движения автоматических устройств – роботов. Для этого используется аппарат теории формальных грамматик. Показано, что изменение положения робота из начального положения в конечное можно представить цепочкой языка КС-грамматики. Введены нетерминальные символы и разработаны правила вывода грамматики.

И.Б. Гинзбург, Ю.Н. Кондрашов, Д.А. Макаров
ИЗУЧЕНИЕ БИБЛИОТЕК ЯЗЫКА PYTHON
ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СРЕДЕ JUPYTERLAB

Ключевые слова: дистанционное обучение, лабораторный практикум, проблемы дистанционного обучения, Python, Project Jupyter, машинное обучение.

В статье рассмотрены задачи дистанционного обучения при проведении лабораторных и практических занятий по использованию языка программирования Python для машинного обучения и обработки полученных результатов. Предложено решение для обеспечения проведения дистанционного обучения с использованием веб-приложения и программных модулей для машинного обучения, установленных на сервере. Это позволяет проводить занятия без дополнительных программных средств, кроме стандартного веб-браузера, на стороне клиента, а также с использовать специализированное оборудование на сервере.

Е.В. Гусев
АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
ПРОВЕРКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ
ОГРАНИЧЕННОМ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Ключевые слова: надежность, время восстановления, интенсивность отказа, интенсивность восстановления, метод оптимизации.

Целью работы является разработка алгоритмов оптимизации

V.A. Vasiliev, M.A. Ivanova, T.I. Vasilyeva
DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK IN JAVA
FOR THE TASK OF IMAGE RECOGNITION

Keywords: perceptron, Java, backpropagation method, neuron, weighted sum, logistic curve, activation.

The scientific article describes in detail the principle of operation of a neural network. It is presented as an information processing mechanism. The interaction of neurons and layers is clearly explained. The important stages of developing a neural network in Java are also described.

A.V. Volkov, A.V. Marchenko, E.M. Migacheva
STUDY OF THE INFLUENCE OF EMPLOYEE
WORKABILITY ON THE QUALITY AND SECURITY
OF INFORMATION SYSTEMS SERVICE

Keywords: performance, information security, information systems, analysis.

In this article, the influence of the working capacity of the employees of the administration of the Fruit Nursery village was studied. Ruzaevsky municipal district of the Republic of Mordovia on the quality and security of information systems maintenance. As a result of the study, a methodology for regular performance assessment was carried out for this organization, one-factor and two-factor analysis of variance was applied, which made it possible to more deeply explore the relationship between variable factors that affect the performance and information security in the organization when servicing information systems.

A.V. Ganicheva, A.V. Ganichev
GRAMMATICAL METHOD OF DESCRIBING ROBOT
MOVEMENT

Keywords: bipedal robot, formal grammar, rules, symbol, nonterminals, rotation angles, output chain.

The article develops a method for describing the movement of automatic robot devices. For this purpose, the apparatus of the theory of formal grammars is used. It is shown that the change in the robot's position from the initial position to the final one can be represented by a chain of the CS grammar language. Nonterminal symbols are introduced and grammar output rules are developed.

I.B. Ginzburg, Yu.N. Kondrashov, D.A. Makarov
LEARNING PYTHON LIBRARIES FOR MACHINE
LEARNING IN THE JUPYTERLAB ENVIRONMENT

Keywords: distance learning, laboratory workshop, distance learning problems, Python, Project Jupyter, machine learning. The article deals with the tasks of distance learning during laboratory and practical classes on the use of the Python programming language for machine learning and results' processing. A solution is proposed for providing distance learning using a web application and software modules for machine learning installed on the server. This allows you to conduct classes without additional software, except for a standard web browser, on the client side, as well as using specialized equipment on the server.

E.V. Gusev
ALGORITHMS FOR OPTIMIZING THE SEQUENCE OF
CHECKING COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS WITH A
LIMITED RECOVERY TIME

Keywords: reliability, recovery time, failure rate, recovery rate, optimization method. The aim of the work is to develop algorithms for optimizing the sequence of checks for complex systems with limited recovery

последовательности проверок сложных систем с ограниченным временем восстановления. При проведении практических расчетов на стадии проектирования сложных технических систем или в процессе эксплуатации часто требуется решать задачу определения оптимального порядка проведения проверки элементов системы на исправность или работоспособность в условиях ограниченного времени восстановления. При восстановлении сложной технической системы часто возникает задача обнаружения неисправного или отказавшего элемента в течение ограниченного времени. Поскольку надежность элементов и продолжительность проведения их проверки неодинаковы, то вероятность выявления неисправного или отказавшего элемента в заданное время существенно зависит от выбранного порядка проверки элементов и узлов сложной технической системы.

А.С. Дулесов, Н.В. Дулесова, Н.С. Федоренко
ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭНТРОПИИ А. ХИНЧИНА
В АНАЛИЗЕ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
Ключевые слова: электрическая сеть; неопределенность информации; энтропия; структурная надежность; анализ надежности.

В работе предложен подход к анализу структурной надежности технических систем, базирующийся на теориях вероятностей и информации с учетом применения основополагающих методик К. Шеннона и А. Хинчина. Предлагаемый подход получил свое применение в качестве меры неопределенности информации (энтропии) для анализа структурной надежности распределительной электрической сети, когда требуется оценить её состояние, рассматривая различного рода события случайного характера. Предложенные в работе актуализированные и скорректированные под данную задачу основополагающие вычислительные процедуры, базируются на теоретических выкладках, представленных в работе А. Хинчина. Обоснована потребность в дополнительной разработке методов анализа надежности при проектировании и эксплуатации сетей, когда необходимо учесть разнообразие состояний элементов и выбрать эффективную структуру сети. Рассматривая важность измерения неопределенности информации в процессе анализа, подтверждается значимость вычисления энтропии состояний элементов и сети в целом. Понятийный аппарат вычисления энтропии включает в себя математическую процедуру, когда в качестве показателя надежности принята безотказность, а результатом обработки – вероятность безотказной работы и вероятность возникновения отказа элемента сети. Предлагаемые вычисления справедливы для рассмотрения как двух независимо функционирующих элемента сети, так и последовательно соединенных между собой, каждый элемент при этом может с определенной долей вероятности находиться в одном из двух состояний: работоспособное и неработоспособное. Для более полной картины восприятия предлагаемых решений даны примеры расчета.

Д.Ю. Евсюков, А.В. Ломазов, В.А. Ломазов,
А.А. Боровская, И.В. Мирошниченко
НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАДРОВОЙ
ПОТРЕБНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
Ключевые слова: инновационное предприятие, кадровое обеспечение, прогнозирование, нейро-нечеткая модель.

Статья посвящена проблеме информационной поддержки управления развитием кадрового потенциала предприятия в условиях инновационной экономики. На основе построенной онтологии предметной области предложено (применительно к задачам краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования) формализованное представление кадровой потребности и влияющих на нее факторов в виде лингвистических переменных Заде, связанных нечеткими продукционными правилами. Разработана нейро-нечеткая

time. When carrying out practical calculations at the design stage of complex technical systems or during operation, it is often necessary to solve the problem of determining the optimal procedure for checking system elements for serviceability or operability under conditions of limited recovery time. When restoring a complex technical system, the problem often arises of detecting a faulty or failed element within a limited time. Since the reliability of the elements and the duration of their verification are not the same, the probability of detecting a faulty or failed element at a given time depends significantly on the chosen procedure for checking the elements and components of a complex technical system.

A.S. Dulesov, N.V. Dulesova, N.S. Fedorenko
APPLIED SIGNIFICANCE OF A. HINCHIN ENTROPY IN
STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF
ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS
Keywords: electric grid; information uncertainty;
entropy; structural reliability; reliability analysis.

The paper proposes an approach to analysing the structural reliability of technical systems based on the theories of probability and information, taking into account the application of the fundamental methods of C. Shannon and A. Khinchin. The proposed approach is used as a measure of information uncertainty (entropy) to analyse the structural reliability of an electrical distribution network when it is necessary to assess its condition by considering various kinds of random events. The basic computational procedures proposed in this paper, updated and adjusted for this problem, are based on theoretical calculations presented in the work of A. Khinchin. The need for additional development of methods for reliability analysis in the design and operation of networks, when it is necessary to take into account the variety of states of elements and choose an effective network structure, is justified. Considering the importance of measuring the uncertainty of information in the process of analysis, the significance of calculating the entropy of the states of elements and the network as a whole is confirmed. The conceptual apparatus of entropy calculation includes a mathematical procedure when failure-free operation is taken as an indicator of reliability, and the result of processing is the probability of failure-free operation and the probability of failure of a network element. The proposed calculations are valid for considering both two independently functioning network elements and those connected in series, each element being in one of two states with a certain probability: operable and inoperable. For a better understanding of the proposed solutions, calculation examples are given.

D.Yu. Evsyukov, V.A. Lomazov, A.V. Lomazov,
A.A. Borovskaya, I.V. Miroshnichenko
NEURO-FUZZY PREDICTION OF STAFF NEEDS
OF INNOVATIVE ENTERPRISE
Keywords: innovative enterprise,
staffing, forecasting, neuro-fuzzy model.

The article is devoted to the problem of information support for managing the development of the personnel potential of an enterprise in an innovative economy. On the basis of the constructed ontology of the subject area, a formalized representation of the staffing needs and the factors influencing it in the form of Zadeh's linguistic variables, linked by fuzzy production rules, is proposed (in relation to the tasks of short-term, medium-term and long-term forecasting). A neuro-fuzzy model has been developed that allows, based on the results of

модель, позволяющая по результатам экспертной оценки факторов определить прогнозируемое число требуемых специалистов различного профиля и квалификации.

А.И. Егунова, А.А. Сайгин

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: реконструкция аудиозаписей, нейронные сети, метрики качества звука, датасет, глубокое обучение, частотные характеристики сигналов.

В статье представлена методика реконструкции звука для восстановления исходных сигналов с помощью нейронных сетей. На основе анализа качественных характеристик восстановления сигнала выполнен подбор подходящей модели нейронной сети, обеспечивающий наилучший результат на основе PESQ и STOI метрик. Определены характеристики формирования датасетов глубокого обучения нейросетей.

А.Л. Золкин, Т.Г. Айгунов, К.А. Наминова, С.А. Жильцов ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В БЕСПИЛОТНОМ ТРАНСПОРТЕ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И СРЕДСТВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Ключевые слова: оптимизация технологического процесса, электродвигатель, температурный режим, модели обучения и управления, нечеткое управление, модель градиентного спуска. Данная статья посвящена разработке и исследованию модели управления электродвигателем в беспилотном транспорте с целью оптимизации его энергоэффективности и предотвращения перегрева. Авторами поднимается проблемно-ориентированная сторона разработки систем управления электродвигателями и их важное практическое значение. Объектом исследования является модель работы электродвигателя, испытываемого на беспилотном транспортном средстве. В первой части работы разработана математическая модель управления, учитывающая взаимосвязь тока, напряжения и скорости вращения двигателя. Затем предложена модель обучения с подкреплением, позволяющая учитывать время работы двигателя и другие важные параметры для оптимизации расхода электричества. Модель реализована в виде скрипта на языке программирования Python, с использованием различных библиотек для математических расчетов и визуализации данных. Для режима запуска двигателя внедрен алгоритм нечеткого управления, что позволяет улучшить стартовые характеристики и существенным образом снизить энергопотребление. Для сравнения значений тока и напряжений в цепи был добавлен метод сравнения, позволяющий определить эффективность работы системы. Для оптимизации работы электродвигателя по температурному режиму разработана математическая модель управления перегревом, которая позволяет автоматически регулировать скорость охлаждения в зависимости от температуры двигателя. Модель проанализирована с использованием реальных значений температуры, времени и скорости охлаждения, и показала высокую эффективность в сравнении с классической схемой управления. Метод градиентного спуска использован для оптимизации модели обучения, что повысило точность и скорость алгоритма. Проводится краткая визуализация результатов применения оптимизационной составляющей, обозначается ее положительный эффект. Разработанная модель управления электродвигателем представляет собой комплексную систему, которая учитывает множество факторов для достижения оптимальной энергоэффективности и предотвращения перегрева двигателя. Её применение в беспилотных транспортных средствах может значительно повысить их производительность и надежность. Подразумевается практическое внедрение данного модуля в контроллер управления электродвигателя исследуемого типа.

an expert assessment of factors, to determine the predicted number of required specialists of various profiles and qualifications.

A.I. Egunova, A.A. Saigin

RECOVERY OF AUDIO SIGNALS USING RECURRENT NEURAL NETWORKS

Keywords: reconstruction of audio recordings, neural networks, sound quality metrics, dataset, deep learning, frequency characteristics of signals.

The article presents a sound reconstruction technique for restoring original signals using neural networks. Based on the analysis of the qualitative characteristics of signal restoration, a suitable neural network model was selected, providing the best result based on PESQ and STOI metrics. The characteristics of the formation of deep learning neural network datasets are determined.

A.L. Zolkin, T.G. Aigumov, K.A. Naminova, S.A. Zhiltsov AUTOMATED VEHICLE MOTOR OPTIMIZATION: IMPROVING EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY WITH AI-BASED THERMAL MANAGEMENT

Keywords: technological process optimization, electric motor, temperature regime, learning and control models, fuzzy control, gradient descent model.

This article is devoted to the development and research of an electric motor control model in unmanned vehicles in order to optimize its energy efficiency and prevent overheating. The authors raise the problem-oriented side of the development of control systems for electric motors and their important practical significance. The object of the study is a model of the operation of an electric motor tested on a passenger unmanned vehicle. In the first part of the work, a mathematical control model was developed that takes into account the relationship between current, voltage and motor speed. Then a reinforcement learning model was added to take into account the engine running time and other important parameters to optimize electricity consumption. The model was implemented as a script in the Python programming language, using various libraries for mathematical calculations and data visualization. For the engine start mode, a fuzzy control algorithm was introduced, which makes it possible to improve starting characteristics and significantly reduce energy consumption. To compare current and voltage values in a circuit, a comparison method has been added to determine the efficiency of the system. To optimize the operation of the electric motor in terms of temperature conditions, a mathematical model for controlling overheating was developed, which allows you to automatically adjust the cooling rate depending on the temperature of the engine. The model was analyzed using real values of temperature, time and cooling rate, and showed high efficiency in comparison with the classical control scheme. The gradient descent method was used to optimize the learning model, which increased the accuracy and speed of the algorithm. A brief visualization of the results of the application of the optimization component is carried out, its positive effect is indicated. The developed motor control model is a complex system that takes into account many factors to achieve optimal energy efficiency and prevent motor overheating. Its application in unmanned vehicles can significantly improve their performance and reliability. It implies the practical implementation of this module in the controller of the electric motor of the type under study.

А.Л. Золкин, Н.В. Левовиш, Е.А. Свердлик, В.А. Пестин
РЕАЛИЗАЦИЯ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ЛОГИСТИЧЕСКОГО
ХАБА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ
С РАЗРАБОТКОЙ АППАРАТА ЭВРИСТИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: складская логистика, автоматическое управление, теория массового обслуживания, идентификация товаров, диспетчеризация и управление технологическими процессами.

В настоящем исследовании поднимается ряд вопросов проблемно-ориентированного характера, направленных на решение специфических задач комплексного обслуживания комплексов и систем массового обслуживания, применяемых в работе автоматизированных модулей в логистических комплексах и центрах дистрибуции. Авторами акцентируются особенности реализации средств объективного контроля. В вводной части исследования кратко обозначаются существующие тенденции и особенности развития рынка складской логистики в России, обозначается их проблематика на уровне системного проектирования через акцентуацию путей развития данных систем, в частности, из-за зависимости от темпов производства автомобильных грузовых транспортных систем. Объектом настоящего исследования является подсистема управлением снабжением для проектируемого складского комплекса. Целью исследования является разработка модели прототипа системы управления обслуживанием логистического хаба грузовых автомобильных средств с разработкой аппарата эвристических методов управления, основанной на создании средств обработки операций: создание учетно-хронологической (временной) матрицы признаков сходимости (расходимости) функционально значимых элементов объекта внедрения. Авторами рассматриваются математические аспекты разработки матрицы признаков, обозначается ее важное функциональное значение. Формализуется каскадная модель обслуживания заявок на получение технического задания по распределению или хранению номенклатуры товаров. Приводятся предложения по реализации конечного звена системы обслуживания, построенной на принципах радиочастотной идентификации, шифрования и средств деактивации меток с фиксацией во временные матрицы данных необходимой для непараметрического анализа информации с возможностью последующей обработки в форме статистических данных, необходимых для отработки оптимальных стратегий хранения товаров. Разработанная методология является инклюзивной, а рассмотренная модель обслуживания учитывает временно-пространственную характеристику среды хранения товаров и расположения объектов через оценку амбивалентного параметра непараметрического содержания КРП через документально-отчетную модель транзакционного содержания, которая была успешно протестирована средствами управления проектируемой информационно-аналитической среды.

А.Л. Золкин, Е.В. Ломакина, В.А. Сенков, В.Е. Ожиганов
СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭКВАЙРИНГОМ
ГИПЕРМАРКЕТА НА ОСНОВЕ ХЭШ-НЕЧЕТКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНЗАКЦИЙ И КВАНТОВОЙ
АУТЕНТИФИКАЦИИ

Ключевые слова: эквайринг, хэш-нечеткое регулирование, обработка транзакций, квантовая аутентификация, оптимизация обслуживания.

В настоящем исследовании авторами рассматриваются вопросы создания системы обслуживания эквайрингом гипермаркета на основе хэш-нечеткого регулирования транзакций. Предлагается комплексный подход, который объединяет методы хэширования, нечеткой логики и квантовых алгоритмов для обеспечения безопасности, эффективности и оптимизации обработки платежей. В работе

A.L. Zolkin, N.V. Levoshich, E.A. Sverdlikova, V.A. Pestin
IMPLEMENTATION AND DEPLOYMENT
OF A MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM
FOR A LOGISTICS HUB OF TRUCKS WITH
THE DEVELOPMENT OF HEURISTIC
MANAGEMENT METHODS

Keywords: warehouse logistics, automatic control, queuing theory, product identification, dispatch and process control.

This study raises a number of issues of a problem-oriented nature aimed at solving specific problems of complex maintenance of complexes and queuing systems used in the operation of automated modules in logistics complexes and distribution centers. The authors emphasize the features of the implementation of the means of objective control. The introductory part of the study briefly outlines the existing trends and features of the development of the warehouse logistics market in Russia, identifies their problems at the level of system design by emphasizing the ways of development of these systems, in particular, due to the dependence on the rate of production of automobile freight transport systems. The object of this study is the supply management subsystem for the warehouse complex being designed. The aim of the study is to develop a prototype model of the maintenance management system for the logistics hub of trucks with the development of an apparatus of heuristic management methods based on the creation of transaction processing tools: the creation of an accounting-chronological (temporal) matrix of signs of convergence (divergence) of functionally significant elements of the object of implementation. The authors consider the mathematical aspects of developing a feature matrix and outline its important functional significance. A cascade model for servicing requests for technical specifications for the distribution or storage of a range of goods is formalized. Proposals are given for the implementation of the final link of a service system built on the principles of radio frequency identification, encryption and means of deactivating tags with recording in temporary data matrices the information necessary for non-parametric analysis with the possibility of subsequent processing in the form of statistical data necessary for developing optimal strategies for storing goods. The developed methodology is inclusive, and the considered service model takes into account the temporal-spatial characteristics of the environment for storing goods and the location of objects through the assessment of the ambivalent parameter of the non-parametric content of KPI through a documentary-reporting model of transactional content, which was successfully tested by the management tools of the designed information and analytical environment.

A.L. Zolkin, E.V. Lomakina, V.A. Senkov, V.E. Ozhiganov
CREATION OF A HYPERMARKET ACQUIRING
SERVICE SYSTEM BASED ON HASH-FUZZY
TRANSACTION REGULATION

Keywords: acquiring, fuzzy hash regulation, transaction processing, quantum authentication, service optimization.

This study explores the development of a hypermarket acquiring system based on fuzzy hash regulation of transactions. It presents a comprehensive approach that combines hashing methods, fuzzy logic, and quantum algorithms to ensure security, efficiency, and optimization of payment processing. The article develops a system architecture defining the main components and their interactions. The transaction hash regulation module plays a central role by defining processing rules based on hash functions and fuzzy

разрабатывается архитектура системы, определяющая основные компоненты и их взаимодействие. Модуль хэши-нечеткого регулирования транзакций играет центральную роль, определяя правила обработки на основе хэши-функций и нечеткой логики. Также рассматривается внедрение квантовых алгоритмов, которые способны оптимизировать различные задачи обработки платежей, включая аутентификацию, поиск оптимальных маршрутов и обнаружение мошеннических операций. Представленная система обладает рядом преимуществ. Она обеспечивает высокий уровень безопасности платежных транзакций, благодаря использованию хэши-функций и проверке аутентичности. Кроме того, система эффективна и масштабируема, позволяя обрабатывать большие объемы транзакций с минимальными задержками. Интеграция квантовых алгоритмов позволяет оптимизировать процессы обработки и повысить эффективность системы. Разработанная модель имеет важное значение для развития систем обслуживания эквайрингом и обработки платежей. Авторами рассматриваются новые методы регулирования транзакций, объединяющие различные технологии и подходы. Это открывает перспективы для создания безопасных, эффективных и инновационных платежных систем в гипермаркетах и розничных сетях. Дальнейшее исследование и внедрение предложенной системы может способствовать совершенствованию процессов обработки платежей и повышению удовлетворенности клиентов. В дополнение к этому, в статье представлены исследования в области квантовой аутентификации. Разработана модель квантовой аутентификации платежных транзакций, основанная на протоколе квантового распределения ключей (QKD). Эта модель обеспечивает дополнительный уровень безопасности и защиты от мошеннических операций. В заключение, предложенная система обслуживания эквайрингом на основе хэши-нечеткого регулирования и квантовой аутентификации представляет собой качественно новое решение для обработки платежей в гипермаркетах. Она позволяет обеспечить высокую эффективность, безопасность и оптимальное обслуживание клиентов, что делает ее привлекательным выбором для современных розничных сетей и гипермаркетов.

Е.А. Муравьева, А.Д. Гайдукова
РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КОЛОННЫ РЕКТИФИКАЦИИ ИЗОПЕНТАН -
ИЗОАМИЛЕНОВОЙ ФРАКЦИИ

Ключевые слова: ректификация, изопентан –
изоамиленовая фракция, параметр, разработка, нейронная
сеть, построение, обучение.

В данной статье представлена разработка нейросетевой системы управления ректификационной колонной для разделения изопентан - изоамиленовой фракции с целью повышения эффективности управления технологическими процессами ректификации с использованием интеллектуальных технологий. Обоснована целесообразность использования для управления параметрами колонны интеллектуальных технологий путем применения нейросетевого регулятора. Обработка результатов исследований производилась с применением программного обеспечения «MatLab».

Нгуен Тхи Тху, Р.С. Зарипова, Нгуен Фук Хау
BIG DATA: ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ
НА ПРАКТИКЕ

Ключевые слова: большие данные, применение больших данных,
цифровая трансформация, цифровые технологии.

В эпоху цифровой трансформации многие предприятия независимо от отраслевой принадлежности сосредотачиваются на применении больших данных как для развития, так и для ведения бизнеса, тем самым добиваясь впечатляющих результатов, преобразований, повышения эффективности, производительности и конкурентного преимущества. Статья посвящена большим данным. В ней приводятся примеры применения анализа больших данных в различных областях.

logic. The integration of quantum algorithms is also considered to optimize various payment processing tasks, including authentication, optimal routing, and fraud detection. The presented system offers several advantages. It provides a high level of payment transaction security through the use of hash functions and authentication verification. Additionally, the system is efficient and scalable, capable of processing large transaction volumes with minimal delays. The integration of quantum algorithms enables process optimization and enhances system efficiency. The developed model holds significant value for the advancement of acquiring and payment processing systems. It introduces novel transaction regulation methods that combine different technologies and approaches. This opens up prospects for creating secure, efficient, and innovative payment systems in hypermarkets and retail networks. Further research and implementation of the proposed system can contribute to enhancing payment processing and improving customer satisfaction. Furthermore, the article presents research in the field of quantum authentication. A model for quantum authentication of payment transactions based on quantum key distribution (QKD) protocol is developed. This model provides an additional level of security and protection against fraudulent operations. In conclusion, the proposed hypermarket acquiring system based on fuzzy hash regulation and quantum authentication represents a qualitatively new solution for payment processing in hypermarkets. It ensures high efficiency, security, and optimal customer service, making it an attractive choice for modern retail networks and hypermarkets.

E.A. Muravyova, A.D. Gaydukova
DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK CONTROL
SYSTEM FOR THE RECTIFICATION COLUMN OF
ISOPENTANE - ISOAMYLENE FRACTION

Keywords: rectification, isopentane - isoamylene fraction,
parameter, development, neural network, modeling, training.
This article presents the development of a neural network control system for a rectification column designed to separate the isopentane - isoamylene fraction, aiming to enhance the efficiency of rectification process control using intelligent technologies. The feasibility of using intelligent technologies for column parameter control through the application of a neural network controller is justified. The research results were processed using "MatLab" software.

Nguyen Thi Thu, R.S. Zaripova, Nguyen Phuc Hau
BIG DATA: PUTTING BIG DATA INTO PRACTICE

Keywords: big data, big data application, digital
transformation, digital technologies.

In the era of digital transformation, many enterprises, regardless of industry, are focusing on applying big data for both development and business operations, thereby achieving impressive results, transformation, efficiency, productivity and competitive advantage. This article focuses on big data. It provides examples of applications of big data analysis in various fields.

Г.В. Соколов, С.А. Нелюб

ПРИМЕНЕНИЕ ПАК ППИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИИ

Ключевые слова: Платформа прикладного искусственного интеллекта, ПАК ППИИ, СХД БАУМ, пилотное внедрение, искусственный интеллект, обучение на платформе ИИ.

В статье приводится техническое описание программно-аппаратной платформы для прикладного применения искусственного интеллекта включая обработку больших/сверх больших данных и многофакторную проверку гипотез (далее - ПАК ППИИ). Описывается потенциальное прикладное применение искусственного интеллекта на ПАК ППИИ на конкретных кейсах. Приводятся примеры пилотного внедрения ПАК ППИИ.

Л.Ф. Тагирова, Е.Н. Чернопрудова, Н.А. Тишина

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИЛОЖЕНИЙ

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронные сети, распознавание лиц, искусственная сверточная нейронная сеть. В последние годы искусственные нейронные сети (ИНС) обрели большую популярность в различных областях машинного обучения, таких как анализ больших массивов данных, анализ фотографий, видеозаписей и других. Они способны обучаться и анализировать большие и сложные наборы данных, которые с помощью более линейных алгоритмов обработать крайне сложно.

В статье представлено применение искусственных нейронных сетей для распознавания лиц пользователей прикладных программ с целью определения их отличительных характеристик (возраста и пола), а также их эмоционального состояния. В ходе проведенного исследования было разработано программное средство, в котором использовалась искусственная сверточная нейронная сеть, реализованная в виде библиотеки Deepface языка Python.

Е.Н. Чернопрудова, Н.А. Тишина, В.Р. Бадиков
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА
НА ОСНОВЕ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА

Ключевые слова: тональность текста, векторное представление текста, метод градиентного бустинга.

В работе представлены результаты сравнительного анализа моделей представления текста, интегрированного с методом градиентного бустинга, в задаче определения тональности текста. дается краткое описание проблем анализа тональности. В статье рассматривается метод XGBoost состоящий из последовательного построения базовых классификаторов.

Х.А. Шамасна, А.В. Семашко
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АГРЕГАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ
ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПТИЦЕФАБРИКЕ

Ключевые слова: мониторинг, принятие решений, агрегирование и визуализация данных, большие данные (БД), лингвистический OWA-оператор, (LOWA-оператор), интернет вещей (IOT).

Цель статьи - разработка процедуры сбора, обработки и визуализации данных, собранных с разных датчиков на сложных технологических объектах управления умными птицефабриками, отличающейся от прочих использованием многомерной модели данных (OLAP) и лингвистического оператора LOWA, что позволяет проводить анализ сложных данных весовым методом и ускорять процесс обработки данных с последующим наглядным представлением информации.

G.V. Sokolov, S.A. Nelyub

COMPUTER APPLIANCE FOR AI PRACTICAL TASKS

Keywords: AI platform, AI, pilot implementation, BAUM STORAGE, training on AI platform.

The article discusses the soft- and hardware platform for AI appliances including processing of a super big and multivariate hypothesis testing. Detailed attention is paid to the potential AI usage in specific use cases. Example of a platform application is given.

L.F. Tagirova, E.N. Chernoprudova, N.A. Tishina
APPLICATION OF ARTIFICIAL CONVOLUTIONAL
NEURAL NETWORKS TO DETERMINE DISTINCTIVE
CHARACTERISTICS OF APPLICATION USERS

Keywords: artificial intelligence, neural networks, face recognition, artificial convolutional neural network.

In recent years, artificial neural networks (INNs) have gained great popularity in various areas of machine learning, such as analysis of large amounts of data, analysis of photographs, video recordings and others. They are able to train and analyze large and complex data sets, which are extremely difficult to process using more linear algorithms.

The article presents the use of artificial neural networks for recognizing the faces of users of application programs in order to determine their distinctive characteristics (age and sex), as well as their emotional state. In the course of the study, a software tool was developed that used an artificial convolutional neural network implemented in the form of the Python Deepface library.

E.N. Chernoprudova, N.A. Tishina, B.R. Badikov
METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TONALITY
OF THE TEXT BASED ON GRADIENT BOOSTING
RESEARCH SOLUTIONS SELF-

Keywords: sentiment analysis,

text vector representation, gradient boosting method

The paper presents the results of a comparative analysis of text representation models integrated with the gradient boosting method in the problem of determining the text sentiment. a brief description of the problems of sentiment analysis is given. The article discusses the XGBoost method consisting of the sequential construction of base classifiers

H.A. Shamsana, A.V. Semashko
DEVELOPMENT OF A DATA AGGREGATION
AND VISUALIZATION SYSTEM IN AN INTELLIGENT
POULTRY FARM

Keywords: monitoring, decision-making, data aggregation and visualization, big data (DB), linguistic OWA operator. Internet of Things (IOT).

The article aims to Developing a procedure for collecting, processing, and visualizing data gathered from various sensors in complex technological objects, involves the utilization of a multidimensional data model (OLAP) and the linguistic operator LOWA. This approach enables the analysis of complex data through a weighted methods and accelerate the data processing process, culminating in a clear representation of information.

У.А. Айметдинова, Д.А. Веденькин, Али Аль-Муфти,
Рус.Ш. Мисбахов, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, А.А. Кузнецов
АНАЛИЗ МЕТОДА ДВУХЧАСТОТНОЙ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ
КАНАЛОВ СВЯЗИ ТРАНСПОРТНОГО ДОМЕНА
СЕТЕЙ 5G/6G

Ключевые слова: мобильные сети 5G/6G; сеть доступа;
инициализация канала связи; двухчастотный метод; тандемная
амплитудно-фазовая модуляция; анализ преимуществ и
недостатков.

Требования к параметрам транспортных доменов сетей доступа в линиях связи 5G/6G является одной из основных движущих сил развития новых стандартов пассивных оптических сетей (PON). Среди возможных технологий мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM) является наиболее подходящим для удовлетворения строгих требований к производительности указанных доменов. Однако для снижения затрат на внедрение и эксплуатацию WDM-PON одним из основных вопросов является наличие одночастотных бесцветных оптических источников, в которых одно и то же оптическое оборудование может использоваться для генерации любой длины волны, необходимой в сети. Чтобы оценить возможность удовлетворения этих потребности, в этой статье мы анализируем метод двухчастотной инициализации имеющей преимущества перед одночастотной, основанный на тандемной амплитудно-фазовой модуляции несущей, генерируемой недавно продемонстрированными настраиваемыми лазерами VCSEL как для нисходящего, так и восходящего каналов сетей доступа. Полученные результаты демонстрируют, что для подтверждения момента настройки на центральную длину волны канала известный двухчастотный метод инициализации требует измерения фазы сигнала инициализации, а, следовательно, имеет ограниченное применение.

А.Н. Афонин, Каунг Мьят Хту, В.И. Федоров, А.В. Коськин
ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР С
РЕГУЛИРУЕМЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ

Ключевые слова: Линейный электрический генератор,
регулируемый воздушный зазор, система управления.

В работе предложена конструкция линейного электрического генератора с регулируемым воздушным зазором, позволяющая управлять величиной генерируемой мощности в процессе работы. Получены зависимости характеризующие влияние величины воздушного зазора на характеристики генератора позволяющие задавать закон управления им.

Д.И. Березин, М.А. Бобров
КОСВЕННЫЙ РАСЧЕТ ДИАМЕТРА КАТУШКИ С ЛЕНТОЙ
НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЯХ ПО НАЛОЖЕНИЮ
ИЗОЛЯЦИИ И БРОНИРОВАНИЯ КАБЕЛЯ

Ключевые слова: Косвенный расчет, диаметр катушки,
TIAPortal, автоматизированная система управления
технологическими процессами.

В настоящее время на производственных линиях по наложению изоляции и бронированию кабеля существует проблема по регулированию натяжения ленты в зависимости от диаметра катушки. При постоянном недостаточном натяжении, лента будет наложена не плотно, в обратном случае, возможны постоянные обрывы. В статье представлен пример косвенного расчета диаметра катушки для изолировочно-бронирующей машины с использованием программного комплекса TIAPortal.

К.Э. Булдакова, П.Е. Денисенко, Али Аль-Муфти,
Рус.Ш. Мисбахов, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, А.А. Кузнецов
АНАЛИЗ МЕТОДА ТРЕХЧАСТОТНОЙ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ
КАНАЛОВ СВЯЗИ ТРАНСПОРТНОГО ДОМЕНА СЕТЕЙ
WIFI6/7

Ключевые слова: сети WIFI6/7; сеть доступа; инициализация
канала связи; трехчастотный метод; тандемная амплитудно-
фазовая модуляция; анализ преимуществ и недостатков.

U.A. Aymetdinova, D.A. Vedenkin, Ali Al-Mufti,
Rus.Sh. Misbakhov, O.G. Morozov, G.A. Morozov,
A.A. Kuznetsov

ANALYSIS OF THE DUAL-FREQUENCY
INITIALIZATION METHOD FOR COMMUNICATION
CHANNELS OF THE 5G/6G NETWORKS TRANSPORT
DOMAIN

Keywords: 5G/6G mobile networks; access network;
initialization of the communication channel; dual frequency
method; tandem amplitude-phase modulation; analysis of
advantages and disadvantages.

Requirements for the parameters of transport domains of access networks in 5G/6G communication lines are one of the main driving forces for the development of new passive optical network (PON) standards. Among the possible technologies, wavelength division multiplexing (WDM) is the most suitable to meet the stringent performance requirements of these domains. However, to reduce the implementation and operation costs of WDM-PON, one of the key issues is the availability of one frequency colorless optical sources, in which the same optical equipment can be used to generate any wavelength needed in the network. To evaluate the feasibility of meeting these needs, in this paper we analyze a dual-frequency initialization method superior to single-frequency initialization based on tandem carrier amplitude-phase modulation generated by recently demonstrated tunable VCSEL lasers for both downlink and uplink access networks. The results obtained demonstrate that to confirm the moment of tuning to the central wavelength of the channel, the known dual-frequency initialization method requires measuring the phase of the initialization signal, and, therefore, has limited application.

A.N. Afonin, Kaung Myat Htu, V.I. Fedorov, A.V. Koskin
LINEAR ELECTRIC GENERATOR
WITH ADJUSTABLE AIR GAP

Keywords: Linear electric generator, adjustable air gap,
control system.

The paper proposes the design of a linear electric generator with an adjustable air gap, which allows you to control the amount of generated power during operation. Dependences are obtained that characterize the influence of the air gap on the characteristics of the generator, allowing you to set the law of its control.

D.I. Berezin, M.A. Bobrov
INDIRECT CALCULATION OF THE DIAMETER
OF A COIL WITH A TAPE ON PRODUCTION LINES
FOR THE IMPOSITION OF INSULATION AND CABLE
RESERVATION

Keywords: indirect calculation, coil diameter, TIAPortal,
automated process control system.

Currently, there is a problem in the production lines for insulation and cable booking to regulate the tension of the tape depending on the diameter of the coil. With constant insufficient tension, the tape will be applied loosely; otherwise, permanent breaks are possible. The article presents an example of an indirect calculation of the coil diameter for an insulating-armoring machine using the TIAPortal software package.

K.E. Buldakova, P.E. Denisenko, Ali Al-Mufti,
Rus.Sh. Misbakhov, O.G. Morozov, G.A. Morozov,
A.A. Kuznetsov

ANALYSIS OF THREE-FREQUENCY METHOD FOR
INITIALIZATION OF WIFI6/7 NETWORKS TRANSPORT
DOMAIN COMMUNICATION CHANNELS

Keywords: WIFI6/7 networks; access network;
initialization of the communication channel; three-frequency

Системы связи на базе WIFI6/7, конкурирующие с системами мобильной связи 5/6G, являются многообещающим решением для задач обеспечения растущей нагрузки на абонентскую сеть. Кроме того, предусмотренное огромное количество сценариев развертывания и вариантов использования, которые будут поддерживаться, обуславливает требования к высокой пропускной способности и низкой задержке для сетей WIFI6/7. Подход с использованием волоконных и беспроводных транспортных доменов может эффективно обеспечить соответствующее сверхплотное развертывание. Однако этот же подход налагает строгие требования относительно пропускной способности и настройки оптической сети на канал. В этой статье мы будем анализировать преимущества и недостатки трехчастотного метода инициализации центральной длины волны каналов связи транспортных доменов, построенных на основе NGPON2, фотонных интегральных схем для формирования трехчастотных излучения и сверхплотное волновое мультиплексирование (UDWDM), как исходные данные анализа. На основе этих технологий предлагаемые архитектуры способны снизить связанные с этим потери в системе, а также помочь увеличить бюджет мощности системы, снизить нагрузку на сетевые элементы. Основной задачей остается выбор метода инициализации каналов.

Г.А. Гареева, Н.И. Киимова,
О.Ю. Герасимова, З.М. Филатова, А.Р. Шакиров
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОКУМЕНТООБОРОТА
В МЕДИЦИНСКОМ УЧРЕЖДЕНИИ

Ключевые слова: документооборот,
1С, база данных, обработка информации.

В данной статье описывается разработка компонентов информационной системы для регистрации и обработки медицинских данных, для автоматизации работы специалистов, занимающихся оформлением первичной документации, которая позволит уменьшить количество возможных ошибок, хранить результаты прохождения обследования в электронном виде, проводить аналитику истории проведения медосмотров. В качестве среды разработки выбрана платформа 1С: Предприятие 8.3.

С.И. Куприянов, И.А. Радченко
О ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПАРАДИГМЫ MLOPS

Ключевые слова: машинное обучение, жизненный цикл MLOps,
платформы MLOps.

В данной статье авторы представляют обзор проблематики внедрения проектов с применением машинного обучения в производственную среду, а также детализируют основные процессы, лежащие в основе методологии MLOps. Дополнительно анализируются некоторые подходы к созданию интеллектуальных систем в рамках парадигмы MLOps. Приводится обобщенная архитектурная схема системы, ориентированной на применение MLOps. Основные компоненты такой системы включают управление жизненным циклом модели машинного обучения с автоматизацией процессов переобучения, непрерывное обновление моделей машинного обучения, контроль качества, отладка и доставка моделей в продуктивный контур. Статья также включает обзор ключевых открытых платформ, реализующих MLOps, с акцентом на платформе MLFlow.

В.И. Курир
МИКРО- И МИНИ-ГЭС НА ОСНОВЕ ГИДРОТУРБИННЫХ
БЛОКОВ HYDROMATRIX И STRAFLOMATRIX

Ключевые слова: погружные капсульные гидрогенераторы,
мини-ГЭС.

В статье рассмотрен вопрос использования элементов малой гидроэнергетики в пределах промышленного города и его окрестности. Представлены варианты мини-ГЭС в виде

method; tandem amplitude-phase modulation; analysis of advantages and disadvantages.

WIFI6/7-based communication systems, competing with 5/6G mobile communication systems, are a promising solution to meet the growing load on the subscriber network. Additionally, the sheer number of deployment scenarios and use cases that will be supported drives the high throughput and low latency requirements for WIFI6/7 networks. The fiber and wireless transport domain approach can effectively achieve the corresponding ultra-dense deployment. However, this same approach imposes strict requirements regarding the bandwidth and optical network configuration per channel. In this article, we will analyze the advantages and disadvantages of the three-frequency center wavelength initialization method of transport domain communication channels built on NGPON2, PIC for generating three-frequency radiation, and UDWDM as the analysis inputs. Based on these technologies, the proposed architectures can reduce the associated losses in the system, as well as help to increase the system power budget and reduce the load on network elements. The main task is the choice of channel initialization method.

G.A. Gareeva, N.I. Kiamova,
O.Yu. Gerasimova, Z.M. Filatova, A.R. Shakirov
OPTIMIZATION OF THE DOCUMENT MANAGEMENT
PROCESS IN A MEDICAL INSTITUTION

Keywords: document management,
1C, database, information processing.

This article describes the development of information system components for registration and processing of medical data, to automate the work of specialists involved in the execution of primary documentation, which will reduce the number of possible errors, store the results of examination in electronic form, analyze the history of medical examinations. The 1C: Enterprise 8.3 platform was chosen as the development environment.

S.I. Kupriyanov, I.A. Radchenko
ON AN APPROACH TO BUILDING INTELLIGENT
SYSTEMS BASED ON THE MLOPS PARADIGM

Keywords: machine learning,
MLOps lifecycle, MLOps platforms.

The authors provide a brief overview of the challenges associated with implementing machine learning projects in a production. They further elucidate the fundamental processes that underpin the MLOps methodology. Additionally, various approaches to developing intelligent systems within the MLOps paradigm are analyzed. A generalized architectural diagram of an MLOps-oriented system is presented. The primary components of such a system encompass the management of the machine learning model lifecycle, emphasizing automated overtraining processes, continuous updating of machine learning models, quality control, debugging, and the deployment of models into the production loop. The paper also offers a review of key open-source platforms that implement MLOps, with a particular focus on the MLFlow platform.

V.I. Kurir
MICRO- AND MINI-HYDROELECTRIC POWER PLANTS
BASED ON HYDRO-TURBINE UNITS HYDROMATRIX
AND STRAFLOMATRIX

Keywords: submersible capsule hydro generators, mini-
hydroelectric power plants.

The article considers the issue of the use of small hydropower elements within the industrial city and its surroundings.

погружных капсульных гидрогенераторов HYDROMATRIX и SrafloMatrix. Последние монтируются в проточных конструкциях (шлюзы, арки мостов, дамбы с проточной частью и т.д.) в виде ряда последовательно соединенных мини-ГЭС, либо в виде прямоугольной матрицы, в слоты которой вмонтированы указанные мини-ГЭС.

Variants of mini-hydroelectric power plants in the form of submerged capsule hydrogenerators HYDROMATRIX and SrafloMatrix are presented. The latter are mounted in flow structures (locks, arches of bridges, etc.) in the form of a series of mini-hydroelectric power plants connected together, or in the form of a rectangular matrix, in the slots of which these mini-hydroelectric power plants are mounted.

В.С. Петров, М.В. Овечкин
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: математическое моделирование, неразрушающий контроль, параметры дефектоскопа, дефекты.

В статье рассмотрено имеющееся на рынке решение, а также метод математического моделирования, в качестве вектора для развития и разработки методики автоматизированного проектирования технологического процесса контроля качества изделий из композиционных материалов на основе моделирования параметров дефектоскопического оборудования. Рассмотрены сильные и слабые стороны инструмента обучения для специалистов по неразрушающему контролю CIVIL NDT и его применение в рамках ультразвукового контроля образцов. Сделан вывод о потенциале использования математического моделирования непосредственно значений параметров дефектоскопического оборудования.

V.S. Petrov, M.V. Ovechkin
MATHEMATICAL MODELING
FOR OBTAINING VALUES OF PARAMETERS
OF FLAW DETECTION EQUIPMENT

Keyword: mathematical modeling, nondestructive testing, flaw detector parameters, defects. The article considers the solution available on the market, as well as the method of mathematical modeling, as a vector for the development and development of a methodology for computer-aided design of the technological process of quality control of products made of composite materials based on modeling the parameters of flaw detection equipment. The strengths and weaknesses of the training tool for specialists in non-destructive testing with NDT and its application in the framework of ultrasonic testing of samples are considered. The conclusion is made about the potential of using mathematical modeling directly of the values of the parameters of the flaw detection equipment.

С.В. Романов, Е.А. Басуматорова
РАСЧЕТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КУСТОВОЙ ПЛОЩАДКИ

Ключевые слова: аварийные режимы, расчет, система, электроснабжение, электрооборудование, питание, фаза, трансформатор.

В данной статье выполнен расчет токов короткого замыкания для системы электроснабжения кустовой площадки. Одной из приоритетных задач в современных реалиях российской энергетики является повышение экономической эффективности энергообъектов и энергосистемы в целом. В связи с этим прогрессивная электроэнергетика должна базироваться на современной технической базе, что, в свою очередь, требует своевременной организации и управления процессом производства и передачи электроэнергии. Кроме того, необходимо оптимизировать использование существующего оборудования и, по возможности, повысить экономическую эффективность отрасли за счет модернизации устаревшего оборудования[1]. Особое внимание также следует уделить вопросам, связанным с качеством электроэнергии и надежностью ее доставки потребителям. Основными недостатками вышеуказанного оборудования являются отсутствие запасных частей, низкая производительность и высокий уровень качества продукции, периодические простои из-за выхода из строя отдельных компонентов оборудования, высокая сложность устранения неполадок.

S.V. Romanov, E.A. Basumatorova
CALCULATION OF EMERGENCY MODES OF THE
SYSTEM POWER SUPPLY OF THE BUSH SITE

Keywords: emergency modes, calculation, system, power supply, electrical equipment, power supply, phase, transformer. In this article, the calculation of short-circuit currents for the power supply system of the bush site is performed. One of the priority tasks in the modern realities of the Russian energy sector is to increase the economic efficiency of energy facilities and the energy system as a whole. In this regard, the progressive electric power industry should be based on a modern technical base, which, in turn, requires timely organization and management of the process of production and transmission of electricity. In addition, it is necessary to optimize the use of existing equipment and, if possible, increase the economic efficiency of the industry by upgrading outdated equipment[1]. Special attention should also be paid to issues related to the quality of electricity and the reliability of its delivery to consumers. The main disadvantages of the above equipment are the lack of spare parts, low productivity and a high level of product quality, periodic downtime due to the failure of individual components of the equipment, high complexity of troubleshooting.

И.В. Савчук, Е.А. Басуматорова
АВТОМАТИЧЕСКИЙ МИКРОКЛИМАТ ПТИЧНИКА
НА МНОГОПРОФИЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ
ПРЕДПРИЯТИИ

Ключевые слова: автоматизация, микроклимат, птичник, внедрение, технология, организм, разработка, внедрение, управление.

В данной статье рассматривается разработка и внедрение автоматизированной системы управления микроклиматом птичника в многопрофильном сельскохозяйственном предприятии юга Тюменской области. В настоящее время сельскохозяйственные предприятия сталкиваются с необходимостью совершенствования своих производственных процессов с целью достижения более эффективного

I.V. Savchuk, E.A. Basumatorova
AUTOMATIC MICROCLIMATE OF A POULTRY HOUSE
AT A MULTIDISCIPLINARY AGRICULTURAL
ENTERPRISE

Keywords: automation, microclimate, poultry house, implementation, technology, organism, development, implementation, management. This article discusses the development and implementation of an automated control system for the microclimate of a poultry house in a multidisciplinary agricultural enterprise in the south of the Tyumen region. Currently, agricultural enterprises are faced with the need to improve their production processes in order to achieve more efficient functioning and increase their competitiveness in the market. In this regard, the introduction

функционирования и повышения своей конкурентоспособности на рынке. В связи с этим внедрением современных технологий и автоматизации становится все более актуальным для достижения этих целей. Одним из ключевых аспектов в сельском хозяйстве является обеспечение оптимальных условий содержания животных, особенно если речь идет о крупных птицефабриках. Микроклимат - это совокупность факторов, влияющих на состояние климата в ограниченном пространстве. Содержание и выращивание птиц в сельскохозяйственных помещениях является важным этапом в производстве сельскохозяйственной продукции. Поддержание благоприятного микроклимата в помещении с животными обеспечивает сохранность продуктов и повышение их качества. Он отличается от общего климата и представляет собой более узкомасштабные параметры, характеризующие местные условия в пределах определенного пространства.

И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай
**НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ В ЗОНЕ
БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПО
ТРАНСФОРМИРУЮЩИМСЯ РАСЧЕТНЫМ СХЕМАМ**

Ключевые слова: нелинейное деформирование, бетонные элементы конструкций, грунты, расчет по трансформирующимся расчетным схемам.

На основе непротиворечивых уравнений геометрически нелинейной теории упругости в рамках конечно-элементного подхода к описанию геометрии реализована методика решения трехмерных задач статики бетонных и железобетонных элементов конструкций. В рамках подхода, известного в литературе как расчет деформируемых конструкций по трансформирующимся расчетным схемам, развиты новые вычислительные модели деформирования пространственных элементов строительных конструкций при их взаимодействии с грунтовыми средами

И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕФОРМИРУЕМЫХ
КОНСТРУКЦИЙ И СПЛОШНЫХ СРЕД РАЗЛИЧНОЙ
ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ**

Ключевые слова: нелинейное деформирование, армированные бетонные элементы конструкций, грунты.

В рамках конечно-элементного подхода к описанию геометрии реализована методика контактного взаимодействия элементов деформируемых конструкций и грунтовых материалов сложной физической природы. Построен специальный контактный конечный элемент сплошной среды, позволяющий моделировать упругое взаимодействие двух контактирующих поверхностей, их сдвиг относительно друг друга и отрыв.

И.С. Кузнецова, Д.В. Бережной,
А.А. Саченков, Д. Ехсайем, Ф. Лаалай
**НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КОМПЕНСАЦИОННОМ
НАГНЕТАНИИ И С УЧЕТОМ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ**

Ключевые слова: нелинейное деформирование, армированные бетонные элементы конструкций, процессы трещинообразования.

На основе конечно-элементного подхода к описанию геометрии и в рамках непротиворечивых уравнений геометрически нелинейной трехмерной теории упругости на основе аналогового подхода дана постановка задачи компенсационного нагнетания. Развита методика процессов трещинообразования в элементах с предварительно напряженной полимеркомпозитной арматурой. Решена модельная задача, проведено сравнение с экспериментальными данными.

of modern technologies and automation is becoming increasingly relevant to achieve these goals. One of the key aspects in agriculture is to ensure optimal conditions for keeping animals, especially if we are talking about large poultry farms. Microclimate is a set of factors that affect the state of the climate in a limited space. Keeping and rearing birds in agricultural premises is an important stage in the production of agricultural products. Maintaining a favorable microclimate in a room with animals ensures the safety of products and improving their quality. It differs from the general climate and represents more narrow-scale parameters characterizing local conditions within a certain space.

I.S. Kuznetsova, D.V. Berezhnoi, D. Ekhsayem, F. Laalai
**NONLINEAR CALCULATION OF GROUND MASSIVES
IN THE ZONE OF CONCRETE STRUCTURAL ELEMENTS
USING TRANSFORMING CALCULATION SCHEMES**

Keywords: nonlinear deformation, concrete elements of structures, soils, calculation by transforming design schemes. On the basis of consistent equations of the geometrically nonlinear theory of elasticity within the framework of the finite element approach to the description of geometry, a technique for solving three-dimensional problems of statics of concrete and reinforced concrete structural elements is implemented. Within the framework of the approach known in the literature as the calculation of deformable structures according to transforming design schemes, new computational models of deformation of spatial elements of building structures during their interaction with soil media have been developed.

I.S. Kuznetsova, D.V. Berezhnoi, D. Ekhsayem, F. Laalai
**SIMULATION OF PROCESSES OF CONTACT
INTERACTION OF ELEMENTS OF DEFORMABLE
STRUCTURES AND CONTINUOUS MEDIA OF
DIFFERENT PHYSICAL NATURE**

Keywords: nonlinear deformation, reinforced concrete structural elements, soils.

Within the framework of the finite element approach to the description of geometry, a method of contact interaction of elements of deformable structures and soil materials of a complex physical nature is implemented. A special contact finite element of a continuous medium is constructed, which makes it possible to simulate the elastic interaction of two contacting surfaces, their displacement relative to each other and separation.

I.S. Kuznetsova, D.V. Berezhnoi, A.A. Sachenkov,
D. Ekhsayem, F. Laalai
**NONLINEAR DEFORMATION OF ELEMENTS OF
CONCRETE STRUCTURES UNDER COMPENSATORY
INJECTION AND TAKING INTO ACCOUNT CRACKING**

Keywords: nonlinear deformation, reinforced concrete structural elements, cracking processes.

On the basis of the finite element approach to the description of geometry and within the framework of consistent equations of the geometrically nonlinear three-dimensional theory of elasticity on the basis of the analog approach, the formulation of the problem of compensatory injection is given. A technique has been developed for the processes of crack formation in elements with prestressed polymer composite reinforcement. A model problem is solved, a comparison with experimental data is made.

В.Д. Петелина

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ

Ключевые слова: система дифференциальных уравнений возмущенного движения тела, регуляризирующая независимая переменная, возмущение, многочлен, приближение.

В статье рассмотрена задача получения асимптотического приближения решения возмущенной системы дифференциальных уравнений в случае, когда в уравнении «быстрых движений» при изменении параметра происходит бифуркация: два положения равновесия сливаются с последующей сменой устойчивости, изучается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

М.Р. Тихонов

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗОВ

Ключевые слова: экспертные системы, алгоритм, модель Мамдани, предвестники отказов.

В этой статье рассмотрен алгоритм обработки данных экспертной системы обнаружения предвестников отказов, ориентированный на применение модели нечеткого вывода Мамдани. Алгоритм предполагает расчет значений по нескольким периодам, и множественную вложенность циклов, связанных с особенностями выбранной модели и задачами нахождения решения в задачах нечеткой логики. Реализация алгоритма предполагает его связь с базой знаний экспертной системы обнаружения предвестников отказов для получения данных о функциях принадлежности и их параметрах.

А.О. Шилов, А.Р. Морозов, Р.В. Камалов, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОТРУБОК АНОДНОГО HfO_2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: нанотрубки диоксида гафния, HfO_2 , кислородные вакансии, размерное распределение, искусственные нейронные сети.

В работе представлены результаты изучения фотолюминесцентных свойств нанотрубчатого HfO_2 . Оценка геометрических параметров нанотрубок проводилась при помощи программного модуля на основе машинного обучения. Исследовано влияние высокотемпературного отжига на спектральные параметры ФЛ и ширину запрещенной зоны. Наблюдаемое сине-зеленое излучение обусловлено процессами переноса зарядов с участием кислородных вакансий.

А.А. Дронина, Р.С. Зарипова

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МАШИНИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Ключевые слова: автоматизация, железнодорожный транспорт, мониторинг, психофизическое состояние, машинное зрение.

Железнодорожный транспорт – это основа транспортной инфраструктуры России. Российские железные дороги делают всё возможное для улучшения транспортной доступности, повышая качество жизни населения. Современные информационные технологии способны снизить время на выполнение работы, исключить риск из-за человеческого фактора и повысить продуктивность работников. В статье предложена система дистанционного мониторинга состояния машинистов с использованием технологии машинного зрения.

V.D. Petelina

QUALITATIVE ANALYSIS OF SOLUTIONS TO A NONLINEAR SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH A SMALL PARAMETER

Keywords: system of differential equations of perturbed body locomotion, regularizing independent variable, perturbation, polynomial, approximation.

The article considers the problem of obtaining an asymptotic approximation of the solution of a perturbed system of differential equations in the case when a bifurcation occurs in the equation of "fast motions" with a change in the parameter: two equilibrium positions merge with a subsequent change stability, the qualitative nature of the behavior of solutions to the system of ordinary differential equations is studied, when a small parameter tends to zero on a finite time interval, in which the slow variable passes through a certain point corresponding to a bifurcation in the system of «fast movements»: the stable limit cycle merges with the unstable one and disappears.

M.R. Tikhonov

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR DATA PROCESSING OF AN EXPERT SYSTEM FOR DETECTING FAILURE PRECURSORS

Keywords: expert systems, algorithm, Mamdani model, failure precursors.

This article considers an algorithm for data processing of an expert system for detecting failure precursors, focused on the use of the Mamdani fuzzy inference model. The algorithm assumes the calculation of values for several periods, and multiple nesting of cycles associated with the features of the selected model and the tasks of finding a solution in fuzzy logic problems. The implementation of the algorithm also involves its connection with the knowledge base of the expert system for detecting failure precursors in order to obtain data on membership functions and their parameters.

A.O. Shilov, A.R. Morozov, R.V. Kamalov, A.S. Vokhmintsev, I.A. Weinstein

ANALYSIS OF ANODIC HfO_2 NANOTUBES' CHARACTERISTICS USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Keywords: hafnia nanotubes, HfO_2 , oxygen vacancies, size distribution, artificial neural networks.

The paper presents the results of studying the photoluminescent properties of nanotubular HfO_2 . The estimation of the geometric parameters of nanotubes was carried out using a software based on machine learning. The effect of high-temperature annealing on the PL spectral parameters and the band gap is studied. The observed blue-green emission is caused by charge transfer processes involving oxygen vacancies.

A.A. Dronina, R.S. Zaripova

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR REMOTE MONITORING OF DRIVERS' CONDITION USING MACHINE VISION

Keywords: automation, railway transport, monitoring, psychophysical state, machine vision.

Railway transport is the backbone of the transport infrastructure of Russia. Russian railways do their best to improve transport accessibility, increasing the quality of life of the population. Modern information technologies are able to reduce the time to do the work, eliminate the risk due to human factor and increase the productivity of workers. The article proposes a system of remote monitoring of drivers' condition using machine vision technology.

А. Г. Коробейников, В.Л. Ткалич,
О.И. Пирожникова, А.Н. Югансон

**РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ
ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ИХ
ИНТЕГРИРОВАННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК
ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ**

Ключевые слова: ИБ, мультиагентные системы, деструктивное информационное воздействие, ОТИС.

Статья посвящена проблеме перехода мультиагентных технологий в индустриальную область, а именно в обеспечение информационной безопасности объектов транспортной инфраструктуры. В качестве мультиагентной системы в работе представлена транспортная инфраструктура современного мегаполиса. В такой системе транспортные средства подходят под иерархию рой-стая-коллектив, а сама система получает информацию из окружающей среды. В работе рассмотрены методы и средства обеспечения информационной безопасности данной мультиагентной системы. Результаты проведенных модельных экспериментов подтверждают выявление фактов деструктивных информационных воздействий на рассматриваемую роевую систему.

Нгуен Тхи Тху, Р.С. Зарипова, Нгуен Фук Хау
**КОНЦЕПЦИЯ QR-КОДА И РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ
ДЛЯ ЕГО СКАНИРОВАНИЯ**

Ключевые слова: QR-код, веб-программирование, код быстрого ответа, матричный штрих-код, сканирование.

Используя QR-коды для поиска информации, пользователи могут сканировать код для доступа к информации без необходимости искать или вводить данные в поисковые системы. QR-коды помогают обеспечивать достоверность выводимой информации, т. к. содержат предварительно запрограммированную информацию и нет риска ошибочного ввода или путаницы информации. В статье рассмотрена концепция QR-кода и предложено приложение, основанное на сочетании технологий разработки веб-приложений и разработки систем сканирования QR-кода. Данное приложение позволяет пользователям сканировать QR-коды, извлекать и читать текстовые документы, слушать аудиоинформацию.

Р.И. Юсупова, Р.С. Зарипова
**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Ключевые слова: кибербезопасность, информационная безопасность, киберпреступление, кибератаки, кибербуллинг, киберугрозы.

Статья посвящена проблеме обеспечения кибербезопасности детей, которая является актуальной и вызывает интерес среди родителей, педагогов, экспертов в сфере кибербезопасности и становится приоритетным направлением для общества в целом. Основной проблемой является обеспечение безопасного взаимодействия молодежи с Интернет, т. к. различные виды киберугроз негативно сказываются на физическом, психологическом и эмоциональном состоянии молодежи.

A.G. Korobeynikov, V.L. Tklich,
O.I. Pirozhnikova, A.N. Iuganson

**DEVELOPMENT OF THEORETICAL METHODS FOR THE
PROTECTION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE
OBJECTS AND THEIR INTEGRATED SECURITY AS
REPRESENTATIVES OF MULTI-AGENT SYSTEMS**

Keywords: IS, multi-agent systems, destructive information impact, TIO

The article is devoted to the problem of the transition of multi-agent technologies to the industrial area, namely, to ensuring the information security of transport infrastructure facilities. The paper presents the transport infrastructure of a modern metropolis as a multi-agent system. In such a system, vehicles fit into the swarm-flock-collective hierarchy, and the system itself receives information from the environment. The paper considers methods and means of ensuring information security of this multi-agent system. The results of the conducted model experiments confirm the identification of the facts of destructive information impacts on the considered swarm system.

Nguyen Thi Thu, R.S. Zaripova, Nguyen Phuc Hau
**THE CONCEPT OF THE QR CODE AND
THE DEVELOPMENT OF AN APPLICATION TO SCAN IT**

Keywords: QR code, web programming, quick response code, matrix barcode, two-dimensional barcode.

Using QR codes to find information, users can scan the code to access information without having to search or enter data into search engines. QR codes help to ensure the validity of the information displayed as they contain pre-programmed information and there is no risk of mistaken entry or confusion of information. In the article the concept of QR code is considered and an application based on the combination of technologies of web-application development and development of QR code scanning systems is proposed. This application allows users to scan QR codes, retrieve and read text documents, and listen to audio information.

R.I. Yusupova, R.S. Zaripova
**PROBLEMS OF ENSURING INFORMATION
SECURITY OF THE YOUNG GENERATION**

Keywords: information security, cybersecurity, cybercrime, cyberattacks, cyberbullying, cyberthreats, network attacks.

The article is devoted to the problem of ensuring cyber security of children, which is currently topical and arouses considerable interest among parents, teachers, government agencies, experts in the field of cyber security and is becoming a priority for society as a whole. The main problem is to ensure safe interaction of young people with the Internet, as various types of cyber threats can negatively affect the physical, psychological and emotional state of the younger generation.

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**

№9 2023

Направления:

- 1.2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**
- 2.3.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**
- 2.3.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**
- 2.3.6. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvprrt.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 30.09.2023 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 30.09.2023
15,1 усл.печ.л. 18,4 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 5521.

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»