

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№5 2022

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
2022**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №5 2022г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2022. – 180 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, 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Минкин, А.В. Репина, Э.И. Галеева, А.А. Иванова, Р.Х. Шагимуллин</i>	
ИНГИБИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАРАФИНООТЛОЖЕНИЙ С	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИОКОЛОВЫХ ГЕРМЕТИКОВ	9

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

<i>Н.В. Андреев, А.А. Габидуллина, В.С. Покровский, А.Д. Павлов</i>	АНАЛИЗ СТЕНДА	
БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ОСНОВАННЫХ		
НА ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ		13
<i>А.А. Асадова, А.А. Денисюк, М.Н. Пиганов</i>	РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ	
ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ		17
<i>Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, К.Ю. Панькин</i>	МОДЕЛИРОВАНИЕ	
И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ		
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ		24
<i>О.А. Васильева, Г.А. Филиппов</i>	О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА	
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ		28
<i>А.А. Габидуллина, Н.В. Андреев, В.С. Покровский, А.Д. Павлов</i>	ПРОКЛАДКА	
МАРШРУТА ГАЗОПРОВОДОВ ДЛЯ УЧЕТА ОБЪЕКТОВ ГАЗОВОЙ		
ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОММИВОЯЖЕРА		32
<i>А.Ф. Галимянов, А.И. Галимянова, Нгуен Тиен Дык</i>	ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ	
И ИНТЕГРАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ		
НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ И АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИИ		
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ		36
<i>А.Ф. Галимянов, А.И. Галимянова, Нгуен Тиен Дык</i>	МЕТОД ИСКУССТВЕННЫХ	
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ		
С ДРОБНЫМ ИНТЕГРАЛОМ ГРЮНВАЛЬДА-ЛЕТНИКОВА НА КОНЕЧНОМ		
ИНТЕРВАЛЕ		39
<i>Х.М. Гукетлов, А.А. Дугулугбов, Б.А. Беканов, И.З. Сруков</i>	К РАСЧЕТУ	
ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ		
СВЕТОВЫХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ ЯСНОГО НЕБА МКО		42
<i>В.О. Каледин, Е.В. Решетникова, А.Д. Ульянов</i>	РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ	
ИНТЕГРАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ АЛГОЗИТ И SALOME		47
<i>Л.А. Кондратьева</i>	АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ЦИКЛОВ	
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПЛОСКОСТИ		51
<i>Ю.Г. Смирнов, И.В. Ивенина</i>	ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ	
ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДИКИ РЕГЕНЕРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ		
МАГНЕТИТА В ЦИКЛЕ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ ВОД УСИНСКОГО		
МЕСТОРОЖДЕНИЯ		57
<i>А.И. Хайбуллина, А.Р. Хайруллин, В.К. Ильин, А.А. Синявин</i>	ТЕПЛООБМЕН	
И ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОРИСТЫХ СРЕД		
СГЕНЕРИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ДИАГРАММЫ ВОРОНОГО		61
<i>Е.Г. Царькова</i>	МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ПРИ	
ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ		65

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

<i>Н.С. Алексеев</i>	УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ	
ПАСПОРТОВ ВАРИАНТОВ		69

А.А. Асадова, А.А. Денисюк, М.Н. Пиганов СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ	72
А.П. Буйносов, О.И. Тутынин, А.С. Баитов, А.Т. Шарапов, С.А. Балычёв ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУБРИКАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ	76
А.А. Голубничий, А.М. Благосмыслова ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА УРОВНЕ СЧИТЫВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ MNIST)	80
Д.С. Горбатенко ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	83
Д.В. Горбачев, М.В. Пискунова, И.А. Щудро, В.В. Головков ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСЛАБЛЕНИЯ СИГНАЛА В СИСТЕМЕ «ЗЕМЛЯ-ЛУНА» С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	86
А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова, В.П. Наумченко СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON ПРИ РАБОТЕ С БАЗАМИ ДАННЫХ	90
А.В. Караванов, В.Н. Кириченко, Д.И. Ликсонова ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ЯДЕРНОЙ ФУНКЦИИ И КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМЫТОСТИ ЯДРА НА ТОЧНОСТЬ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ РЕГРЕССИИ	93
М.Г. Руденко, М.М. Руденко ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ЛАГЕРЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ	97
Е.С. Юдт, А.С. Папуловский, С.С. Папуловский, А.А. Францевич, А.П. Буйносов РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ «ЭКИПАЖ-ТЯГОВЫЙ ПРИВОД-ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ»	102

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

Д. Даххам, Н.Е. Кувишинов, Л.М. Сарварова, С.В. Смирнов, Г.А. Морозов МОДЕЛЬ СВЧ-НАГРЕВА ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ЕЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ	106
Д. Даххам, Н.Е. Кувишинов, Л.М. Сарварова, С.В. Смирнов, Г.А. Морозов СТЕНД ДЛЯ СВЧ-НАГРЕВА ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ С ЦЕЛЬЮ ИХ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ	109
В.А. Егоров, Ф.И. Дадашова СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ	113
В.А. Егоров, Г.В. Королёв ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	117
А.Н. Ивановский, А.А. Зинченко, И.С. Горячев, И.В. Антипенко, П.А. Дараган ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРИРОВАНИЯ СУДОВ	121
В.О. Каледин, А.В. Рекунов, Ю.А. Рекунов ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СООСНЫХ ЦИЛИНДРОВ ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ	124
А.С. Сизинцева, В.В. Бажеряну АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ	129

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

А.О. Мантуров, И.А. Мантурова, Т.В. Данилова, Е.С. Смирнова БЕСКОНТАКТНЫЙ СЕНСОР ДВИЖЕНИЯ И ПРИСУТСТВИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ RTL-SDR	133
---	-----

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

<i>А.С. Алексейчук</i> УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ СЛОЕВ МЕЖКАНАЛЬНОГО ПУЛИНГА	137
<i>А.А. Голубничий, А.А. Голубничий</i> РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СМЕНЫ ФОРМАТА ДАННЫХ WIDE/LONG	142
<i>Т.А. Деменкова, В.А. Ланцевский</i> МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ В ПРИЛОЖЕНИЯХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	146
<i>Д.А. Хвостов, В.Э. Шейн</i> ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА НАДЁЖНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ	150
<i>С.Д. Шибайкин, Е.Г. Алексеев, Р.А. Жарков, А.А. Аббакумов, Е.А. Аббакумова</i> ОЦЕНКА РАБОТЫ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА РЕЧИ	153

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

<i>Г.А. Гареева, М.Р. Хамидуллин, И.В. Бубеков, В.С. Кольцов, Р. Артурззаман</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ	157
<i>Л.Г. Гомбоев</i> ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ КЕЙСА В ПРЕПОДАВАНИИ ИНФОРМАТИКИ	161
<i>А.А. Рычкова, А.Л. Коннов, Е.В. Бурькова</i> АНАЛИЗ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗАЩИЩЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ	165

АННОТАЦИИ	169
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>V.S. Minkin, A.V. Repina, E.I. Galeeva, A.A. Ivanova, R.Kh. Shagimullin</i> INHIBITION OF PARAFFIN DEPOSITION PROCESSES USING THIOCOL SEALANTS	9
---	---

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

<i>N.V. Andreyanov, A.A. Gabidullina, V.S. Pokrovsky, A.D. Pavlov</i> ANALYSIS OF THE ON-BOARD SYSTEM BENCH FOR DETECTION METHODS BASED ON DEEP NEURAL NETWORKS	13
<i>A.A. Asadova, A.A. Denisjuk, M.N. Piganov</i> DEVELOPMENT FORECASTING MODELS RELIABILITY EVALUATION OF ELECTRONIC COMPONENTS	17
<i>N.N. Bepalov, Yu.V. Goryachkin, K.Yu. Pankin</i> MODELING AND INVESTIGATION OF CURRENT SOURCE OPERATION MODES FOR TESTING SEMICONDUCTOR DEVICES	24
<i>O.A. Vasil'eva, G.A. Filippov</i> SIMULATION OF THE PRODUCTION PROCESS OF BUILDING MATERIALS	28
<i>A.A. Gabidullina, N.V. Andreyanov, V.S. Pokrovskiy, A.D. Pavlov</i> ROUTING GAS PIPELIN TO ACCOUNT FOR GAS INDUSTRY FACILITIES BASED ON THE TRAVELING SALESMAN METHOD	32
<i>A.F. Galimyanov, A.I. Galimyanova, Nguyen Tien Duc</i> APPLICATION OF ARBITRARY DERIVATIVES AND INTEGRALS TO MODEL FEEDFORWARD NEURAL NETWORK AND FUNCTION APPROXIMATION USING FEEDFORWARD NEURAL NETWORK	36
<i>A.F. Galimyanov, A.I. Galimyanova, Nguyen Tien Duc</i> METHOD OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR SOLVING AN INTEGRAL EQUATION WITH A FRACTIONAL GRUNWALD-LETNIKOV INTEGRAL ON A FINITE INTERVAL	39
<i>H.M. Guketlov, A.A. Dugulubgov, B.A. Bekanov, I.Z. Srukov</i> TO THE CALCULATION OF NATURAL LIGHTING OF PREMISES WITH DIFFERENT TYPES OF LIGHTING DEVICES UNDER CLEAR SKY CONDITIONS CIE	42
<i>V.O. Kaledin, E.V. Rechetnikova, A.D. Ulyanov</i> DEVELOPMENT OF INTEGRATION TOOLS FOR APPLICATIONS ALGOZIT AND SALOME	47
<i>L.A. Kondratieva</i> ANALYTICAL APPROXIMATION OF CYCLES OF DYNAMIC SYSTEMS ON THE PLANE	51
<i>Yu.G. Smirnov, I.V. Ivenina</i> APPLICATION OF THE GENERALIZED DESIRABILITY FUNCTION FOR METHOD SELECTION REGENERATION OF MAGNETITE NANOPARTICLES IN THE FORMATION WATER TREATMENT CYCLE OF USINSKY OILFIELD	57
<i>A.I. Khaibullina, A.R. Khairullin, V.K. Ilyin, A.A. Sinyavin</i> HEAT TRANSFER AND HYDRAULIC RESISTANCE OF POROUS MEDIA GENERATED BY THE VORONOI DIAGRAM METHOD	61
<i>E.G. Tsarkova</i> METHODS OF OPTIMAL RESOURCE MANAGEMENT IN THE CONSTRUCTION OF PROTECTED OBJECT PROTECTION SYSTEMS	65

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

<i>N.S. Alekseyev</i> IMPROVED ALGORITHM FOR GENERATION OF PASSPORTS OF VARIANTS	69
<i>A.A. Asadova, A.A. Denisjuk, M.N. Piganov</i> SYSTEM ANALYSIS OF KINDS AND CONSEQUENCES OF FAILURE OF ON-BOARD EQUIPMENT	72

<i>A.P. Buinosov, O.I. Tutynin, A.S. Baitov, A.T. Sharapov, S.A. Balychev</i> EFFICIENCY OF USE OF LUBRICATION FOR REDUCING WEAR OF TIRES OF WHEELS PAIRS OF LOCOMOTIVES	76
<i>A.A. Golubnichiy, A.M. Blagosmyslova</i> OPTIMIZATION OF COMPUTATIONS AT THE LEVEL OF READING AND STORING DATA (ON THE EXAMPLE OF MNIST)	80
<i>D.S. Gorbatenko</i> ENSURING ROAD SAFETY DURING OPERATION OF SPECIAL EQUIPMENT	83
<i>D.V. Gorbachev, M.V. Piskunova, I.A. Schudro, V.V. Golovkov</i> PREDICTION OF SIGNAL ATTENUATION IN THE EARTH-MOON SYSTEM USING A NEURAL NETWORK	86
<i>A.G. Zhornyak, T.A. Morozova, V.P. Naumchenko</i> THE SPECIFICS OF USING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE IN WORKING WITH DATABASES	90
<i>A.V. Karavanov, V.N. Kirichenko, D.I. Liksonova</i> A RESEARCH OF THE INFLUENCE OF KERNEL FUNCTION TYPE AND KERNEL FUZZINESS COEFFICIENT ON THE ACCURACY OF NON-PARAMETRIC ESTIMATION OF THE REGRESSION FUNCTION	93
<i>M.G. Rudenko, M.M. Rudenko</i> OPTIMIZATION OF TEMPORARY CAMPS' LOCATION DURING THE CONSTRUCTION OF MAIN PIPELINES	97
<i>E.S. Yudt, A.S. Papulovsky, S.S. Papulovsky, A.A. Frantskevich, A.P. Buinosov</i> CALCULATION OF PARAMETERS "CREW-TRACTION DRIVE-SUPERSTRUCTURE"	102

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

<i>D. Dahham, N.E. Kuvshinov, L.M. Sarvarova, S.V. Smirnov, G.A. Morozov</i> MODEL OF MICROWAVE HEATING OF WATER-OIL EMULSIONS IN THE INSTALLATION FOR ITS DEHYDRATION AND DESALTING	106
<i>D. Dahham, N.E. Kuvshinov, L.M. Sarvarova, S.V. Smirnov, G.A. Morozov</i> STAND FOR MICROWAVE HEATING OF WATER-OIL EMULSIONS FOR THE PURPOSE OF THEIR DEHYDRATION AND DESALTING	109
<i>V.A. Egorov, F.I. Dadashova</i> SUN TRACKING SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC POWER PLANT	113
<i>V.A. Egorov, G.V. Korolev</i> VIRTUAL MODEL OF VECTOR CONTROL SYSTEM FOR AC INDUCTION MOTOR	117
<i>A.N. Ivanovskiy, A.A. Zinchenko, I.S. Gorychev, I.V. Antipenko, P.A. Daragan</i> PROSPECTS FOR RESEARCH ON THE PROCESS OF SHIP MANEUVERING CONTROL	121
<i>V.O. Kaledin, Y.A. Rekunov, A.V. Rekunov</i> ENSURING THE ACCURACY OF THE MANUFACTURING OF SOAXIAL CYLINDERS USING AUTOMATED ADDITIVE TECHNOLOGY	124
<i>A.S. Sizintseva, V.V. Bazheryanu</i> ANALYSIS OF METHODS FOR AUTOMATED CONTROL OF THE PERFORMANCE OF AIR CONDITIONING AND VENTILATION SYSTEMS	129

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

<i>A.O. Manturov, I.A. Manturova, T.V. Danilova, E.S. Smirnova</i> REMOTE MOTION AND PRESENCE SENSOR BASED ON RTL-SDR HARDWARE AND SOFTWARE PLATFORM	133
--	-----

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

<i>A.S. Alekseychuk</i> IMPROVING THE PERFORMANCE OF GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORKS WITH CROSS CHANNEL POOLING LAYERS	137
<i>A.A. Golubnichiy, A.A. Golubnichiy</i> DEVELOPMENT OF INTERACTIVE AUTOMATED SYSTEM FOR WIDE/LONG DATA FORMAT CHANGE	142
<i>T.A. Demenkova, V.A. Lantsevsky</i> TESTING METHODS IN INFORMATION SYSTEM APPLICATIONS	146
<i>D.A. Khvostov, V.E. Sheyn</i> AN APPLICATION FOR RELIABILITY ANALYSIS AND PREDICTION OF FAILURES IN A TELECOMMUNICATIONS SYSTEM	150
<i>S.D. Shibaikin, E.G. Alekseev, R.A. Zharkov, A.A. Abbakumov, E.A. Abbakumova</i> EVALUATION OF THE NEURAL NETWORK SPEECH SYNTHESIS SYSTEM	153

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

<i>G.A. Gareeva, M.R. Khamidullin, I.V. Bubekov, V.S. Koltsov, R. Arturzzaman</i> DEVELOPMENT OF THE RSA CRYPTOGRAPHIC ALGORITHM PROGRAM	157
<i>L.G. Gomboev</i> ABOUT THE EXPERIENCE OF USING CASE TECHNOLOGY IN TEACHING COMPUTER SCIENCE	161
<i>A.A. Richkova, A.L. Konnov, E.V. Burkova</i> ANALYSIS OF CRYPTOGRAPHIC METHODS FOR SECURE DATA TRANSMISSION IN DISTRIBUTED SYSTEMS	165

ABSTRACTS	169
------------------	-----

2.3.3.

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

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,
факультет наноматериалов и нанотехнологий,
кафедра физики,

²Главный редактор журнала Научно-технический вестник Поволжья,
Казань, yerus@yandex.ru, shagimullin@ntvpert.ru

ИНГИБИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАРАФИНООТЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИОКОЛОВЫХ ГЕРМЕТИКОВ

В работе приводятся экспериментальные данные по свойствам промышленных тиоколовых герметиков (ПСО), которые использовались для процессов ингибирования внутренних поверхностей труб при нефтедобыче. Определены эффективные рецептуры герметиков, которые использовались в промышленных условиях при добыче нефтей в северных регионах страны Волжско-Камской нефтегазоносной провинции.

Ключевые слова: *тиоколовые герметики, нефтедобыча, полимерные комплексы.*

Полимеры на основе различных олигомеров находят широкое применение в производстве труб, изоляций, водопроводных систем, напольных покрытий, крыш, дверей, оконных рам, подоконников, сантехники и т.д.

Среди полимеров в строительстве широко используются отверждающиеся герметики на основе полисульфидных олигомеров (жидких тиоколов). Благодаря низкой температуре отверждения, высокой водостойкости, стойкости к УФ-излучению, озону, радиации они используются для 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: наполнителей, вулканизирующего агента, ускорителей вулканизации, адгезионных добавок на вязкостные и прочностные свойства.

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).

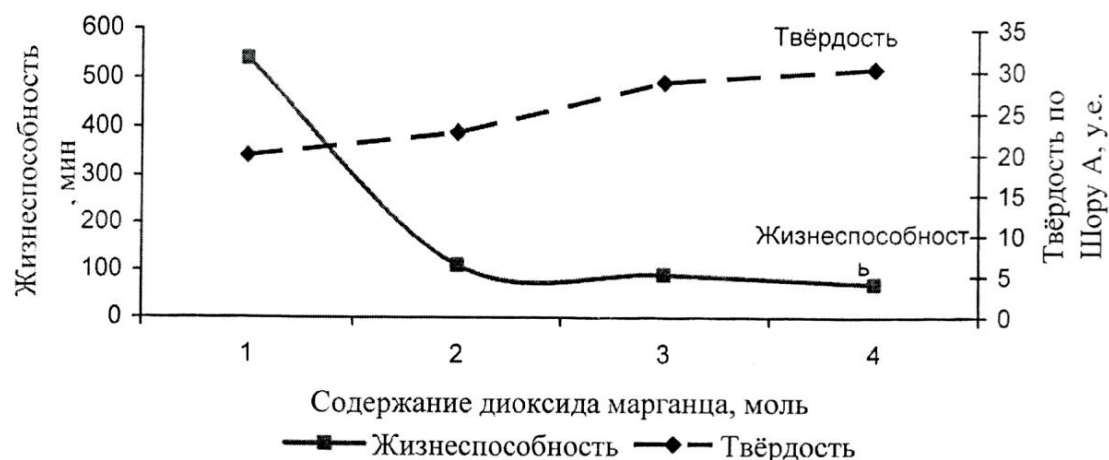


Рис. 1 – Влияние содержания диоксида марганца на жизнеспособность и твердость (содержание гидрофобного мела 20 масс. частей)

В таблице 1 приведены свойства вулканизатов ПСО при вулканизации их различными промышленными вулканизирующими агентами (вулканизаты ненаполненные).

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

Свойства вулканизатов	Вулканизирующий агент		
	MnO ₂	Na ₂ Cr ₂ 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
Сопротивление отслаиванию от дюраля, кН/м	0,65	1,54	0,8
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_с 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.

Одним из наиболее распространенных вулканизирующих агентов в прикладной нефтехимии является водный раствор бихромата натрия (Na₂Cr₂O₇ – 58,6%). В таблице 2 приведены данные по влиянию количества вводимого бихромата натрия на процесс структурирования вулканизатов ПСО.

Таблица 2 – Влияние количества бихромата натрия на эффективность химического структурирования вулканизатов ПСО

Коэффициент избытка против стехиометрии (n)	Эффективная плотность вулканизационной сетки $\nu \cdot 10^{-4}$ моль/см ³	Плотность химических связей $\nu_{\text{хим}} \cdot 10^{-4}$ моль/см ³		Эффективность химического структурирования, %
		теор.	экспер.	
1,0	2,34	1,15	0,13	11,3
1,5	3,26	1,73	0,43	53,6
2,0	3,30	2,30	1,38	60,0
2,5	3,00	2,88	1,40	48,6
3,0	2,80	3,46	1,60	34,6
4,0	2,60	4,61	0,90	23,8

Если сравнить экспериментально найденную плотность химического структурирования с теоретической, то окажется, что даже при коэффициенте избытка отвердителя $n=3,0$ эффективность химического структурирования составляет около 35% от теоретически возможной. При использовании же бихромата натрия в количестве, равном эквимолекулярному или близкому к эквимолекулярному, эффективность химического структурирования составляет 10-20 % от теоретически возможной.

С увеличением коэффициента избытка отвердителя в системе одновременно наблюдается два конкурирующих фактора: увеличение эффективности структурирования за счет повышения концентрации вулканизующего агента и повышение дефектности сетки за счет возрастания скорости процесса отверждения. При небольших избытках отвердителя вплоть до оптимального количества превалирующее значение имеет повышение концентрации бихромата натрия, а существенное влияние скоростного фактора, приводящего к образованию дефектной сетки, сказывается при дозировке вулканизующего агента сверх оптимального.

Из приведенных данных видно, что плотность поперечных химических связей и эффективная плотность сетки в вулканизатах, полученных с различными избытками бихромата натрия, меняется по экстремальной зависимости. Поэтому для применения данного вулканизующего агента в процессах ингибирования парафиноотложений используется рецептура герметиков с наиболее высокой эффективной плотностью связей вулканизационной сетки.

В таблице 3 приведены свойства вулканизатов ПСО, которые использовались на практике в качестве ингибиторов парафиноотложений в процессах добычи девонских нефтей Ханты-Мансийского региона (г.Ухта, Усинск).

Таблица 3 – Плотности цепей молекулярных сеток и величины T_c^* вулканизатов ПСО в зависимости от типа, дозировки и формы применения окислителя

Вулканизующий агент	MnO ₂				Водный раствор Na ₂ Cr ₂ O ₇				PbO ₂		
избыток окислителя	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
$\nu \cdot 10^{-4}$, моль/см ³ :											
эффективных	0,77	2,27	2,15	1,60	2,30	3,30	3,0	2,77	0,62	1,45	1,26
химических	0,09	0,14	0,14	0,18					0,10	0,20	0,16
	0,20	1,15	1,05	0,80	0,25	1,58	1,4	1,17	0,46	0,82	0,62
T_c^* , °C*	-30	-26	-22	-12	-20	-10	-18	-15	-5	0	+4
	-42	-26	-32	-18					-32	-10	-14

* – в числителе – характеристики вулканизатов, полученных с применением окислителей в виде промышленных паст, в знаменателе – то же для вулканизатов с порошкообразными окислителями, T_c^* – температура стеклования вулканизатов по данным ЯМР.

Полученные данные позволили оценить скорость отверждения и время жизнеспособности тиоколовых герметиков различного состава, наиболее оптимальные из которых были предложены для нанесения их в качестве ингибиторов процессов парафиноотложения. Ниже приведен наиболее оптимальный состав (рецептура) тиоколового герметика: 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. Промышленные полисульфидные олигомеры: синтез, вулканизация и модификация / Хакимуллин Ю.Н., Дебердеев Р.Я., Палютин Ф.М. – 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. Применение методов радиоспектроскопии для контроля строительных полимерных материалов / Хакимуллин Ю.Н., Куркин А.И. – Казань: КГСАУ Полимеры в строительстве, 2009, с. 57-58.

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

1.2.2.

¹Н.В. Андреянов, ²А.А. Габидуллина, ¹В.С. Покровский, ¹А.Д. Павлов

¹Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ,
институт компьютерных технологий и защиты информации,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Казань, nik57643@ya.ru, pokrovski@bk.ru, googlabot@gmail.com,
²ООО «Газпром трансгаз Казань»,
akella729@gmail.com

АНАЛИЗ СТЕНДА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ОСНОВАННЫХ НА ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

В работе представлен анализ стенда для обнаружения и распознавания объектов на изображении. Представлена сеть DetectNet с примером обучения и результатами. Проведено тестирование полученной модели на мобильном компьютере с использованием CPU и GPU. Описаны выводы.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, компьютерное зрение, нейронные сети, бортовые системы.

Введение

Беспилотные системы все больше применяются в различных областях промышленности и жизни в целом. К ним относятся беспилотный транспорт, беспилотные летательные аппараты и другие системы. Данные системы позволяют длительный промежуток без перерывов выполнять возложенную на них работу. Например, беспилотные летательные аппараты могут нести различную полезную нагрузку на большие расстояния, получать и передавать на пункт управления различные данные, полученные с датчиков бортовых систем [1]. Эффективность бортовых систем обусловлена точностью применимых в них методов и алгоритмов. Совместив полученные методы и алгоритмы с системами, определения появляется возможность решить почти все трудности по автоматизации различных функций.

Разрабатывая бортовую систему беспилотного аппарата, появляется задача по созданию и отладке подсистемы автоматического обнаружения и определения интересующих объектов, например препятствий или других объектов.

По мере разработки системы распознавания объектов на беспилотном летательном аппарате, встала необходимость выбора методов, отвечающих за обнаружение и распознавание интересующих объектов в воздухе [1]. В связи с чем актуальной является задача исследования выбранных методов и их отладка на беспилотном летательном аппарате [1]. Для снижения затрат на создание такого программно-аппаратного комплекса последовала разработка стенда для анализа методов и алгоритмов, который позволяет моделировать процессы получения, обработки и передачи информации в бортовой системе беспилотного летательного аппарата и наземного пункта управления на базе персональных компьютеров и специализированных вычислителей. Так же к актуальности стоит отнести нейронные сети, которые могут помочь снизить время обработки и точность системы распознавания.

Экспериментальная часть

В статье представляется стенд бортовой системы беспилотного летательного аппарата для оценки методов и отбора наиболее лучшего метода для обнаружения и распознавания интересующих объектов в воздухе [1].

Состав стенда представлен на рисунке 1. Программное обеспечение обеспечивает функционирование его систем и выполнение задач определения и распознавания предметов в видеопотоке [2]. Видеопоток приходит от цифрового источника видеoinформации, в качестве которого применяется камера, телевизор и личный компьютер [1; 2]. Личный компьютер вырабатывает представление подстилающей поверхности с предметами заинтересованности, которые отображаются на телевизор [2]. Потом камера фиксирует представление подстилающей поверхности и передает его в мобильный компьютер, полностью соответствующий бортовой вычислительной системе для получения и распознавания заданных предметов [1; 2]. Результаты работы системы транслируются на личный компьютер, имитирующий работу наземного места управления для просмотра оператором [1; 2].

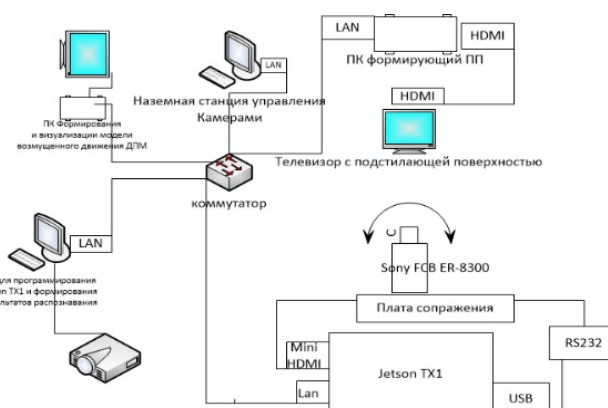


Рис. 1 – Структура стенда

За обработку информации на беспилотном летательном аппарате отвечает плата Jetson TX1. Она представляет собой мобильный компьютер включающий в себя четырёхъядерный процессор Quad-Core ARM Cortex-A57 MPCore, 4 Gb ОЗУ, и высокопроизводительным видеоядром на 256 ядер CUDA на базе архитектуры Maxwell. Данная плата разработана компанией Nvidia, она работает на операционной системе Ubuntu 16.04. В связи с этим было решено писать систему беспилотного аппарата как кроссплатформенное программное обеспечение на языке C++ с использованием библиотеки Qt [1; 3]. В созданном программном обеспечении для цифровой обработки изображения и распознавания заданных объектов используется открытая библиотека OpenCV 3 [4]. При создании стенда для отработки методов распознавания было решено рассмотреть нейронную сеть от компании Nvidia – DetectNet. При этом обученная модель была протестирована на JetsonTX1 без использования GPU и с использованием GPU для работы с обученной моделью была применена библиотека OPENCV.

Нейронная сеть DectectNet

DetectNet является нейронной сетью, которая идет вместе с инструментом DIGITS. NVIDIA Deep Learning GPU Training System (DIGITS) данная система была разработана компанией NVIDIA для того чтобы привлечь больше исследователей к довольно стремительно развивающейся области глубокого обучения основанной на нейронных сетях [5]. Концепция инструмента DIGITS в том, чтобы разработчик мог, не имея большого опыта с работой по обучению нейронной сети без особых проблем настроить обучение в короткий промежуток времени. Но на практике не все так просто, так как в течении работы с данной системой все же были особенности настройки как самой системы, так и слоев сети DetectNet. Была подготовлена база размеченных изображений в количестве 12053. Данная база имеет следующую структура в одной папке должны находиться поименованные картинки в другой папке разметка классов объектов в соответствии с форматом KITTY. Так же стоит указать и время ушедшее на обучение. Обучение проходило порядка 6 часов на 12053 экземплярах при условии 15 эпох обучения. На рисунке 2 можно увидеть, что точность данной сети не плоха.

В результате тестирования была получена точность распознавания 97%.



Рис. 2 – Результат обработки сетью DetectNet

Как можно увидеть из рисунка 3 среднее время обработки одного кадра с помощью DetectNet без использования GPU платы JetsonTX1 в среднем обрабатываются за 13412 мс один кадр.

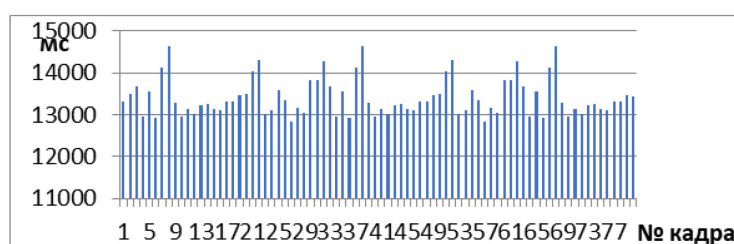


Рис. 3 – Диаграмма времени обработки кадров видеопотока с помощью сети DetectNet(CPU)

Полученное время не удовлетворяет поставленной задаче по распознаванию объектов беспилотным летательным аппаратам, потому что задержка в 13 секунд велика. В связи с этим было принято решение произвести тестирование обученной модели с использованием видеоядра JetsonTX1. С расчетами на GPU среднее время обработки одного кадра с помощью DetectNet 1402мс (рисунок 4).

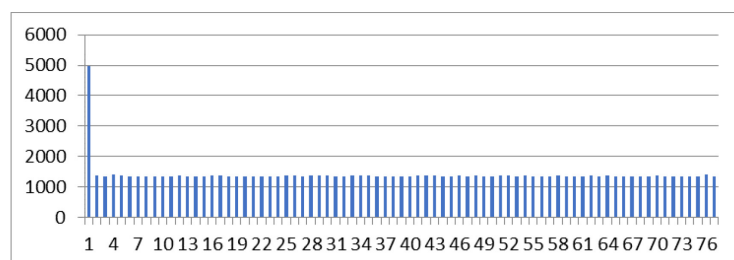


Рис. 4 – Диаграмма времени обработки кадров видеопотока с помощью сети DetectNet(GPU)

Заключение

Из данного эксперимента следует вывод, что нейронная сеть DetectNet подходит для использования в беспилотных аппаратах и имеет довольно высокую точность. Скорость обработки кадров стоит производить с использованием GPU, но все же её стоит увеличить за счет оптимизации алгоритма системы с помощью параллельных вычислений.

Из плюсов можно выделить довольно удобный интерфейс для создания базы из выборки и дальнейшего обучения. А также точность данной сети и возможность развертки на мобильном компьютере.

Из минусов время обработки, которое связано с разверткой слоев сверточной сети и требует оптимизации

На данный момент из вышеописанных экспериментов можно сделать вывод, что в случае построения беспилотного аппарата на мобильном компьютере, для применения современных методов обработки видеоряда с помощью глубоких нейронных сетей требуется наличие мощного видео ускорителя, так как мобильный процессор не справляется со сложными моделями нейронных сетей, которые дают высокую точность обнаружения и распознавания.

Список литературы

1. *Андреянов Н.В.* XXIV ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых), 4, 176-182 (2019).
2. *Андреянов Н.В.* МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, 2, 193-196 (2019).
3. *Макс Шлее.* Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 928 с.
4. *Gary Bradski, Adrian Kaehler.* Learning OpenCV. O'Reilly Media, October 2008.
5. DetectNet: Deep Neural Network для Object Detection в DIGITS [Электронный ресурс]: IT ресурс Хабр, URL: <https://habr.com/ru/post/310332/> (дата обращения: 11.04.2021).

1.2.2.

А.А. Асадова, А.А. Денисюк, М.Н. Пиганов

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
kipres@ssau.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Рассмотрены вопросы индивидуального прогнозирования надёжности электронной компонентной базы (ЭКБ) бортовой аппаратуры. Для прогнозирования были разработаны прогнозные математические модели элементов. При построении моделей использовали методы теории распознавания образов. Построены поля корреляции, проведено исследование математических моделей. Установлено, что предложенные модели обеспечивают высокую эффективность прогнозирования (вероятность ошибочных решений $P_o \leq 0,08$). На основе экспериментальных исследований ЭКБ подтверждено, что метод дискриминантных функций эффективен в тех случаях, когда классы элементов не имеют взаимопроникновений.

Ключевые слова: прогнозирование, математическая модель, электронная компонентная база, исследование моделей.

Введение

Для прогнозирования состояния радиоэлектронной аппаратуры и электронной компонентной базы необходимо построить прогнозные математические модели. При их построении целесообразно использовать методы теории распознавания образов [1-3].

По результатам исследовательских испытаний определяли фактический класс, к которому принадлежит каждый из n экземпляров, - $K_S^{(j)}$. После того как все экземпляры, попавшие в класс K_1 и в K_2 были выбраны, находили оценки условных математических ожиданий и дисперсии каждого i -го признака $\tilde{x}_i$ при условии, что экземпляр принадлежит к классу K_1 :

$$M^*[\tilde{x}_i / K_1] = \frac{1}{n_1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \in K_1}}^{n_1} x_i^{(j)},$$

$$D^*[\tilde{x}_i / K_1] = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \in K_1}}^{n_1} \{x_i^{(j)} - D[\tilde{x}_i / K_1]\}^2$$

и к классу K_2 :

$$M^*[\tilde{x}_i / K_2] = \frac{1}{n_2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \in K_2}}^{n_2} x_i^{(j)},$$

$$D^*[\tilde{x}_i / K_2] = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \in K_2}}^{n_2} \{x_i^{(j)} - D[\tilde{x}_i / K_2]\}^2.$$

Здесь n_1 и n_2 – число экземпляров класса K_1 и K_2 , соответственно, так что $n_1 + n_2 = n$.

Если классы хорошо разделяются, то $M^*[G / K_1]$ и $M^*[G / K_2]$ будут различаться значительно, т.е. $D^*[G / K_1]$ и $D^*[G / K_2]$ будут малы. Поэтому в качестве критерия оптимизации при нахождении оценок коэффициентов β_i , использовалось выражение вида:

$$\frac{M^*[G/K_1] - M^*[G/K_2]}{\sqrt{D^*[G/K_1] + D^*[G/K_2]}} \rightarrow extr.$$

После подстановки в это выражение оценок условных математических ожиданий и дисперсий случайной величины G , определяемых выражениями (1)-(4) получаем функцию

$$V(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) = \frac{\left| \frac{\sum_{i=1}^k \beta_i M^*[\tilde{x}_i/K_1] - \sum_{i=1}^k \beta_i M^*[\tilde{x}_i/K_2]}{\sqrt{\sum_{i=1}^k \beta_i^2 D^*[\tilde{x}_i/K_1] - \sum_{i=1}^k \beta_i^2 D^*[\tilde{x}_i/K_2]}} \right|}{\left| \frac{\sum_{i=1}^k \beta_i M^*[\tilde{x}_i/K_1] - \sum_{i=1}^k \beta_i M^*[\tilde{x}_i/K_2]}{\sqrt{\sum_{i=1}^k \beta_i^2 D^*[\tilde{x}_i/K_1] - \sum_{i=1}^k \beta_i^2 D^*[\tilde{x}_i/K_2]}} \right|}.$$

Взяв частные производные $\frac{\partial V}{\partial \beta_i}$ и приравняв их к нулю, получим систему k алгебраических уравнений с k неизвестными $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ для нахождения оптимальных оценок β_i опт.

Затем измерялись значения признаков $x_i^{(m)}$ нового m – го экземпляра и вычислялась дискриминантная функция

$$G^{(m)} = g(x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, \dots, x_k^{(m)}) = \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^{(m)}.$$

Рассмотрим реализацию метода дискриминантных функций (МДФ) на ряде выборок, участвовавших в обучающем эксперименте.

Метод дискриминантных функций позволил получить следующие прогнозные модели:

$$\text{№2: } \Pi_{\partial} = \frac{\Delta I_{ym}}{I_{ym}} + 0,94 t_p^+ + 0,49 U_{кр.П};$$

$$\text{№3: } \Pi_{\partial} = \Delta U_c + 0,62 K_T + 0,21 R_{\partial};$$

$$\text{№4: } \Pi_{\partial} = \frac{\Delta I_{ym}}{I_{ym}} + 0,81 t_p^+ + 0,42 U_{кр.П}$$

$$\text{№5: } \Pi_{\partial} = \Delta U_c + 0,66 K_T + 0,32 R_{\partial}$$

$$\text{№6: } \Pi_{\partial} = \frac{\Delta R}{R} + 0,23 x_1 + 0,75 x_2$$

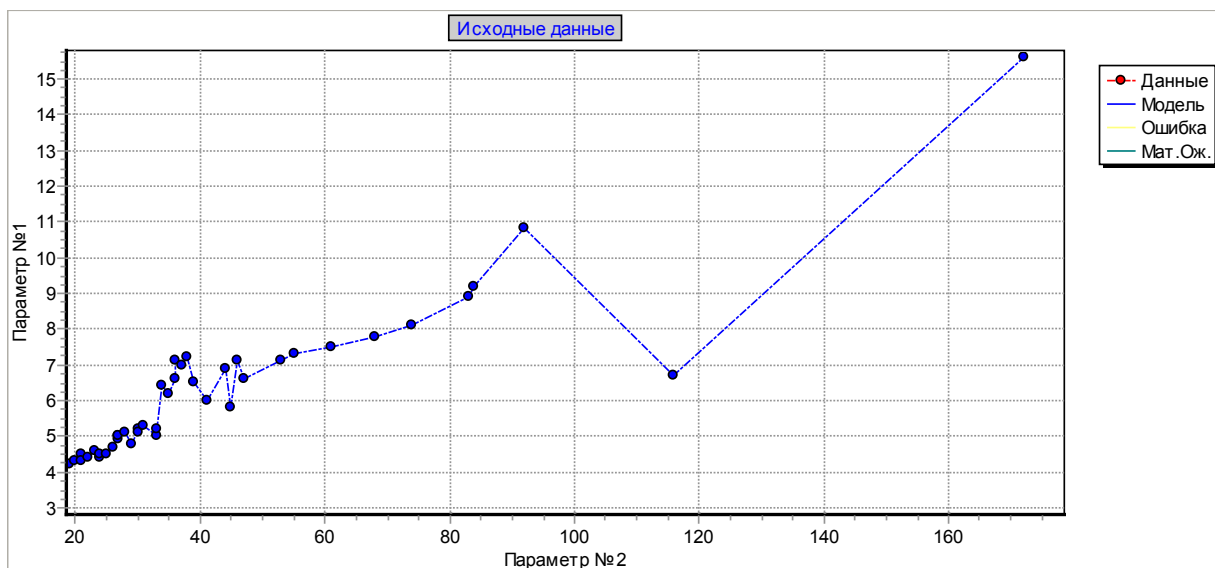
$$\text{№7: } \Pi_{\partial} = \frac{\Delta C}{C} + 0,27 \Delta \xi + 0,48 \Delta t g \delta;$$

$$\text{№8: } \Pi_{\partial} = \frac{\Delta R_{ку}}{R_{ку}} = -0,11 + 0,68 R_{кун} + 1,18 T_{ср}.$$

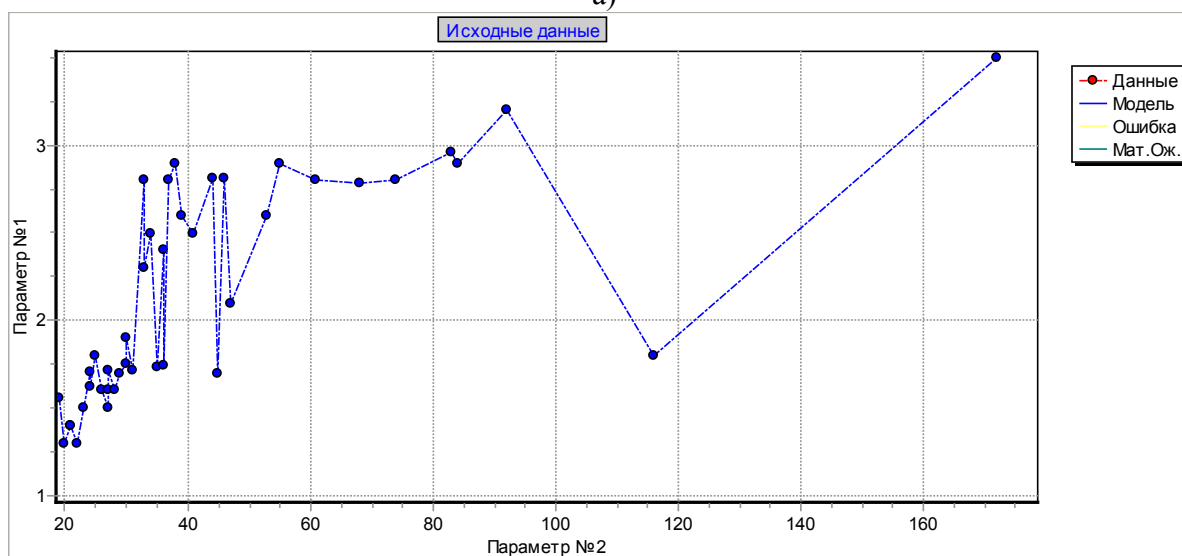
Было проведено исследование моделей индивидуального прогнозирования (ИП), полученных с помощью программного комплекса «Прогнозирование - 2» [7].

Были построены поля корреляции между параметрами и признаками (рисунки 1, 3, 5, 7).

Результаты исследования оператора ИП для этого типа ИМС приведены на рисунках 2, 4, 6, 9, 10 определены оптимальные пороги.



а)



б)

Рис. 1 – Поля корреляции для КМОП ИМС 2 типа

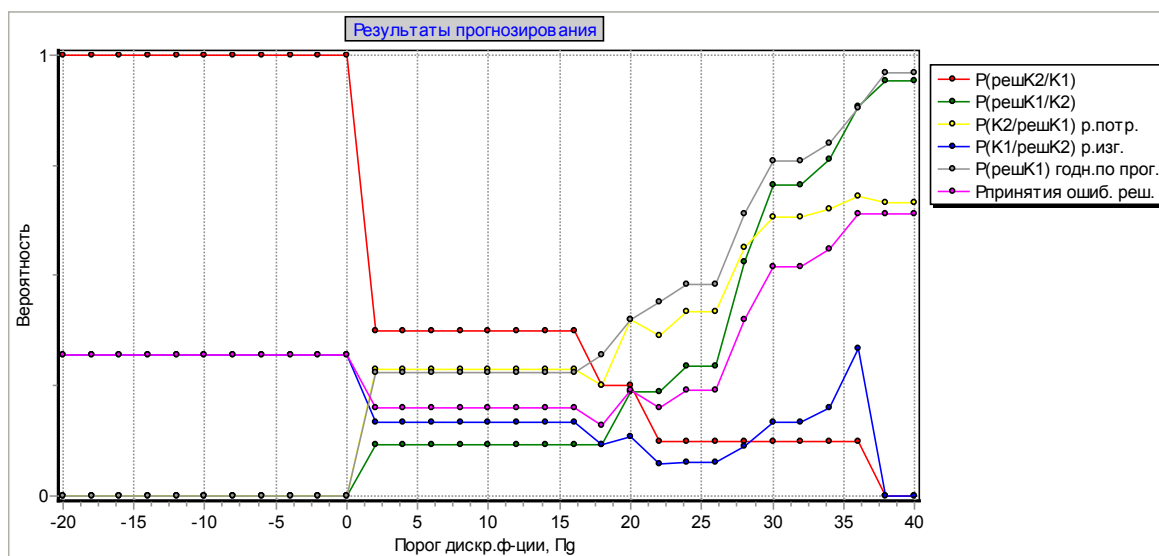
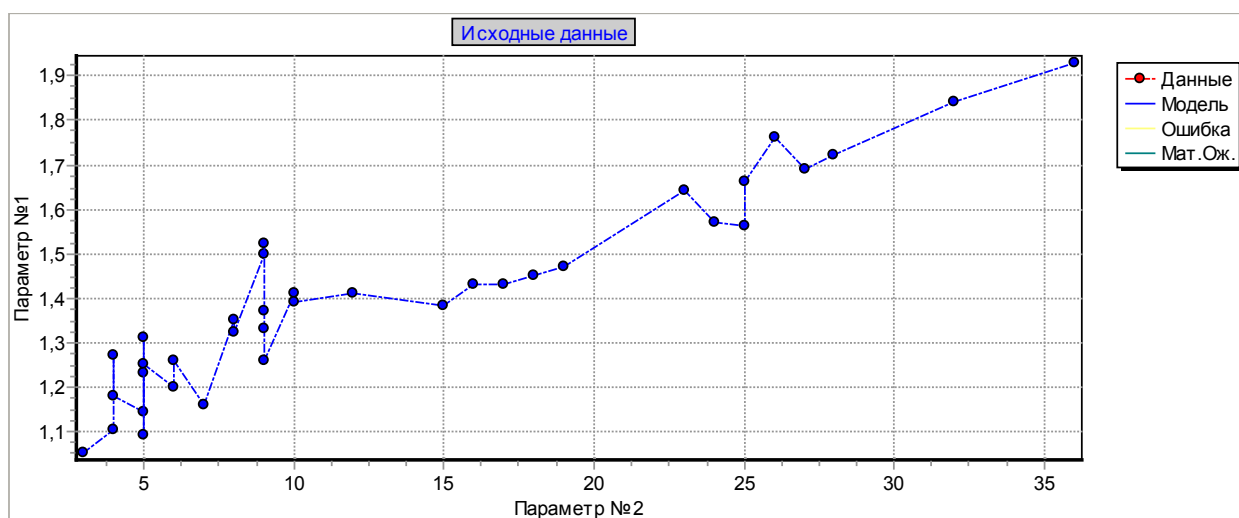
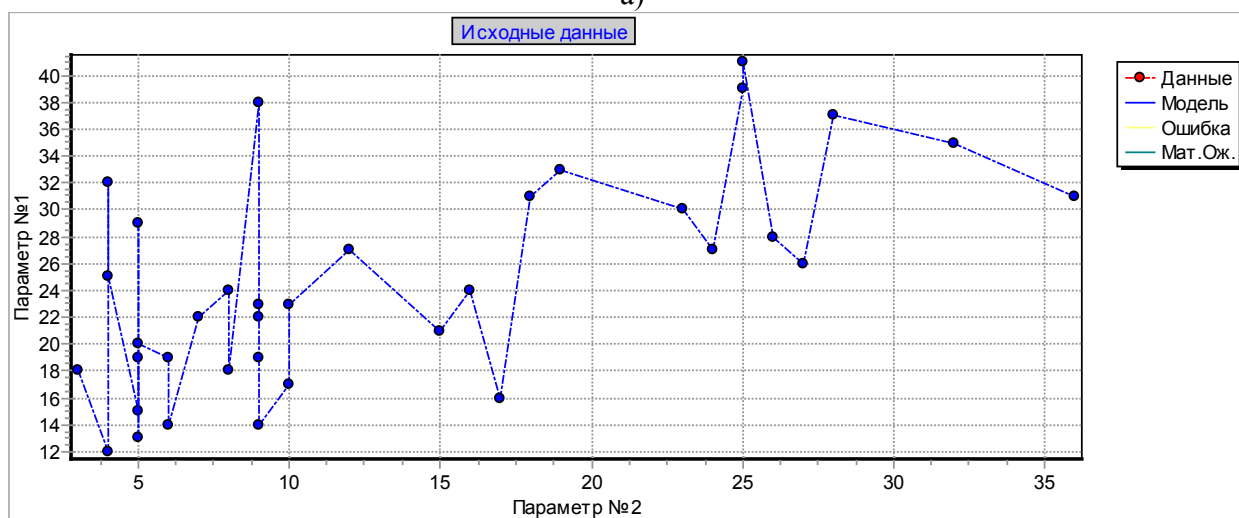


Рис. 2 – Влияние порога P_g на характеристики эффективности модели ИП для КМОП ИМС 2 типа



а)



б)

Рис. 3 – Поля корреляции для выборки стабилизаторов (1 режим испытаний)

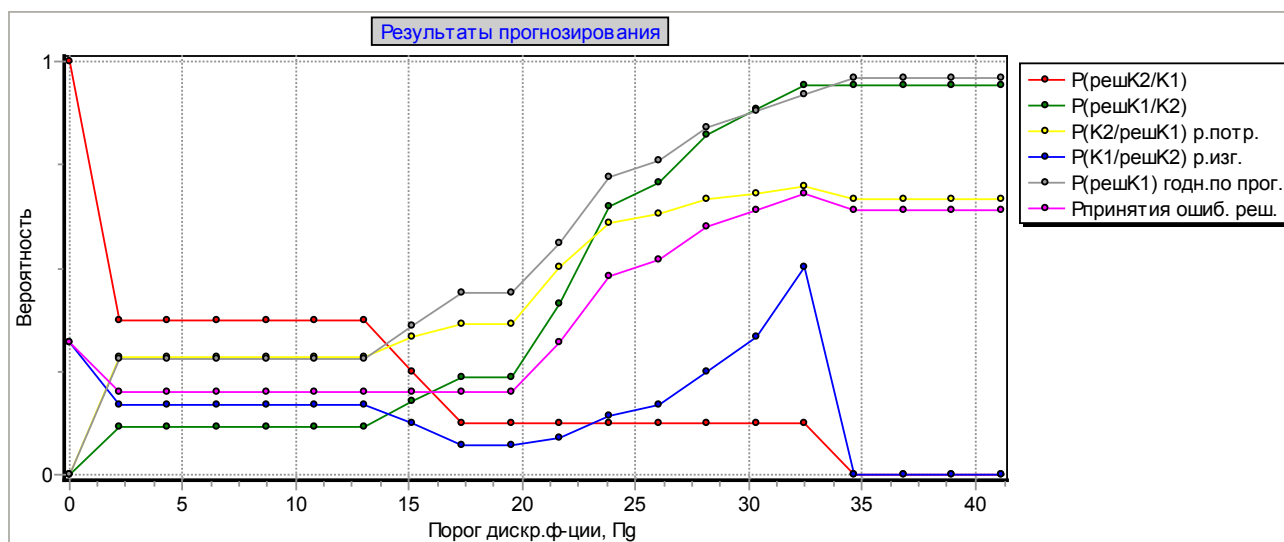


Рис. 4 – Влияние порога дискриминантной функции на характеристики эффективности модели ИП стабилизаторов (1 режим испытаний)

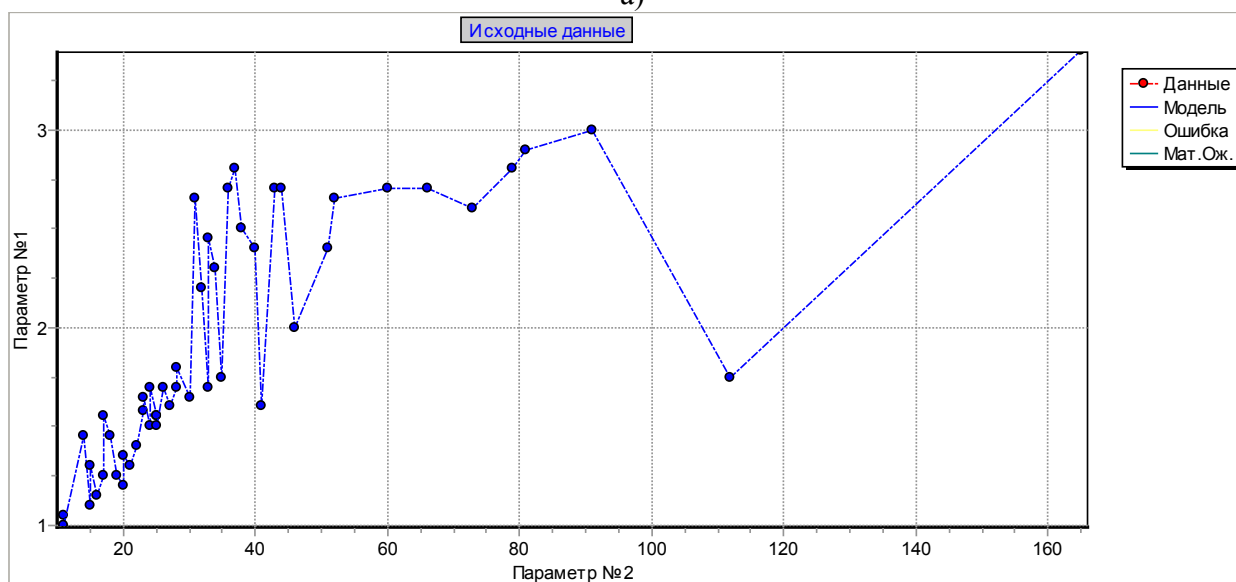
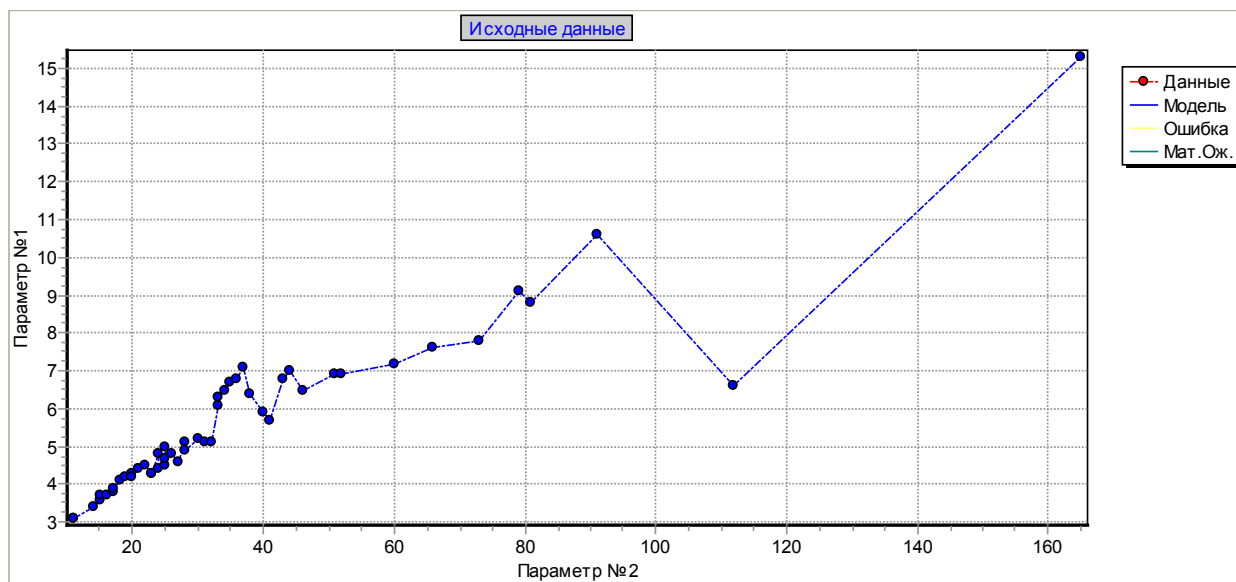


Рис. 5 – Поля корреляции для выборки КМОП микросхем 3 типа

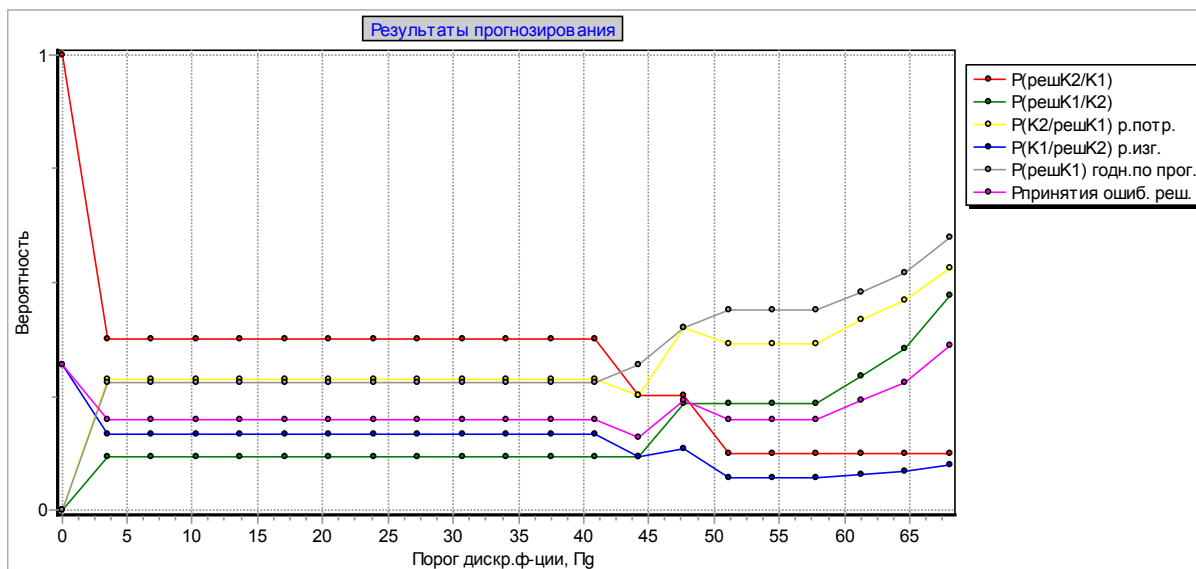
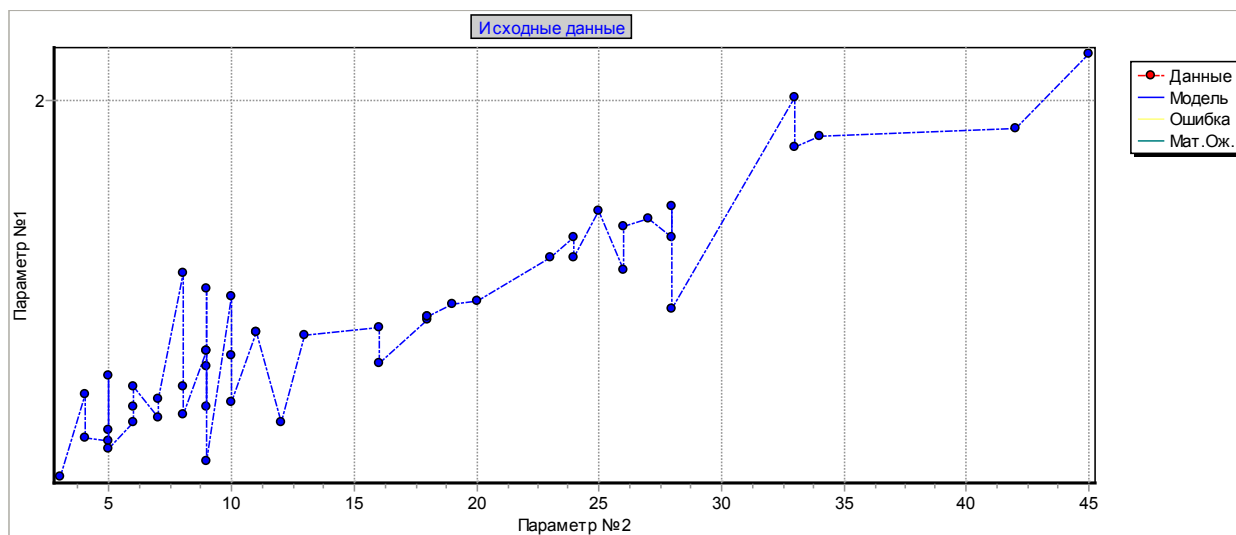
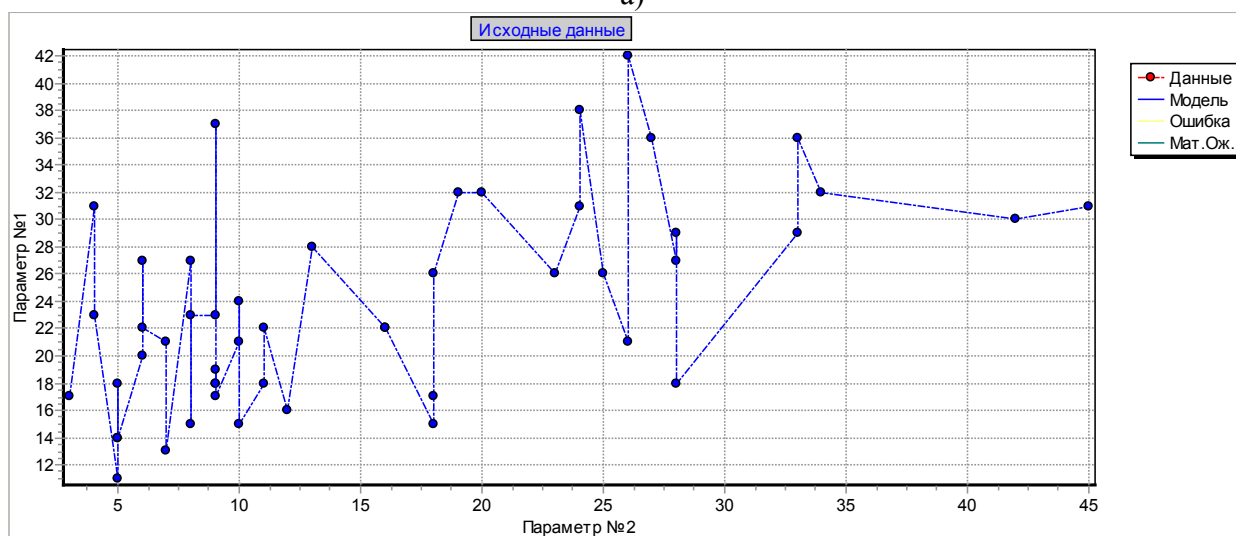


Рис. 6 – Влияние порога Π_g на характеристики эффективности модели ИП для КМОП ИМС 3 типа

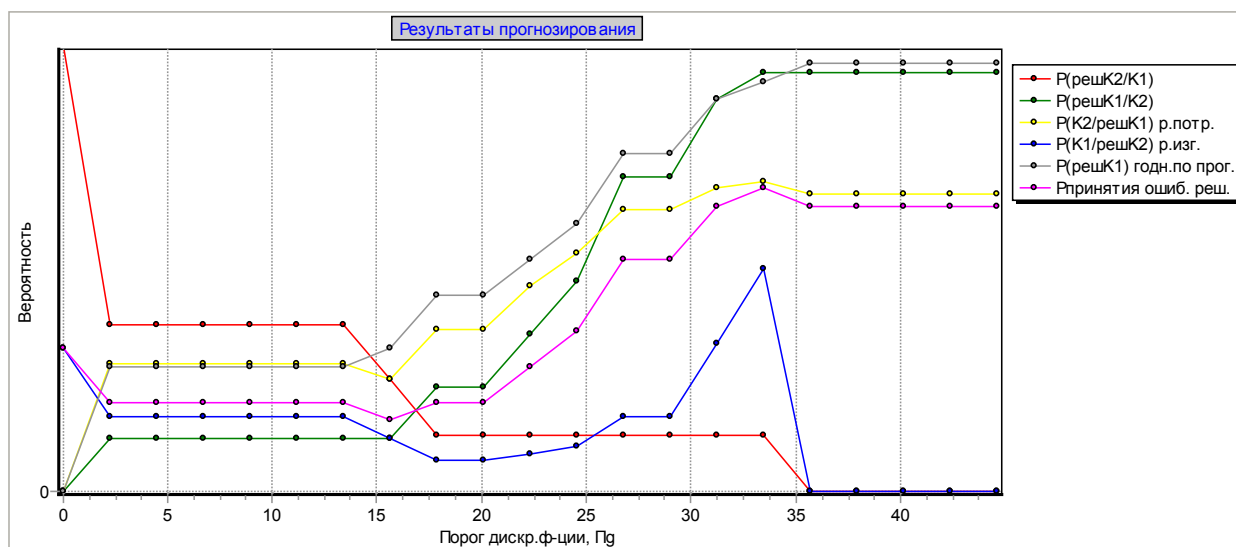


а)



б)

Рис. 7 – Поля корреляции для выборки стабилизаторов (2 режим испытаний)

Рис. 8 – Влияние порога P_g на характеристики эффективности модели ИП для стабилизаторов (2 режим испытаний)

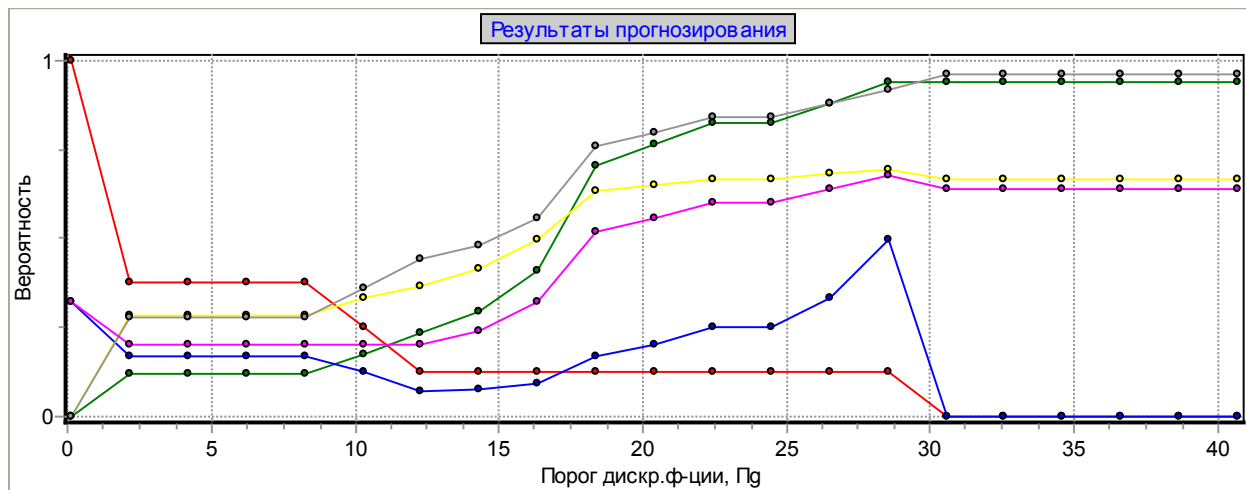
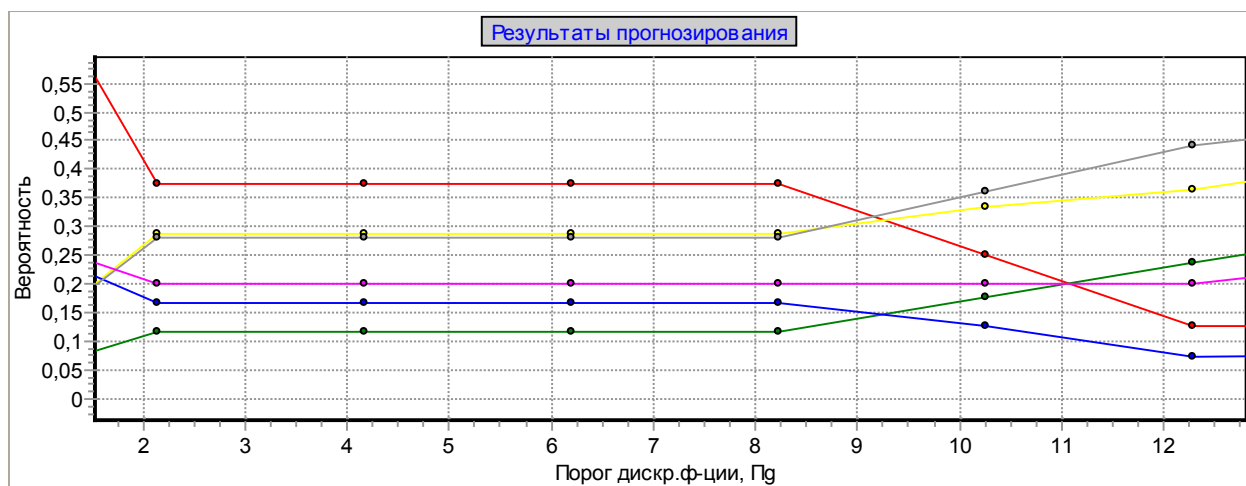
Рис. 9 – Влияние порога Π_g на характеристики эффективности резистивных элементов

Рис. 10 – Увеличенная часть рисунка 9

Заключение

Построены модели ИП для ряда критичных ЭРИ на основе метода дискриминантных функций. Полученные модели обеспечивают высокую эффективность прогноза ($P_0 \leq 0,08$). На основе экспериментальных исследований ЭРИ подтверждено, что МДФ эффективен в тех случаях, когда классы элементов не имеют взаимопроникновений.

Список литературы

1. Hu C. IC reliability simulation // IEEE Solid-State Circuits. 1992. Vol. 27, № 3. P. 241-246.
2. Roy Wheeler. Design for reliability reshapes designing // ED. 1991. № 1. P. 121-132.
3. Пуганов М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002. 267 с.

1.2.2.

Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, Ю.В. Горячкин канд. техн. наук, К. Ю. Панькин

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

В статье представлены результаты исследования режимов работы управляемого источника тока для испытания силовых полупроводниковых приборов на ток 10 А. Источник тока реализован на операционном усилителе и MOSFET. Результаты исследования получены на основе моделирования с использованием программной среды Multisim. Определены значения сопротивления шунта в цепи обратной связи и напряжения питания, при которых достигаются минимальные потери в элементах силовой цепи.

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор, источник тока, прямой ток, прямое напряжение, сопротивление шунта, источник питания, мощность потерь, MOSFET, моделирование.

Введение. Качество силовых полупроводниковых приборов (СПП) на всех стадиях их жизненного цикла определяет надёжность устройств силовой электроники. СПП, к которым относятся силовые диоды и тиристоры, на стадии изготовления подвергаются массовым испытаниям с целью оценки их качества, а также для проведения объективной отбраковки потенциально ненадёжных приборов. Оценка качества СПП осуществляется путём измерения их электрических и тепловых параметров в состояниях низкой и высокой проводимости при испытании [1].

В состоянии высокой проводимости (СВП) испытание и измерение параметров качества СПП осуществляются при пропускании через них обычно однократных импульсов прямого тока i_F для силовых диодов и тока в открытом состоянии i_T для силовых тиристоров. На рисунке 1 представлены некоторые типовые формы применяемых импульсов испытательных токов $i_{F(T)}$.

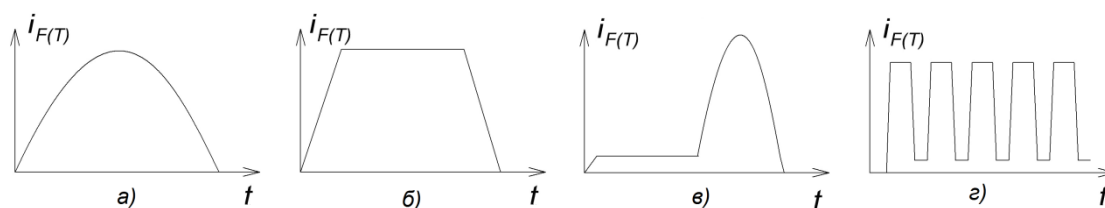


Рис. 1. – Графики различных временных зависимостей
испытательных импульсов тока $i_F(t)$ через СПП

Для испытания СПП и исследования их электрических и тепловых параметров и характеристик СВП применяются различного рода управляемые источники тока (УИТ) [2-5].

Задачей данной работы являлось выбор схемы УИТ и исследование его работы при различных значениях параметров электронных компонентов при испытании силового диода с целью минимизации электрических и тепловых потерь в УИТ и величины напряжения его питания при формировании испытательного режима СПП в СВП.

Создание и экспериментальное исследование режимов работы такого УИТ требует достаточно много финансовых затрат и занимает много времени. Моделирование позволяет сократить время исследования режимов работы УИТ и выбрать наиболее приемлемое его схемотехническое решение.

В данной статье приведены результаты моделирования УИТ формирующий через испытуемый диод импульс тока прямоугольной формы с регулируемой амплитудой I_{FM} до 10 А. Определен режим при, котором достигаются минимальные значения выделяемой мощности в выходном транзисторе и токовом шунте. Исследования разработанной модели УИТ проводилось в программной среде Multisim 11.

Модель источника тока. Для испытания СПП в СВП нами используется источник тока на основе операционного усилителя (ОУ) и MOSFET управляемый внешним источником напряжения, который реализован на основе персонального компьютера [3-5]. Управляющие импульсы выходного напряжения внешнего источника напряжения формируются программой, реализованной в программной среде LabVIEW. Это позволяет создавать множество различных форм импульсов тока $i_{F(T)}$ через СПП, что необходимо для получения информации о их электрических и тепловых параметров и характеристик в СВП.

На рисунке 2 представлена визуализация модели УИТ, реализованная в лицензионной программной среде Multisim 11.

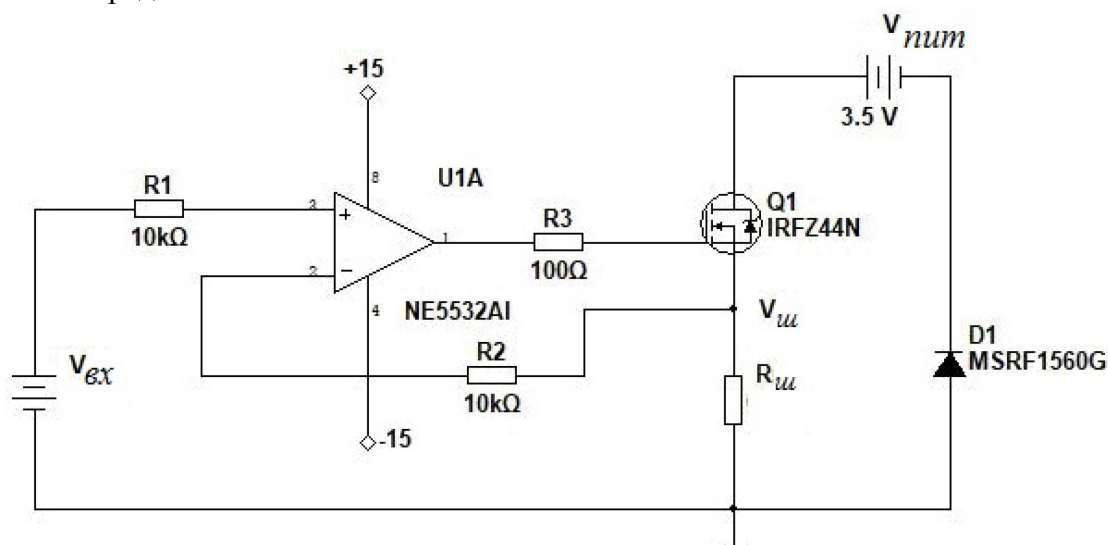


Рис. 2 – Визуализация модели УИТ в программной среде Multisim 11

Для моделирования из библиотеки Multisim были взяты следующие модели компонентов. Модель ОУ U1A NE5532AI и модель силового MOSFET Q1 IRFZ44N со следующими характеристиками $U_{cu} = 55$ В и $I_c = 49$ А. В качестве испытуемого прибора выбрана модель диода D1 MSRF1560G, рассчитанного на предельные значения обратного напряжения 600 В и прямого тока 15 А.

Результаты моделирования. Моделирование режимов работы УИТ в среде Multisim 11 проводилось при следующих условиях:

- значения входного напряжения U_{ex} изменялись в диапазоне от 0,001 В до 10 В;
- значения сопротивления шунта $R_{ш}$ выбирались в диапазоне от 0,01 Ом до 1 Ом;
- значения амплитуды тока I_{FM} в испытуемом диоде изменялись от 0,1 до 10 А.

По результатам моделирования в среде Multisim 11 определены минимальное значение U_{num} , при котором поддерживается необходимое стабильное значение амплитуды прямого тока I_{FM} в испытуемом диоде. По полученным результатам построен график зависимости минимального значения напряжения питания УИТ $U_{num \text{ мин}}$ от сопротивления шунта $R_{ш}$ (рисунок 3).

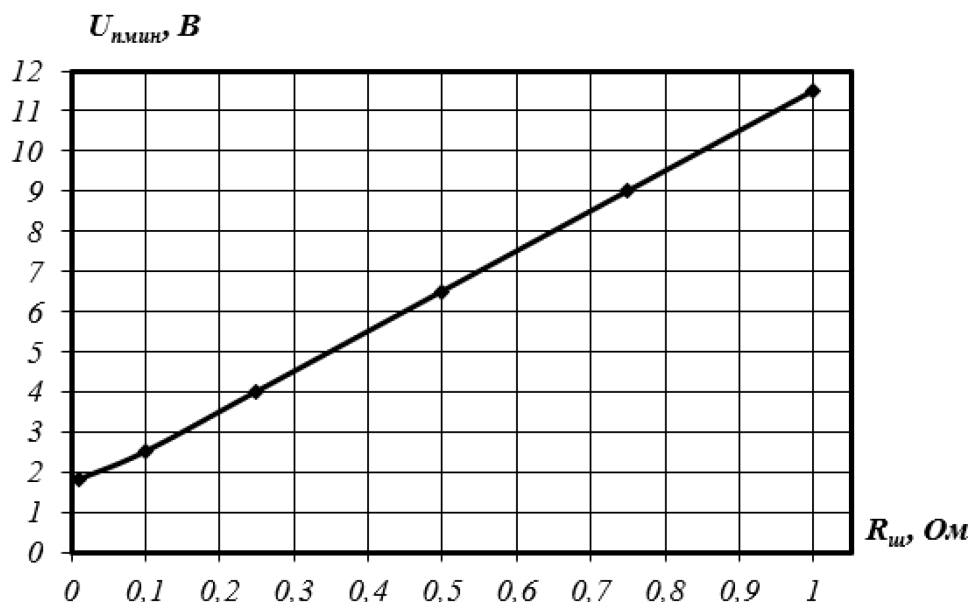
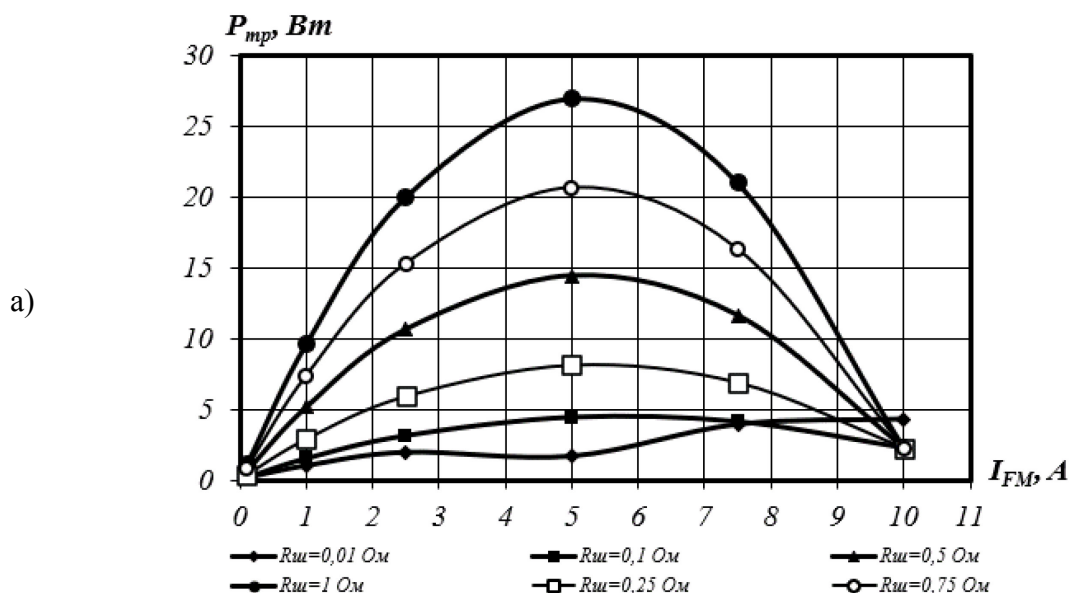


Рис. 3 – График зависимости минимального значения $U_{пит\ мин}$ от сопротивления шунта $R_{ш}$

Из рисунка 3 видно, что стабильное значение амплитуды прямого тока I_{FM} прямоугольной формы в испытуемом диоде возможно достигнуть при напряжении питания $U_{пит} = 2,5 \text{ В}$ и сопротивлении шунта $R_{ш}$. Эти результаты показывают, что для данной схемы УИТ возможно создать режим работы, при котором обеспечиваются условия минимизации электрических и тепловых потерь в электронных компонентах.

На основе полученных результатов моделирования также определены зависимости мощности электрических потерь в MOSFET и в сопротивлении шунта $R_{ш}$ от амплитуды импульса прямого тока I_{FM} прямоугольной формы. Ниже представлены графики зависимости мощности электрических потерь P_{mp} в MOSFET от амплитуды прямого тока I_{FM} при разных значениях сопротивления шунта $R_{ш}$ (рисунок 4 а) и мощности электрических потерь $P_{ш}$ в шунте $R_{ш}$ от амплитуды прямого тока I_{FM} при разных значениях сопротивления шунта $R_{ш}$ (рисунок 4 б).



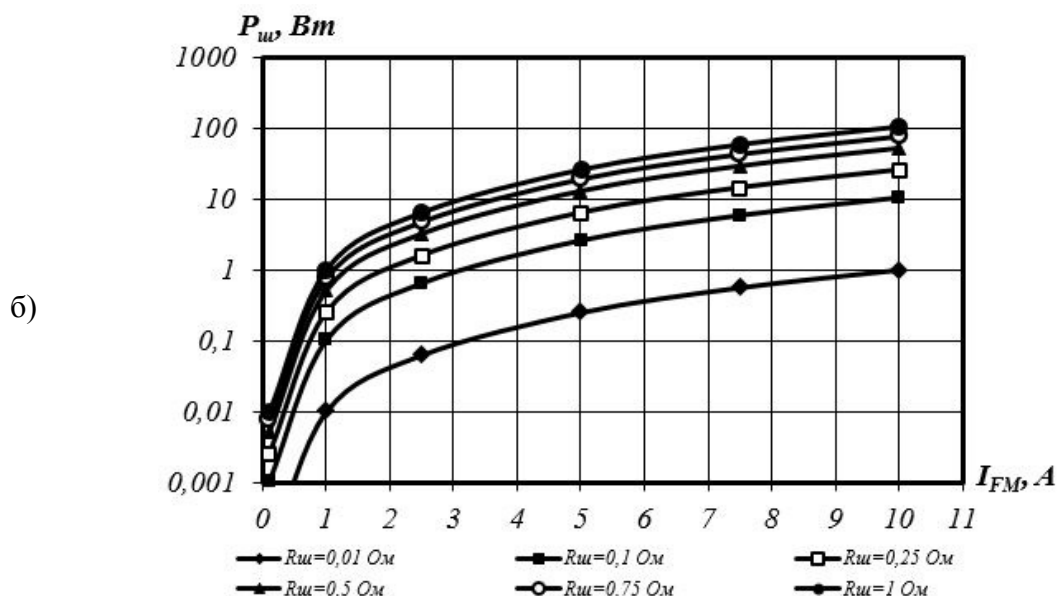


Рис. 4 – Графики зависимости мощности потерь $P_{ш}$ в MOSFET от I_{FM} (а) и мощности потерь $P_{ш}$ (б) от амплитуды прямого тока I_{FM} при разных значениях сопротивления шунта $R_{ш}$

Заключение. На основании полученных данных рассчитано КПД УИТ. При значении $R_{ш} = 1 \text{ Ом}$ КПД равно 11%, а при $R_{ш} = 0,01 \text{ Ом}$ 70%. Определено, что наиболее экономичный режим работы данного УИТ достигается при $R_{ш} = 0,01 \text{ Ом}$. При данном значении сопротивления $R_{ш}$ достигается минимальные значения мощности выделяемой в структуре MOSFET, что даёт возможность применения радиатора для его охлаждения с относительно малой площадью. Это позволяет уменьшить массогабаритные показатели реального УИТ.

В дальнейшем полученные результаты будут использованы при разработке аппаратно-программного комплекса для определения электрических и тепловых параметров и характеристик СПП на основе более мощного УИТ.

Список литературы

- ГОСТ 24461-80 (СТ СЭВ 1656-79) Группа Е69. Государственный стандарт Союза ССР.
- Мускатиньев А.В. Генераторы импульсного тока для подбора силовых тиристоров и диодов при параллельном включении // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Пенза: Пенз. гос. технол. ун-т. – 2017. – № 04(38). – С. 86 – 91.
- Беспалов Н.Н. Особенности измерения прямого падения напряжения на силовых тиристорах и диодах / Н.Н. Беспалов, А.В. Мускатиньев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – Вып. 5. – С. 116-118.
- Беспалов Н.Н. Управляемый генератор импульсов напряжения устройства для испытания силовых тиристоров в состоянии высокой проводимости / А.В. Мускатиньев, П.М. Дёмкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – Вып. 5. – С. 119-121.
- Беспалов Н.Н. Определение вольт-амперной характеристики силового диода с помощью программно-определяемого функционального источника тока. / Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, К. Ю. Панькин, И. О. Бектяшкин // XXIV Научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов: в 3 ч.: Технические науки. – Саранск: Мордов. Гос. ун-т, 2021. – С. 133-137.

1.2.2.

^{1,2}О.А. Васильева, ¹Г.А. Филиппов¹Московский государственный строительный университет,
Кафедра высшей математики,²Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,
Высший химический колледж,
Москва, vasilievaoa@mgsu.ru, g.philippov@yandex.ru

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе рассмотрен процесс производства строительных материалов, основанный на автокаталитической реакции двух реагентов, проводимой в конечном цилиндре. Приведена математическая модель рассматриваемого процесса. Математическая модель представляет собой начально-краевую задачу для системы двух нелинейных уравнений в частных производных второго порядка. Доказано, что решение задачи удовлетворяет закону сохранения массы. Проведено численное исследование математической модели, делаются выводы о применимости изучаемой модели.

Ключевые слова: *производство, строительные материалы, математическая модель.*

Рассмотрен процесс производства строительных материалов, основанный на автокаталитической реакции двух реагентов, проводимой в конечном цилиндре. Для математического описания автокаталитических реакций двухкомпонентной смеси применяется кинетическая система уравнений Карлемана, представляющая из себя систему двух дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка [1-6]. Указанная кинетическая модель достаточно полно изучена с математической точки зрения. Однако, учет в математической модели производных только первого порядка не позволяет корректно поставить краевые условия для случая проведения реакции в ограниченном цилиндре, что соответствует реальному процессу. Кроме того учет в математической модели производных второго порядка позволяет учесть дополнительные особенности процесса. Поэтому для описания изучаемого процесса в работе использована новая модель, предположенная в работах [7]. Учет членов второго порядка позволяет корректно с математической точки зрения сформулировать начально-краевую задачу для системы уравнений в частных производных и позволяет более точно описать процесс [7]. Рассматриваемая математическая модель представляет собой начально-краевую задачу для нелинейной системы уравнений в частных производных второго порядка. Доказано, что решение системы удовлетворяет закону сохранения массы. Проведено численное исследование математической модели. Приведены полученные численные результаты, проведено сравнение с результатами, полученными на основе кинетических математических моделей.

Рассмотрим процесс производства строительных материалов, основанный на автокаталитической реакции двух реагентов в конечном цилиндре. Проведем построение математической модели указанного процесса. Для упрощения анализа и сравнения результатов, полученных с использованием различных математических моделей [6], сформулируем математическую модель в приведенных переменных. Положим высоту цилиндра, в котором проводится реакция равной 1. В каждой точке цилиндра x ($0 < x < 1$) в момент времени t реагенты характеризуются своей плотностью. В процессе взаимодействия реагентов происходит изменение из плотностей, при этом происходит стабилизация. Другими словами при завершении реакции оба реагента должны иметь постоянные плотности в каждой точке цилиндра, т.е. наступает положение равновесия. Обозначим

отклонение плотностей реагентов от положения равновесия через $u(t, x)$ и $w(t, x)$. Частицы первого и второго реагентов имеют противоположно направленные скорости, равные по абсолютной величине 1. В этих обозначениях математическая модель имеет вид [7]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} &= -\frac{1}{\varepsilon}(u^2 - w^2) + \alpha\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\partial w}{\partial x} &= \frac{1}{\varepsilon}(u^2 - w^2) - \alpha\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) \end{aligned} \quad (a)$$

начальные условия

$$\begin{aligned} u(0, x) &= u^0(x), \\ w(0, x) &= w^0(x), \end{aligned} \quad (b)$$

граничные условия

$$\begin{aligned} u(t, 0) &= 0, \quad u(t, 1) = 0, \\ w(t, 0) &= 0, \quad w(t, 1) = 0. \end{aligned} \quad (c)$$

Здесь ε и α – константы, зависящие от конкретного процесса. Начальные и граничные условия удовлетворяют следующим соотношениям

$$\begin{aligned} u(0, 0) &= u^0(0), \\ w(0, 0) &= w^0(0), \end{aligned} \quad (d)$$

$$\int_0^1 u^0(x) dx = 0, \quad \int_0^1 w^0(x) dx = 0. \quad (e)$$

Начально-краевая задача (1)-(5) имеет стационарное решение

$$\begin{aligned} u(t, x) &= 0, \\ w(t, x) &= 0. \end{aligned} \quad (f)$$

Стационарное решение является положением равновесия, при котором реакция завершена.

Докажем, что решение задачи (1)-(5) удовлетворяет закону сохранения массы. Для этого сложим уравнения системы (1) и получим

$$\frac{\partial(u+w)}{\partial t} + \frac{\partial(u-w)}{\partial x} = 0.$$

Интегрируя по x от 0 до 1, имеем

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_0^1 (u+w) dx = \int_0^1 -\frac{\partial(u-w)}{\partial x} dx = (w(t, x) - u(t, x))|_0^1 = 0,$$

т.е. общая масса смеси остается неизменной в ходе реакции.

Рассмотрим случай начального распределения реагентов в противофазе, что соответствует наиболее длительному проведению реакции

$$\begin{aligned} u(0, x) &= -0.1 \sin(2\pi x), \\ w(0, x) &= 0.1 \sin(2\pi x). \end{aligned} \quad (g)$$

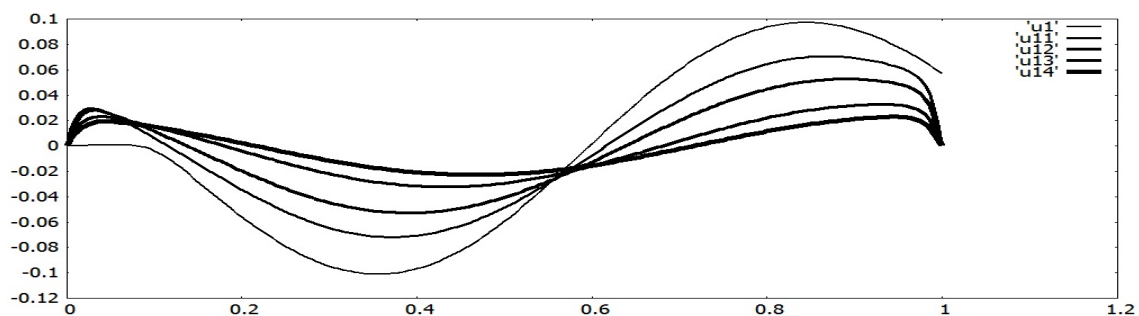


Рис. 1 – Сечение первой компоненты решения $u(x)$ при $t=0.1$

На рис. 1 приведено сечение при $t=0.1$ первой компоненты решения начальной краевой задачи для системы уравнений Карлемана U1 и сечения при $t=0.1$ первых компонент решений начальной краевой задачи (1)-(5) для различных значений α и $\varepsilon=0.2$. Параметр $\alpha=0.05, 0.1, 0.2, 0.3$ соответствующие кривые U11, U12, U13 и U14. На рис. 2 приведено сечение при $t=0.1$ второй компоненты решения начальной краевой задачи для системы уравнений Карлемана W1 и сечения при $t=0.1$ первых компонент решений начальной краевой задачи (1)-(5) для различных значений α . Параметр $\alpha=0.05, 0.1, 0.2, 0.3$ соответствующие кривые W11, W12, W13 и W14. Аналогичные сечения первой и второй компонент приведены на рис. 3 и рис.4 для значения времени $t=0.5$. На рисунках видно, что учет членов второго порядка в задаче (1)-(5) влияет на распределение плотности, а также на время проведения производственного процесса. Аналогичные результаты получаются и при других значения параметра ε .

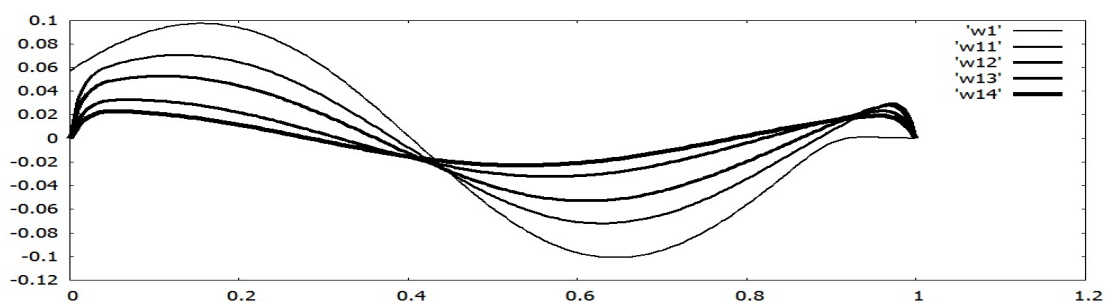


Рис. 2 – Сечение второй компоненты решения $w(x)$ при $t=0.1$

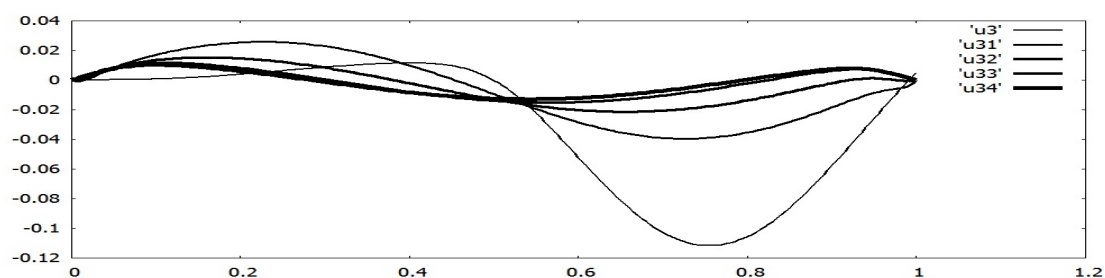


Рис. 3 – Сечение первой компоненты решения $u(x)$ при $t=0.5$

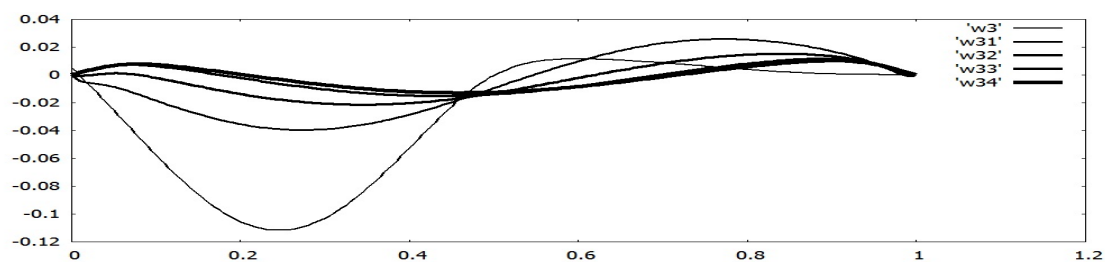


Рис. 4 – Сечение второй компоненты решения $w(x)$ при $t=0.5$

Рассмотрен процесс производства строительных материалов, основанный на автокаталитической реакции двух реагентов в конечном цилиндре. Сформулирована математическая модель, описывающая этот процесс, представляющая собой начально-краевую задачу для системы дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Доказано выполнение закона сохранения для решения задачи. Приведены и обсуждены примеры полученных численных результатов.

Список литературы

1. Годунов С.К., Султангазин У.М. О дискретных моделях кинетического уравнения Больцмана // Успехи МН. 1974. Т. XXVI. №. 3(159). С. 3-51.
2. Радкевич Е.В. О дискретных кинетических уравнениях // Доклады Академии наук. 2012. Т. 447. № 4. С. 369.
3. Ильин О.В. Изучение существования решений и устойчивости кинетической системы Карлемана // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2007. Т. 47. №12. С. 2076 - 2087.
4. Aristov V., Ilyin O. Kinetic model of the spatio-temporal turbulence // Phys. Let. A, 2010. Vol. 374. Pp. 4381 - 4384.
5. Vasil'eva O. Some results of numerical investigation of the Carleman system // Procedia Engineering 24th. "XXIV R-S-P Seminar – Theoretical Foundation of Civil Engineering, TFoCE 2015". 2015. Pp. 834-838.
6. Васильева О.А. Численное исследование системы уравнений Карлемана // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 7-15.
7. Vasil'eva O.A. Verification of the building materials production process mathematical model // J. Phys. Conf. Ser. 012157, 2020.

1.2.2.

¹А.А. Габидуллина, ²Н.В. Андреянов, ²В.С. Покровский, ²А.Д. Павлов¹ООО «Газпром трансгаз Казань»,
akella729@gmail.com,²Казанский национальный исследовательский университет им. А.Н. Туполева,
nik57643@ya.ru, pokrovski@bk.ru, googlabot@gmail.com

**ПРОКЛАДКА МАРШРУТА ГАЗОПРОВОДОВ
ДЛЯ УЧЕТА ОБЪЕКТОВ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОММИВОЯЖЕРА**

При рассмотрении актуальности проблем предприятий газового хозяйства, была выделена проблема построения оптимального маршрута прокладки газопровода низкого давления до новых конечных потребителей. Данная статья рассматривает решение задачи оптимальной прокладки газопровода низкого давления с использованием задачи коммивояжера методом ветвей и границ, использующий как входные данные геоданные точек, поданных заявок на выдачу технических условий.

Ключевые слова: точка подключения, управление заявками, технические условия, коммивояжер, прокладка газопровода.

Предприятия газового хозяйства играют важнейшую роль в разнообразии промышленности. Современные тенденции, повышающие эффективность управления промышленными объектами, приводят к огромному увеличению информационной загруженности [1]. Для анализа больших данных, получения аналитической информации необходимо подобрать оптимальный метод обработки информации [2].

В настоящий момент существует проблема определения оптимальной прокладки газопровода. Исследуя данный вопрос, было выявлено, что существует сайт, принимающий данные заявки (ручная обработка). Автоматизированный модуль исключит человеческий фактор и оптимизирует поставленную задачу, наладит процесс прокладки газопровода.

Целью – внедрение коллаборации имеющихся ресурсов и модуля оптимальной прокладки газопровода для повышения работоспособности газоснабжения. Основной целью — проектирование рабочей системы для построения оптимального маршрута прокладки газопровода с использованием технологий, предоставляемых картографическими API [3].

Задача маршрутизации состоит в определении множества маршрутов с минимальным значением критерия оптимизации. Кроме того, все маршруты должны начинаться в одной узловой точке ГРС и не замыкаться.

Для многокритериальной маршрутизации предлагается решить задачу в n-мерном пространстве, на которое накладывается ряд ограничений: охранные зоны, области земельных участков в собственности, количество потребляемого газа (информация из заявок).

Для решения задачи оптимальной прокладки газопровода необходима выгрузка координат из интерактивной карты (Рисунок 1).



Рис. 1 – Интерактивная карта точек заявок
(1:11 – точки заявок, T1, T2 – газораспределительные станции)

Рассмотрим на примере строящегося жилого комплекса метод вычисления расстояния по координатам между объектами газификации [4].

После выгрузки и преобразований координаты примут вид:

```
55.82081677778414,49.422735811980324,"т1"
55.822909614458155,49.44034183195405,"т2"
55.823293138151456,49.42675912550302,"з1"
...
55.8254552936992,49.43077171018885,"з11"
```

Для расчета расстояния между всеми возможными итерациями возьмем формулу расчета длины дуги, называемую модифицированной формулой гаверсинусов". (Формула 1) [6]:

$$\Delta\sigma = 2 \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\right), \quad (1)$$

где $\phi_1\lambda_1$ и $\phi_2\lambda_2$ - географические широта и долгота точек подачи заявок, $\Delta\phi, \Delta\lambda$ - абсолютные разности географических точек, $\Delta\sigma$ - центральный угол между абсолютными разностями географических точек.

Данное утверждение – теорема сферических косинусов (Формула 2 – Определение центрального угла):

$$\Delta\sigma = \arccos(\sin\phi_1 \sin\phi_2 + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \cos\Delta\lambda) \quad (2)$$

Формула расстояние d т.е. длины дуги, для сферы радиуса R и $\Delta\sigma$ приводятся в радианах $d = r\Delta\sigma$.

Применяя данную формулу для расчета расстояния по координатам между всеми возможными итерациями был написан программный код на JavaScript.

После расчета расстояний получаем результат для дальнейшего вычисления оптимального варианта прокладки газопровода [5]:

```
т1-т2 1124.440978229547
т1-з1 372.9094467010509
```

```
...
з11-з10 116.71551110924943,
```

где t_i – координаты расположения газораспределительной станции,

z_i – координаты точек запросов, $t_i - z_i$ – расстояние между координатами точек в метрах.

Распишем решение значений матрицы далее на примере.

Для наглядности, как произвольный маршрут, предположим (1:13 – ребра матрицы, ХО – множество ребер):

ХО=(1,2);(2,3);(3,4);(5,6);(6,7);(10,11);(7,8);(4,5);(8,10);(9,10);(11,12);(15,13); (13,1).

Для определения оптимального варианта решим методом ветвей и границ следующую задачу коммивояжера (Рисунок 2):

M	1124.	372.9	869.0	712.4	561.3	611.2	627.9	255.1	982.5	319.5	820.9	719.9
1124.	M	849.7	596.4	513.0	719.7	872.8	745.1	905.1	707.6	806.8	697.9	661.5
372.9	849.7	M	497.7	368.5	189.8	267.9	256.2	126.1	610.3	187.8	448.7	347.4
869.0	596.4	497.7	M	226.8	308.0	350.6	257.3	614.9	158.5	599.2	107.7	152.1
712.4	513.0	368.5	226.8	M	208.9	364.1	235.8	460.7	384.6	410.3	268.9	176.6
561.3	719.7	189.8	308.0	208.9	M	186.3	90.01	308.3	427.6	313.9	267.3	158.9
611.2	872.8	267.9	350.6	364.1	186.3	M	128.3	389.7	404.5	446.5	258.3	220.0
627.9	745.1	256.2	257.3	235.8	90.01	128.3	M	381.1	354.5	400.7	193.0	107.7
255.1	905.1	126.1	614.9	460.7	308.3	389.7	381.1	M	733.9	125.8	572.4	467.3
982.5	707.6	610.3	158.5	384.6	427.6	404.5	354.5	733.9	M	735.7	161.6	271.4
319.5	806.8	187.8	599.2	410.3	313.9	446.5	400.7	125.8	735.7	M	578.6	464.4
820.9	697.9	448.7	107.7	268.9	267.3	258.3	193.0	572.4	161.6	578.6	M	116.7
719.9	661.5	347.4	152.1	176.6	158.9	220.0	107.7	467.3	271.4	464.4	116.7	M

Рис. 2 – Матрица данных

В ячейках матрицы представлены ранее вычисленные всевозможные варианты расстояний точек на основе геоданных запросов (величина указана в метрах). Определим общую сумму всевозможных получившихся расстояний на основе значений множества ребер:

$F(X_0) = 1123 + 849 + 497 + 236 + 209 + 186 + 128 + 381 + 735 + 735 + 578 + 114 + 719 = 6490$ метров.

Применим операцию редукции, чтобы понять какова будет нижняя граница множества – в каждой строке матрицы D найдем минимальный элемент: $d_i = \min(j)d_{ij}$.

Повторим операцию со столбцами. Далее вычтем минимальные элементы. После чего получим редуцированную матрицу [6].

Для определения нижней границы, воспользуемся суммой констант приведения – $H : H = \sum d_i + \sum d_j$, равной сумме сумм, где d_i и d_j – расстояния, от одной точки подачи заявки и другой, соответственно. Длина маршрута определяется выражением: $F(M_k) = \sum d_{ij}$.

Расстояние от точки i до точки j – элементы матрицы d_{ij} . Так как в матрице n точек, следовательно D является матрицей n_{nx} с неотрицательными элементами $d_{ij} \geq 0$. Следует заметить – строка и столбец входят в маршрут единожды.

После определения исходных данных был написан программный код. В результате по дереву ветвлений гамильтонов цикл образуют ребра [6]:

(2,4), (4,5), (5,8), (8,3), (3,9), (9,1), (1,11), (11,6), (6,7), (7,13), (13,12), (12,10), (10,2).

Определенная длина оптимального маршрута: $F(M_k) = 3716$ метров.

Стоит отметить, при разработке модуля системы требуется сохранять различную информацию, для хранения информации использовалась свободная объектно-реляционная система управления базами данных (СУБД) PostgreSQL, также в некоторых задачах будет требоваться использовать механизм репликации [7].

Заключение

Сущностью метода – с помощью процедуры ветвления все множество допустимых решений задачи делится на последовательно уменьшающиеся подмножества. В итоге находится маршрут, протяженность которого меньше любого другого возможного варианта.

Внедрение модуля расчета и его графического вида увеличит значимость принятия управленческих решений, сократит временные затраты вычисления и принятия решений по оптимизации прокладки газопровода низкого давления, повысит достоверность данных

используемых при обработке входных данных, исключив человеческий фактор. Позволит принимать обоснованные решения при проектировании развития объектов газовой промышленности. Позволит систематизировать, а также укорит процесс обслуживания конечного потребителя.

Разработка модуля расчета и вывод оптимального маршрута прокладки газопровода в графическом виде, на основе полученных заявок выдачи технических условий, как метод уменьшения искажения информации и принятия оптимального решения – приоритетное направление обслуживания объектов газовой промышленности.

Список литературы

1. Емельянов С.В. Информационные технологии и вычислительные системы: Вычислительные системы. Математическое моделирование. Прикладные аспекты информатики. – М.: Ленанд, 86 – 96 (2015)
2. Тельнова Ю.Ф. Информационные системы и технологии: Научное издание. – М.: ЮНИТИ, 301 – 303 (2019)
3. Ковальчук А.К., Шайтура С.В. Основы геоинформационных систем - учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 230201, Фед. агентство по образованию. – М., 15 – 17 (2009)
4. Шайтура С.В., Сумзина Л.В. Геоинформационный сервис при выборе маршрута шелкового пути, 2, 16, 209 – 212 (2017)
5. Борознов В.О. Исследование решения задачи коммивояжера, Вестник, – Астрахань, гос. техн. ун-та, 2, 147-151 (2009)
6. Подшивалов С.Ф., Подшивалова К.С. Особенность использования метода ветвей и границ в задаче коммивояжера при неполном транспортном графе. – М, 50, 3, 134-140 (2014)
7. Гибадуллин Р.Ф., Зиннатов А.М., Перухин М.Ю., Гайнуллин Р.Н. Вестник технологического университета, 20, 24, 100-101 (2017).

1.2.2.

¹А.Ф. Галимянов, ²А.И. Галимянова, ¹Нгуен Тиен Дык¹Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра билингвального и цифрового образования,²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
кафедра информатики и прикладной математики,
Казань, anis_59@mail.ru, anisa.program@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ И ИНТЕГРАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ И АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ

В статье мы представляем решения для поиска решений для ИУГ. Также мы приводим несколько иллюстративных примеров для метода и сравниваем с результатами анализа. Мы описали общие определения и понятия, относящиеся к интегралам дробного порядка, дробному интегральному уравнению Грюнвальда – Летникова на конечном отрезке и интегральным уравнениям Грюнвальда – Летникова. Была рассмотрена трехслойная модель нейронной сети с прямой связью. Привели четыре примера, иллюстрирующих наши результаты. Программу написали на языке высокого уровня Python. Метод также иллюстрируется примерами и сравнивает результаты с результатами аналитического метода. В нашей статье мы доказали, что алгоритм ИНС имеет вычислительную эффективность и легкость для понимания.

Ключевые слова: Интегралы дробного порядка, интегральные уравнения, уравнению Абеля, интеграл Римана-Лиувилля, нейронной сети с прямой связью, линейная функция активации.

Основные определения. Мы рассмотрим общие определения и понятия, относящиеся к интегралам дробного порядка, дробному интегральному уравнению Грюнвальда – Летникова на конечном отрезке и интегральным уравнениям Грюнвальда – Летникова.

Дробные интегралы Римана-Лиувилля. Пусть $\varphi(x) \in L_1(a, b)$. Интегралы:

$$I_{a+}^{\alpha} \varphi = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^x \frac{\varphi(t)}{(x-t)^{1-\alpha}} dt, \quad x > a \quad (1)$$

$$I_{b-}^{\alpha} \varphi = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_x^b \frac{\varphi(t)}{(t-x)^{1-\alpha}} dt, \quad x < b \quad (2)$$

Где $\alpha > 0$ называются интегралами дробного порядка α . Первый из них называют иногда левосторонним, а второй – правосторонним. Операторы $I_{a+}^{\alpha}, I_{b-}^{\alpha}$ называют операторами дробного интегрирования. Таким образом, дробный интеграл – это конструкция, уже знакомая нам по уравнению Абеля.

Интегралы (1), (2) принято называть также дробными интегралами Римана-Лиувилля.

Производная Грюнвальда – Летникова. Для функции $f(x)$, заданной на всей прямой, положим:

$$(\Delta_h^{\alpha} f)(x) = (E - \tau_h)^{\alpha} f = \sum_{h=0}^{\infty} (-1)^h \binom{\alpha}{h} f(x - kh), \quad \alpha > 0 \quad (3)$$

где $\binom{\alpha}{k}$ – биномиальные коэффициенты

Введем функцию

$$f_{\pm}^{(\alpha)}(x) = \lim_{h \rightarrow +0} \frac{(\Delta_{\pm h}^{\alpha} f)(x)}{h^{\alpha}} \quad (4)$$

Где предел может рассматриваться в зависимости от изучаемых вопросов для каждого x , почти для всех x или по норме пространства X (X_2). Функцию (4) будем называть дробной производной Грюнвальда – Летникова.

Интегральная Грюнвальда – Летникова

Пусть $\alpha > 0$ и $\varphi(x) \in L_1(a, b)$. Отправляясь от (3) и (4), для всех x , интеграл

$$(J_{a+}^{\alpha} \varphi)(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{x-a} \varphi(x-t) t^{\alpha-1} dt \quad (5)$$

называть дробным интегралом Грюнвальда – Летникова.

ИУГ

ИУГ — это уравнение, в котором неизвестная функция $\varphi(x)$ стоит под знаком интеграла. Общий вид ИУГ, который мы рассматриваем, имеет вид:

$$(J_{a+}^{\alpha} \varphi)(x) + (T\varphi)(x) = f(x) \quad (6)$$

где

$(J_{a+}^{\alpha} \varphi)(x)$ дается в уравнении (5),

$(T\varphi)(x)$ — определенный интеграл, определяемый формулой:

$$(T\varphi)(x) = \int_a^b h(x, t) \varphi(t) dt \quad (7)$$

$f(x), h(x, t)$ известные функции; $h(x, t)$ интегрируемая функция на $[a, b]$,

$\varphi(x)$ это функция найти.

Численные результаты. Рассмотрим интегральное уравнение с дробным интегралом Грюнвальда-Летникова вида:

$$(J_{1+}^{\frac{1}{2}} \varphi)(x) + \int_0^1 h(x, t) \varphi(t) dt = \frac{2\sqrt{x-1}}{\sqrt{\pi}} + e^x + \frac{1}{2} \quad (8)$$

где $h(x, t) = e^x + t$

с точным решением $\varphi(t) = 1$

Мы обучаем сеть для десяти равноудаленных точек в области $[1; 2]$ с пятью скрытыми узлами. В таблице 1 показано сравнение аналитических и приближенных решений ИНС. Сравнение аналитических решений и решений ИНС показано на рис. 2. Функция ошибок представлена на рис. 3.

Таблица 1 – Аналитические результаты и результаты ИНС

X	Аналитический	ИНС	Ошибка
1.1	1	0.998603	0.001397
1.2	1	0.998665	0.001335
1.3	1	0.998721	0.001279
1.4	1	0.998751	0.001249
1.5	1	0.998735	0.001265
1.6	1	0.998659	0.001341
1.7	1	0.998509	0.001491
1.8	1	0.998272	0.001728
1.9	1	0.99794	0.00206
2	1	0.997503	0.002497

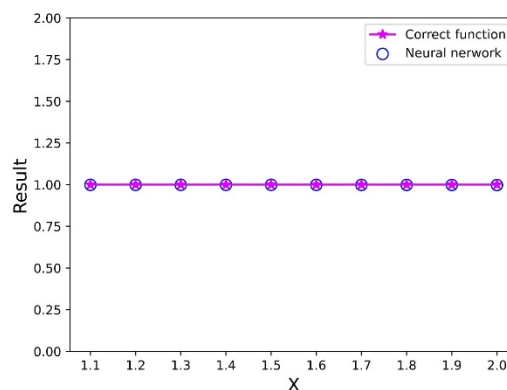


Рис. 1 – График результатов анализа и ИНС

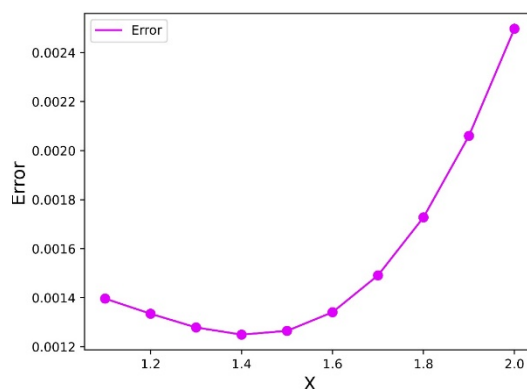


Рис. 2 – График ошибки между аналитическими результатами и результатами ИНС

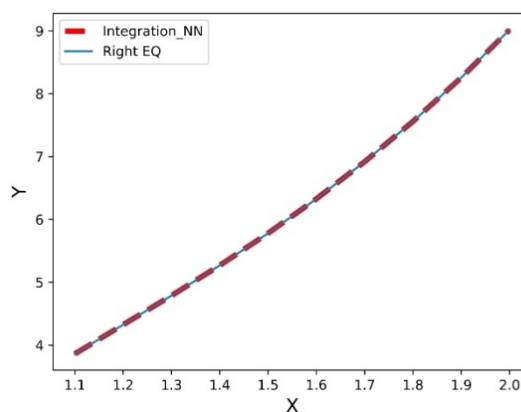


Рис. 3 – Проверить, что ИНС является решением интегрального уравнения

Список литературы

1. *Li X.* Numerical solution of fractional differential equations using cubic B-spline wavelet collocation method, *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 17 (2012) 3934–3946.
2. *Ciesielski M., Leszczynski J.* Numerical simulations of anomalous diffusion. In: *Computer Methods Mech, Conference Gliwice Wisla Poland*, 2003.
3. *Odibat Z.* Approximations of fractional integrals and Caputo fractional derivatives, *Appl. Math. And Comput.* 178 (2006) 527–33.
4. *Momani S., Odibat Z.* Numerical approach to differential equations of fractional order, *Journal of Computational and Applied Mathematics* 207 (2007) 96 – 110.
5. *Momani S., Odibat Z.* Analytical solution of a time-fractional Navier–Stokes equation by adomian decomposition method. *Appl Math Comput.* 177 2006 488–94.

1.2.2.

¹А.Ф. Галимянов, ²А.И. Галимянова, ¹Нгуен Тиен Дык¹Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра билингвального и цифрового образования,²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
кафедра информатики и прикладной математики,
Казань, anis_59@mail.ru, anisa.program@gmail.com

**МЕТОД ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ
С ДРОБНЫМ ИНТЕГРАЛОМ ГРЮНВАЛЬДА-ЛЕТНИКОВА
НА КОНЕЧНОМ ИНТЕРВАЛЕ**

В данной статье разработан метод, использующий искусственную нейронную сеть (ИНС) для приближенного нахождения решений дробного интегрального уравнения Грюнвальда–Летникова порядка α (ИИУГ). В работе сначала оценивается неизвестная функция на основе нейронной сети с прямой связью, затем аппроксимирующая функция подставляется в функцию ошибки соответствующего ИГИ и сеть с минимальным количеством нейронов обучается для достижения желаемой точности. Приведены некоторые наглядные примеры, демонстрирующие точность и эффективность этого метода. Также было проведено сравнение настоящих результатов с другими доступными результатами с использованием обычных методов.

Ключевые слова: Дробный интеграл Грюнвальда–Летникова; дробное интегральное уравнение Грюнвальда–Летникова; искусственная нейронная сеть; нейронная сеть с прямой связью.

1. Введение

Область математического анализа, называемая дробным исчислением, которая занимается исследованием и применением производных и интегралов произвольного (действительного или комплексного) порядка, имеет долгую историю. Это сложная тема, имеющая взаимосвязь с различными задачами теории функций, интегральных и дифференциальных уравнений и других разделов анализа.

В последние годы дробное исчисление приобрело популярность в научном сообществе, так как оно имеет широкий спектр приложений в различных областях науки и техники [1-5]. Некоторые результаты по дробным вычислениям можно найти в работах Олдхэма и Спаниера [8-10], которые занимаются исчислением дробей и его применением к различным задачам [6]; Статьи тех же авторов содержат большой список работ с приложениями к химической физике, гидрологии, стохастическим процессам, теории вязкости и гравитации [7]. Существуют чисто прикладные статьи с использованием методов дробного исчисления, приложений интегрального исчисления и множественных интегральных уравнений [1, 2].

2. Структура нейронной сети с прямой связью

В этой статье мы рассматриваем трехслойную модель нейронной сети с прямой связью для данной проблемы. Мы используем структуру архитектуры нейронной сети, которая состоит из входного слоя с одним входным узлом, одного скрытого слоя и выходного слоя, состоящего из одного выходного узла. Начальные веса w_j от входного до скрытого слоя, и v_j от скрытого до выходного слоя, считаются случайными.

Выход $N(x, \Omega)$ выражается как

$$N(x, \Omega) = f^2\left(\sum_{j=1}^m v_j f^1(z_j) + b^2\right) \quad (1)$$

Где $z_j = w_j x + b_j$ и w_j — это вес от входа до скрытой единицы, v_j обозначает вес от скрытой единицы до выходной единицы, а b_j, b^2 — смещение для скрытого и выходного

узла, m иллюстрирует номера скрытых единиц, и f^1, f^2 называются функциями активации, в статье нами используются две функции активации:

1. Линейная функция активации (*Linear*): $f(x) = x$

2. Тан-Сигмоид (*Tan-Sigmoid*): $f(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1$

Архитектура трехслойной нейронной сети прямого распространения с пятью скрытыми узлами, одним входным и выходным слоем (с одним узлом):

3. Иллюстрация метода

Рассмотрим интегральное уравнение Грюнвальда–Летникова дробного порядка в виде уравнения 1:

$$(J_{a+}^{\alpha} \varphi)(x) + (T\varphi)(x) = f(x) \quad (2)$$

здесь $\varphi(x)$ — неизвестная функция, $n - 1 < \alpha \leq n$, n — целое число.

Основная идея метода:

Пусть $\varphi(t_i)$ будет приближенным решением, определяемым нейронной сетью с прямой связью с настраиваемыми параметрами (весами и смещением) и имеющим ту же форму уравнение:

$$(J_{a+}^{\alpha} \varphi)(x) + (T\varphi)(x) = f(x) \quad (3)$$

Нейронная сеть с одним входом и одним выходом, где $t_i = x_i$ — переменная φ .

Итак, уравнение 3 будет представлено:

$$(J_{a+}^{\alpha} \varphi)(t_i) + (\varphi)(t_i) = f(t_i) \quad (4)$$

$\varphi(t_i)$ является приближенным решением с регулируемыми параметрами (весами и смещениями) и имеет ту же форму уравнения 4. Итак, задачу уравнения 4 можно преобразовать в следующую задачу минимизации суммы квадратов ошибок (SSE) по отношению к параметрам сети (w и b).

$$\min_{w,b} \sum_i \{(J_{a+}^{\alpha} \varphi)(t_i) + (T\varphi)(t_i) - f(t_i)\}^2 \quad (5)$$

Приближенное решение $\varphi(t_i)$ использует сеть MLP, а параметры находятся с помощью вышеуказанной задачи минимизации.

Для решения этой проблемы доступно множество методов оптимизации, таких как методы сопряженных градиентов, квазиньютоновские методы или другие методы. Здесь используется квазиньютоновский метод BFGS (Бroyдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно).

После этапа оптимизации получаются оптимальные значения весов, поэтому при замене оптимальных параметров w^*, b^* в уравнении 5 пробное решение $\varphi(t_i)$ будет приближенным решением интегрального уравнения 4.

4. Численные результаты

Мы используем трехслойную нейронную сеть (входной слой, скрытый слой и выходной слой), функцию ошибок - SSE, функции активации для скрытого слоя - сигмовидную Tan, для выходного слоя - линейную. Для скрытого слоя можно использовать больше нейронов, чтобы получить более надежные результаты. Приближенные результаты модели ANN сравниваются с аналитическими существующими численными решениями каждого примера.

5. Заключение

В данной статье представлен подход к решению интегрального уравнения с интегралом Грюнвальда–Летникова с использованием модели искусственной нейронной сети. Метод также иллюстрируется примерами и сравнивает результаты с результатами аналитического метода. Алгоритм ИНС доказал свою простоту, вычислительную эффективность и легкость для понимания.

Список литературы

1. *Samko S.G., Kilbas A.A., Marichev O.I.* Fractional Integrals and Derivatives and Theory and Applications, 1993.
2. *Nishimoto K.*, Fractional derivative and integral, Pt I // J. Coll. Engng. Nihon Univ. 1976. Vol. B-17. P. 11-19.
3. *Laroche E., Knittel D.* An improved linear fractional model for robustness analysis of a winding system, Control Eng. Pract. 13 (2005) 659–666.
4. *Baleanu D., Diethelm K., Scalas E., Trujillo J.J.* Fractional calculus models and numerical methods, Series on Complexity, Nonlinearity and Chaos, World Scientific, 2012.
5. *Uchaikin V.* Fractional derivatives for physicists and engineers, Springer, Berlin (2013).
6. *Oldham K.B., Spanier J.*, The fractional calculus. N.Y.; London: Acad. Press, 1974. 234 p.
7. *Oldham K.B., Spanier J.*, Fractional calculus and its applications // Bull. Inst. Politehn. Iasi. Sec. 1. 1978. Vol. 24, N 3-4. P. 29-34.
8. *Atanackovic T.M., Pilipovic S., Stankovic B., Zorica D.* Fractional Calculus with Applications in Mechanics: From the Cell to the Ecosystem, Wiley-ISTE (2014).
9. *Nishimoto K.*, Fractional calculus (generalized integral and derivative) // on fractional calculus and its Applications: Proc. Symp., (Kyoto Univ., Res. Inst. Math. Sci. Kyoto, 1981. P. 1-32.
10. *Nishimoto K.*, Fractional calculus (Integrals and differentiations of arbitrary order). Koriyama: Descartes Press, 1984. 197 p.

1.2.2.

Х.М. Гукетлов, А.А. Дугулуггов, Б.А. Беканов, И.З. Сруков

ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
123guket@mail.ru

К РАСЧЕТУ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СВЕТОВЫХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ ЯСНОГО НЕБА МКО

Разработан метод расчета естественного освещения помещений с различными типами световых устройств использование, которого позволит повысить точность количественной оценки светового режима помещения в годовом цикле, а также осуществить переход к дифференцированному учету светового климата.

Ключевые слова: метод расчета, математическая модель, естественное освещение, световой поток, ясное небо МКО, фонари, световые устройства, световой климат.

Проблема дифференцированного учета светового климата может быть решена на основе разработки математической модели, которая, по сравнению с существующими методами расчета естественного освещения, более точно описывает перераспределение световых потоков в различных световых устройствах при ясном небе МКО.

Существующие методы расчета естественного освещения [1] с достаточной степенью точности воспроизводят физическую картину прохождения светового потока через различные типы световых устройств только при облачном небе МКО. Применение этих методов в случае ясного неба приводит к грубым ошибкам. Это связано с большим градиентом и динамикой распределения яркости по ясному небу, а также с тем, что при наличии солнечного света значительный удельный вес в суммарной освещенности помещения приобретают световые потоки, проникающие в помещение в результате отражения солнечных лучей от ограждающих поверхностей покрытия.

В связи с этим возникла задача разработки математической модели прохождения светового потока в помещение при ясном небе МКО через различные типы световых устройств.

Точно воспроизвести картину прохождения светового потока при ясном небе МКО представляет сложную задачу, так как она зависит от многих трудноучитываемых факторов. Поэтому в первом приближении математическая модель прохождения световых потоков в помещение может быть разработана при следующих упрощающих допущениях:

- Поверхности ограждающих конструкций покрытия и внутренние поверхности солнцезащитных устройств отражают свет по закону Ламберта.
- При отсутствии прямого солнечного света на проеме солнцезащитные устройства убраны, при попадании прямого солнечного света на проем солнцезащитные устройства полностью экранируют окно от прямых солнечных лучей.

Перераспределение световых потоков при прохождении через различные типы световых устройств, как видно из рис.1 различно, поэтому математическая модель описывается различными уравнениями [2]:

для зенитных точечных фонарей

$$E_{\text{ср}}^{\text{я}} = \frac{N_{\text{ф}} S_{\text{ф}}}{K_3 S_{\text{н}}} \tau_0 \tau_c r_2 G (\tau_{\text{пр}}^{\text{я.н.}} E_{\text{г}}^{\text{я.н.}} + \tau_{\text{пр}}^{\odot} E_{\text{г}}^{\odot}), \quad (1)$$

для прямоугольных фонарей

$$E_{\text{м}}^{\text{я}} = \frac{r_2 \tau_0}{K_3} K_{\text{ф}} \left[\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} L(z, \alpha) \sin z \cos z \, dz \, d\alpha + \frac{E_{\text{сум}}^{\text{б}}}{K_3} \tau_c \left[\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} \sin z \cos z \, dz \, d\alpha \right] \right], \quad (2)$$

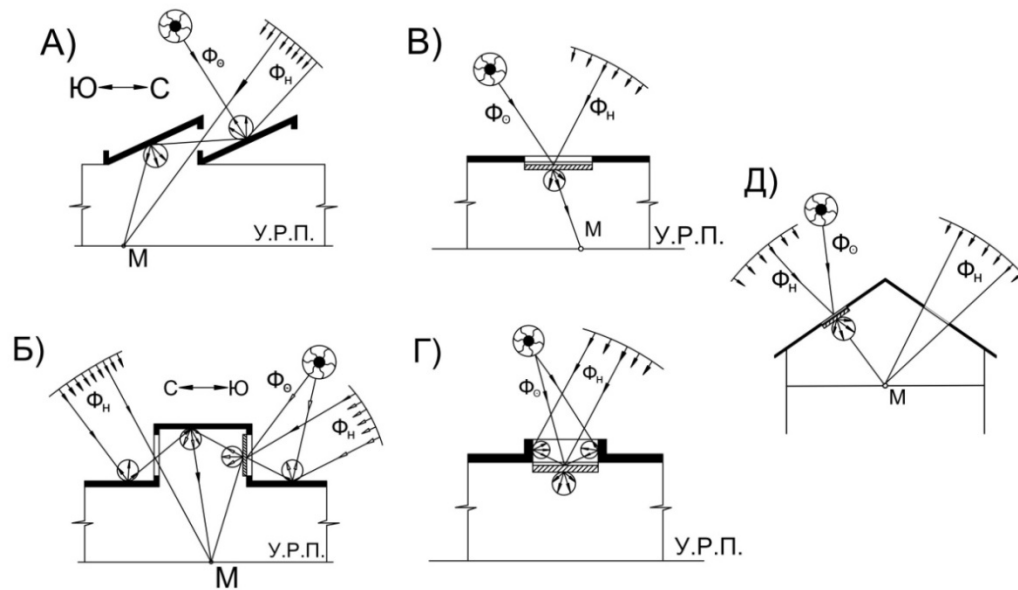


Рис. 1 – Схема прохождения световых потоков при ясном небе через шедовые (а), П-образные (б), зенитные ленточные (в), зенитные точечные (г) фонари и наклонно расположенные световые устройства (д)

для шедовых фонарей

$$E_M^{\text{я}} = \tau_0 r_2 \left[\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} L(z, \alpha) \sin z \cos z \, dz \, d\alpha + \frac{E_{\text{в.п.}} \rho_{\text{в.п.}}}{\pi} \tau_c \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} \sin z \cos z \, dz \, d\alpha \right], \quad (3)$$

для зенитных ленточных фонарей

$$E_M^{\text{я}} = \frac{E_{\text{г.н.}}^{\text{я}} + E_{\text{г.}}^{\odot}}{\pi} \tau_0 \tau_c r_2 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} \sin z \cos z \, dz \, d\alpha, \quad (4)$$

для наклонно расположенных световых устройств

$$E_M^{\text{я}} = \frac{(E_{\text{г.н.}}^{\text{я}} + E_{\text{г.}}^{\odot})}{\pi} \tau_0 \tau_c r_2 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_{z_1(\theta_1, \alpha)}^{z_2(\theta_2, \alpha)} \sin z \cos z \, dz \, d\alpha, \quad (5)$$

Здесь

$E_{\text{г.н.}}^{\text{я}}$ – наружная горизонтальная освещенность, создаваемая рассеянной составляющей ясного неба МКО,

$$E_{\text{г.н.}}^{\text{я}} = 2 \int_0^{\pi} \int_0^{\pi/2} L(z, \alpha) \sin z \cos z \, dz \, d\alpha,$$

$E_{\text{г.}}^{\odot}$ – прямая освещенность от Солнца на горизонтальной поверхности,

$$E_{\text{г.}}^{\odot} = \frac{1}{\Delta^2} C_{\odot} p^{\text{м}} \sin H_{\odot},$$

$E_{\text{сум}}^{\text{в}}$ – суммарная вертикальная освещенность на СЗУ,

$$E_{\text{сум}}^{\text{в}} = E_{\text{в.}}^{\odot} + E_{\text{о.к.}}^{\text{в}} + E_{\text{я.н.}}^{\text{в}},$$

Здесь

$E_{\text{в.}}^{\odot}$ – вертикальная освещенность на СЗУ от Солнца,

$$E_{\text{в.}}^{\odot} = \frac{1}{\Delta^2} C_{\odot} p^{\text{м}} \cos H_{\odot} \sin(A - A_{\odot}),$$

$E_{\text{о.к.}}^{\text{в}}$ – вертикальная освещенность на СЗУ от света отраженного от кровли

$$E_{\text{о.к.}}^{\text{в}} = \frac{(E_{\text{к.н.}}^{\text{я}} + E_{\text{к.}}^{\odot}) \rho_{\text{к.}}}{\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{\pi/2} L(z, \alpha) \sin z \cos z \, dz \, d\alpha,$$

Здесь

$E_{\text{к.н.}}^{\text{я}}$ – освещенность на плоскости кровли от рассеянной составляющей ясного неба МКО,

$$E_{\text{к.н.}}^{\text{я}} = \int_0^{\pi} \int_0^{\pi/2} L(z, \alpha) \sin z \cos z \, dz \, d\alpha + \int_{\pi}^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L(z, \alpha) \sin z \cos z \, dz \, d\alpha,$$

$E_{\text{к}}^{\odot}$ – освещенность на плоскости кровли, создаваемая прямым потоком от Солнца,

$$E_{\text{к}}^{\odot} = \frac{1}{\Delta^2} C_{\odot} p^{\text{м}} \sin H_{\odot} ,$$

$E_{\text{я.н.}}^{\text{в}}$ – вертикальная освещенность на СЗУ, создаваемая рассеянной составляющей ясного неба МКО,

$$E_{\text{я.н.}}^{\text{в}} = \int_0^{\pi} \int_0^{\pi/2} L(z, \alpha) \sin^2 z \cos z \, dz \, d\alpha ,$$

$E_{\text{в.п.}}$ – освещенность на внутренней поверхности шедового фонаря,

$$E_{\text{в.п.}} = E_{\text{в.п.}}^{\text{я.н.}} + E_{\text{о.к.}}^{\text{в}} + E_{\text{о.к.}} ,$$

Здесь

$E_{\text{в.п.}}^{\text{я.н.}}$ – освещенность на внутренней поверхности фонаря шед, создаваемая участком ясного неба МКО,

$$E_{\text{в.п.}}^{\text{я.н.}} = \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \int_{z_1(\theta_{12}, \alpha)}^{z_2(\theta_{13}, \alpha)} L(z, \alpha) \cos \alpha \sin(z - \frac{\pi}{2} + \beta) \sin z \, dz \, d\alpha ,$$

$E_{\text{о.к.}}^{\text{в}}$ – освещенность на внутренней поверхности фонаря шед, создаваемая отраженным световым потоком Солнца и неба от кровли,

$$E_{\text{о.к.}}^{\odot} = \frac{(E_{\text{н.п.}}^{\text{я.н.}} + E_{\text{н.п.}}^{\odot}) \rho_{\text{н.п.}}}{\pi} \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \int_{z_1(\theta_{10}, \alpha)}^{z_2(\theta_{11}, \alpha)} \sin z \cos z \, dz \, d\alpha ,$$

Здесь

$E_{\text{н.п.}}^{\text{я.н.}}$ – освещенность на наклонной поверхности фонаря шед от ясного неба МКО,

$$E_{\text{н.п.}}^{\text{я.н.}} = \int_0^{\pi} \int_0^{z_2(\theta_7, \alpha)} L(z, \alpha) \cos \alpha \sin(z - \beta) \sin z \, dz \, d\alpha + \\ + \int_{\pi}^{2\pi} \int_0^{z_2(\theta_8, \alpha)} L(z, \alpha) \cos \alpha \sin(z + \beta) \sin z \, dz \, d\alpha ,$$

$E_{\text{н.п.}}^{\text{я.н.}}$ – освещенность на наклонно расположенном световом устройстве от ясного неба МКО,

$$E_{\text{н.п.}}^{\text{я.н.}} = \int_0^{\pi} \int_0^{z_2(\theta_3, \alpha)} L(z, \alpha) \cos \alpha \sin(z - \beta) \sin z \, dz \, d\alpha + \\ + \int_{\pi}^{2\pi} \int_0^{z_2(\theta_4, \alpha)} L(z, \alpha) \cos \alpha \sin(z + \beta) \sin z \, dz \, d\alpha ,$$

$E_{\text{н.п.}}^{\odot}$ – прямая освещенность от Солнца на наклонной поверхности фонаря шед и на наклонно расположенном световом устройстве,

$$E_{\text{н.п.}}^{\odot} = \frac{1}{\Delta^2} C_{\odot} p^{\text{м}} \cos \Theta ,$$

$E_{\text{о.к.}}$ – освещенность на внутренней поверхности фонаря шед от части кровли, находящейся в тени,

$$E_{\text{о.к.}} = \frac{E_{\text{н.п.}}^{\text{я.н.}} \rho_{\text{н.п.}}}{\pi} \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \int_{z_1(\theta_9, \alpha)}^{z_2(\theta_{10}, \alpha)} \sin z \cos z \, dz \, d\alpha ,$$

Где

$E_{\text{ср}}^{\text{я}}$ – средняя освещенность в помещении; $N_{\text{ф}}$ – количество фонарей; $S_{\text{ф}}$ – площадь светового проема фонаря; $S_{\text{п}}$ – освещаемая площадь пола помещения; K_3 – коэффициент запаса; $\tau_{\text{о}}, \tau_{\text{с}}$ – общий коэффициент светопропускания заполнения светового проема без учета потерь света в СЗУ и коэффициент учитывающий потери света в СЗУ; γ_2 – коэффициент, учитывающий повышение освещенности благодаря отражению света от поверхностей помещения; G – коэффициент использования светового потока [3]; $\tau_{\text{пр}}^{\text{я.н.}}$, $\tau_{\text{пр}}^{\odot}$ – коэффициенты светопропускания незаполненного зенитного фонаря от рассеянной составляющей ясного неба МКО и прямой составляющей Солнца [4]; $E_{\text{м}}^{\text{я}}$ – освещенность в расчетной точке помещения; $\alpha_1, \alpha_2, \theta_1, \theta_2$ – угловые размеры проема видимого из расчетной точки; $L(z, \alpha)$ – функция распределения яркости ясного неба МКО [5]; $K_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий тип фонаря; $\rho_{\text{в.п.}}$ – коэффициент отражения внутренней поверхности фонаря шед; $\rho_{\text{н.п.}}, \rho_{\text{к.}}$ – коэффициент отражения наружной поверхности фонаря шед и кровли;

$\theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \theta_8, \theta_9, \theta_{10}, \theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}, \alpha_3, \alpha_4$ – угловые значения пределов интегрирования (рис. 2, 3); $A_{\odot}, A$ – азимуты Солнца и нормали к поверхности светового проема; Δ – расстояние от Земли до Солнца для рассматриваемого года в астрономических единицах; M – оптическая масса атмосферы; $H_{\odot}$ – высота стояния солнца; p – прозрачность атмосферы; $C_{\odot}$ – световая солнечная постоянная; θ – угол, образуемый нормалью освещаемой плоскости с направлением на Солнце; β – угол наклона фонаря шед и наклонно расположенных световых устройств.

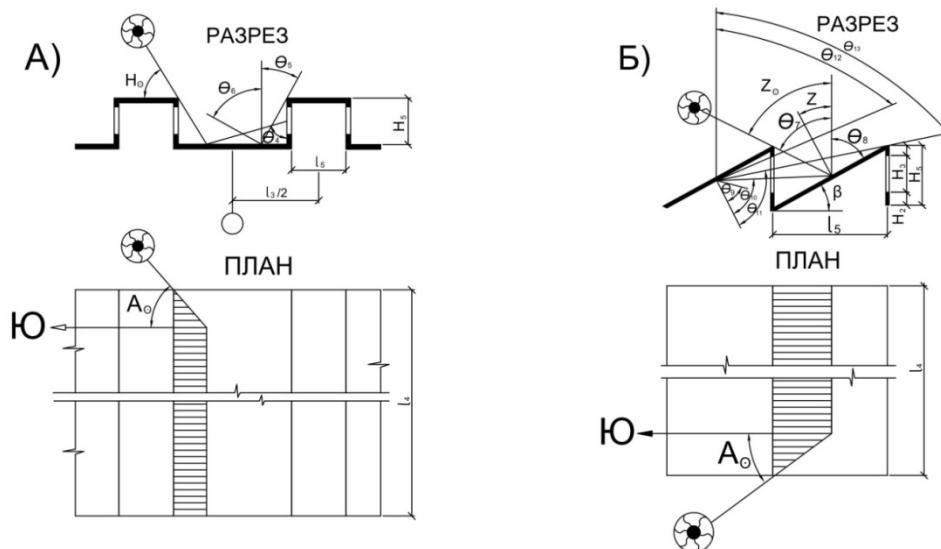


Рис. 2 – Схема к определению угловых значений пределов интегрирования для П-образного (а) и шедового (б) фонарей

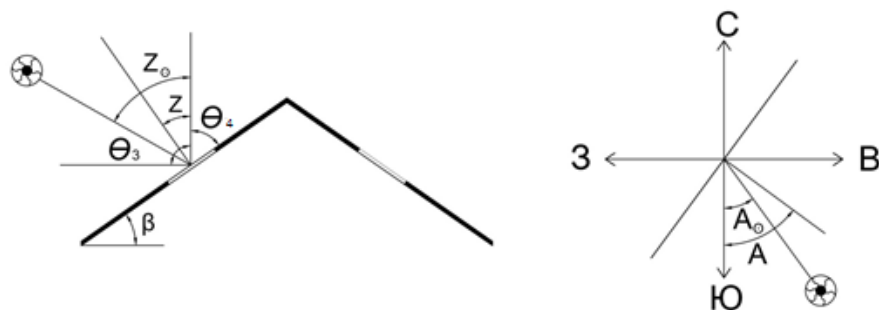


Рис. 3 – Схема к определению угловых значений пределов интегрирования для наклонно расположенных световых устройств

Решение двойных интегралов в приведенных выше формулах осуществляется с использованием кубатурной формулы Симпсона [5].

Для оценки точности уравнений (1) – (5) были проведены экспериментальные исследования на моделях помещения под естественным небосводом [6]. Результаты сопоставительного анализа показали, что среднеквадратичное отклонение расчетных данных от измеренных значений освещенности не превышает 10%.

Использование предложенных формул позволит повысить точность количественной оценки светового режима помещения в годовом цикле, а также осуществить переход к дифференцированному учету светового климата.

Список литературы

1. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. М., 1995. -35с.
2. Гукетлов Х.М. Метод дифференцированного учета светового климата при расчете и проектировании верхнего естественного освещения промышленных зданий: Автореферат кандидатской диссертации/ НИИСФ, 1985.
3. Киреев Н.Н. Расчет естественного освещения производственных помещений при применении плафонов верхнего света. – Промышленное строительство, 1964, №10, с. 30-33.
4. Гукетлов Х.М., Шогенов О.М, Машукова М.Х., Макушев И.З. К вопросу определения коэффициента светопропускания точечного зенитного фонаря при ясном небе. – Научно-технический вестник Поволжья – 2022. – №1 – С. 79-84.
5. Киреев Н.Н., Гукетлов Х.М. Расчет на ЭВМ естественного освещения помещения от ясного неба МКО. – Науч. тр. НИИСФ, 1983. Исследования по строительной светотехнике, с. 29-33.
6. Гукетлов Х.М. Экспериментальная проверка математической модели прохождения световых потоков через шедовые, П-образные и зенитные фонари. – Проблемы современной науки и образования. 2014. № 5 (23). С. 96-99.

1.2.2.

В.О. Каледин, Е.В. Решетникова, А.Д. Ульянов

Кузбасский гуманитарно-педагогический институт
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Кемеровский государственный университет»,
zbrg@mail.ru

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИНТЕГРАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ АЛГОЗИТ И SALOME

Предложены способы интеграции прикладных программ для расчетов в среде функционально-объектного программирования «Алгозит» со средствами твердотельного моделирования «Salome» и визуализации «ParaView». Рассмотрены способы преобразования входных и выходных данных расчетных программ в связи с популярными форматами представления структуры конечно-элементных моделей. Приводится реализация рассмотренных подходов с использованием комплекса функционально-объектного программирования «Алгозит».

Ключевые слова: визуализация результатов, импорт данных, твердотельное моделирование, функционально-объектная сеть.

«Алгозит» - среда визуального программирования функционально-объектных схем [1]. Основная область применения разрабатываемых приложений – решение задач прочности, устойчивости и колебаний пространственных конструкций [2, 3]. При модификациях математической модели возникает необходимость реализации новых алгоритмов с использованием среды «Алгозит». Приложения в среде «Алгозит» обладают преимуществом наглядного представления программного кода в сочетании с удобством отладки и доработки алгоритма. Однако эксплуатация программных комплексов может вызывать затруднения у неподготовленного пользователя.

Основные сложности встречаются на этапе подготовки данных для расчета. Традиционно для этой цели используются либо программы-генераторы данных, либо скрипты на встроенном языке «Ядро» [3]. Такой подход позволяет генерировать данные сеток любой сложности, но требует от пользователя повышенной компетенции и значительных затрат времени на разработку узкоспециализированного программного обеспечения.

Решением проблемы является интеграция решателя на основе «Алгозит» с развитыми средствами твердотельного моделирования, которые могут служить препроцессором данных. Одним из вариантов таких систем является «Salome» [5], имеющий открытую лицензию и распространяемый свободно.

Для подготовки данных решателя совместно используются приложение в среде «Алгозит» и «Salome». «Salome» является открытым средством геометрического моделирования с возможностью построения сетки для конечноэлементного анализа. Основные его модули – это «Geometry», «Mesh», «ParaVis».

Модуль «Geometry» используется для построения векторной геометрии модели. Модуль снабжен различными инструментами создания и редактирования примитивов. В нём возможна параметризация разрабатываемой модели. Модуль имеет средства импорта моделей из сторонних программ в форматах step, iges и т.д. для дальнейшего редактирования.

Модуль «Mesh» позволяет на основе объектов модуля «Geometry» генерировать промежуточные данные расчетных сеток, выполняя рутинную часть этого процесса – дискретизация векторной геометрии стандартными алгоритмами. Полученное разбиение также можно редактировать напрямую, изменяя положение точек или добавляя новые. Если получено несколько отдельных объектов «Mesh», то их можно объединить в одну модель, объединяя дубликаты вершин и элементов автоматически.

Важной частью подготовки модели является группировка ее составляющих. Группы будут использованы в дальнейшем для задания граничных условий, нагрузок и данных о сечениях элементов.

После окончания подготовки сетки ее можно экспортировать во множество форматов. Наибольший интерес представляет формат UNV, так как он является текстовым и включает всю необходимую информацию о вершинах, элементах и группах. На основе этих данных строится алгоритм окончательной подготовки входных данных расчетного приложения.

Визуализация результатов расчета выполняется модулем «ParaVis». Полученные выходные данные решателя могут быть отображены совместно с геометрией конечноэлементной модели. Наиболее удобным представляется использование формата VTK для визуализации геометрии и результатов. Средства модуля позволяют строить деформированную сетку с отображением цветовых полей на ней.

Средства геометрического моделирования, предоставляемые пакетом «Salome», удобно использовать для задания геометрии, топологии и областей конечно-элементной сетки. Но пакет не поддерживает средства экспорта сетки в формат решателя «Алгозит». Поэтому был разработан модуль импорта сетки с использованием формата UNV.

Моделируемый объект представляет собой трехслойное кольцо с гофрированным заполнителем. Заполнитель и стенки будут изготовлены из одного материала. Подготовленная векторная модель объекта представлена на рисунке 1а. Для ее создания были использованы средства построения твердотельной модели модуля «Geometry».

На рисунке 1б представлен объект, разбитый на подобласти встроенным алгоритмом дискретизации. Разбиение производилось в модуле «Mesh». Сетка на данном этапе может быть выгружена в формате UNV для дальнейших преобразований.

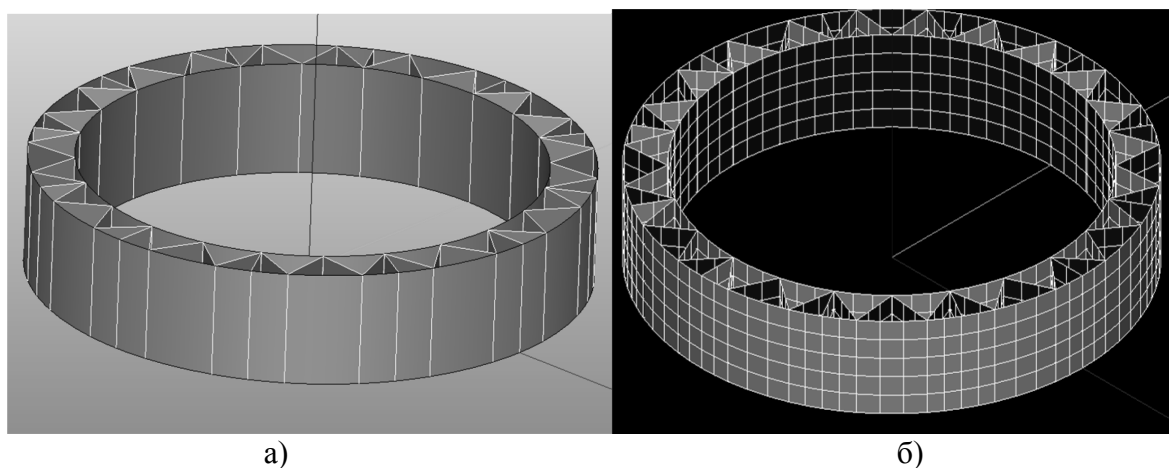


Рис. 1 – а) Векторное представление модели геометрической модели, б) - дискретное

Для преобразования данных необходимо использовать специализированное приложение «Алгозит импорт». Настройка процессов формирования атрибутивных данных проводится путем задания скриптов на встроенном языке программирования «Ядро». На рисунке 2 представлена часть приложения импорта данных. Панели агрегата «Узловые данные» используются для задания атрибутов узлов модели, а панели агрегата «Данные КЭ» - для атрибутов конечных элементов.

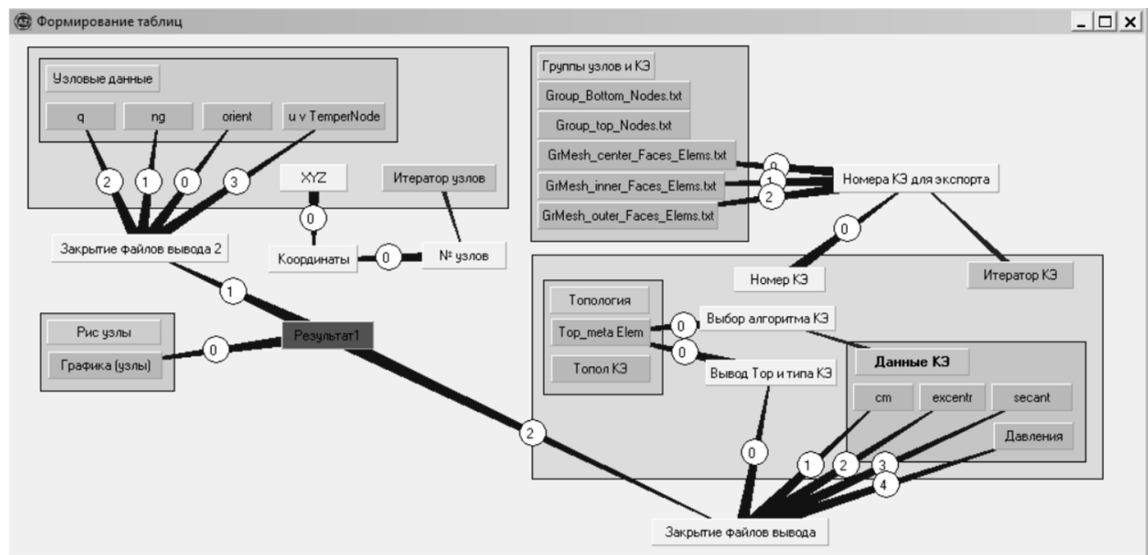


Рис. 2 – Функционально-объектная схема подготовки входных данных для решателя

Подготовленные данные подаются на вход приложению-решателю, реализованному в среде «Алгозит». На последнем этапе выполнения выходные данные преобразуются в формат VTK для дальнейшей визуализации и анализа.

Файлы имеют фиксированные имена: algo.vtk и stress_comp_<номер типа КЭ>_<имя компоненты>.vtk. Файл algo.vtk включает форму моделируемого объекта с узловыми перемещениями, а файлы группы stress_comp включают информацию о компонентах искомых полей в выбранной точке объема КЭ. На рисунке 3 представлен вид объекта, полученного в модуле «ParaVis» пакета «Salome». Были использованы файл формы algo.vtk для построения общей формы один из файлов группы stress_comp для построения поля напряжений.

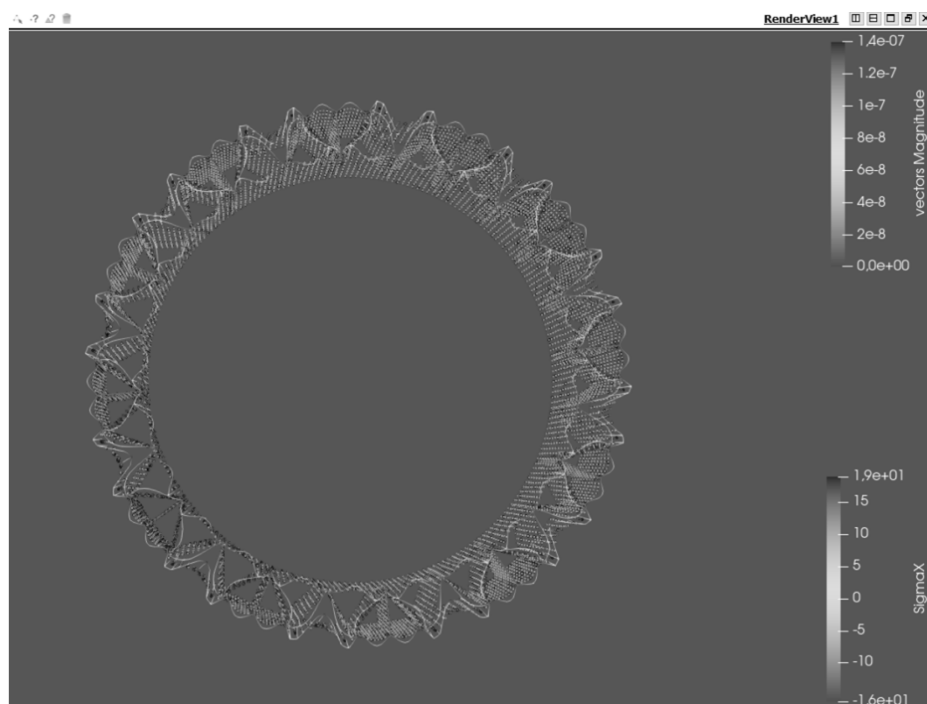


Рис. 3 – Форма моделируемого объекта с перемещениями и напряжениями с легендами

Визуализация результатов расчета в таком виде получена благодаря комбинации файлов с выходными данными и фильтра «Warp byVector».

Таким образом, благодаря разработанным программам конвертации данных трудоемкость подготовки тополого-геометрических данных существенно снижается за счёт использования наиболее подходящих инструментов обоих комплексов. Кроме визуализации выходных данных, этими же средствами может быть визуализирована исходная модель.

Список литературы

1. Паульзен А.Е. Разработка и апробация программного пакета для задач расчёта динамического деформирования многослойных преград при ударе / А. Е. Паульзен // Инженерный вестник Дона — Ростов-на-Дону, 2019 — вып, 57 — с. 32.
2. Каледин В.О. Алгоритмизация математических моделей [текст]: учеб. пособие / В. О. Каледин, Е. И. Васильева, Е. С. Вякин; М-во образования и науки Рос. Федерации, Новокузнец. ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та — Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2018. — 80 с.
3. Вякин Е.С. Разработка математической модели статического деформирования слоистых конструкций с несжимаемыми слоями / Е. С. Вякин, В. О. Каледин, Е. В. Решетникова, Е. В. Вякина, А. Е. Гилёва // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика — Томск, 2018 — вып, 55 — с. 72-83.
4. Каледин В.О. Концепции языка программирования «Ядро» [Текст]:метод.указ. / В.О. Каледин; НФИ КемГУ, — Новокузнецк,2010. — 47 с.
5. Salome Platform - The open-source platform for numerical simulation [Электронный ресурс]: официальный сайт программы Salome. – Режим доступа: <https://www.salome-platform.org/>

1.2.2.

Л.А. Кондратьева

«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра 805 «Математическая кибернетика»,
Москва, liudmila.kondratieva@inbox.ru

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ЦИКЛОВ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПЛОСКОСТИ

Предлагается итеративная процедура приближённого аналитического нахождения предельных циклов (замкнутых траекторий) двумерных систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Эффективность данного подхода демонстрируется на примерах систем Ван дер Поля, Лотки–Вольтерры и Брюсселятора. Приводится сравнение предлагаемого итеративного процесса с известным методом Поланда.

Ключевые слова: динамическая система, цикл, аналитическое приближение.

Введение

Задача точного аналитического нахождения циклов (замкнутых траекторий) динамических систем, практически, нерешаема даже при наличии априорной информации об их существовании и единственности. Проблема аналитической аппроксимации циклов остаётся актуальной и в относительно простом случае двумерной системы уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, y), \\ \dot{y} = g(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

с достаточно регулярным векторным полем (f, g) . Если система (1) порождает гладкий полупоток $\{S_t\}_{t \geq 0}$ и для неё существует устойчивый предельный цикл $\Gamma \subset \mathbb{R}^2$, то $S_t \Gamma = \Gamma$ для $t > 0$ и естественно попробовать реализовать Γ как предел итераций $\Gamma_i = S_{\Delta t_i} \Gamma_{i-1}$ при $i \rightarrow \infty$ с некоторой простой замкнутой начальной кривой $\Gamma_0 \subset \mathbb{R}^2$ и выбранными временными приращениями $\Delta t_i > 0$. Эволюционные операторы $S_{\Delta t_i}$ не удаётся записать аналитически, однако, возможна приближённая линеаризация

$$S_{\Delta t_i}(x, y) \cong (x, y) + \Delta t_i \cdot (f(x, y), g(x, y))$$

для точек $(x, y) \in \mathbb{R}^2$. Таким образом, можно говорить об аналитической аппроксимации циклов системы (1) с помощью «линеаризованных сдвигов» на плоскости. Если начальная кривая Γ_0 имеет гладкую параметризацию $\{x = x_0(t), y = y_0(t), t \in [\alpha, \beta]\}$, то кривые Γ_i задаются в явной форме $\Gamma_i: \{x = x_i(t), y = y_i(t), t \in [\alpha, \beta]\}$. Можно ввести естественную оценку отклонения кривой Γ_i от Γ_j для $i < j$. Эффективность описанного подхода демонстрируется на примерах трёх динамических систем: Ван дер Поля, Лотки–Вольтерры и «Брюсселятора».

1. Описание метода

Предполагаем существование для системы (1) ограниченной положительно инвариантной области $D \subset \mathbb{R}^2$, содержащей единственный устойчивый предельный цикл Γ и неустойчивую стационарную точку P внутри Γ . С помощью компьютерной визуализации определим форму цикла и, исходя из неё, возьмём за начальное приближение Γ_0 какую-

нибудь простую замкнутую (окружающую P) кривую с параметрическим заданием $x = x_0(t)$, $y = y_0(t)$, $\alpha \leq t \leq \beta$. Выберем подходящие временные приращения $\Delta t_1, \dots, \Delta t_n > 0$ и, начав с какой-нибудь простой замкнутой кривой $\Gamma_0 \subset D$ с заданным параметрическим представлением $x = x_0(t)$, $y = y_0(t)$, $t \in [\alpha, \beta]$, преобразуем её последовательно в кривую Γ_n по формулам

$$(x_i, y_i) = (x_{i-1}, y_{i-1}) + \Delta t_i \cdot (f(x_{i-1}, y_{i-1}), g(x_{i-1}, y_{i-1})), \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ и $(x_{i-1}, y_{i-1}) \in \Gamma_{i-1}$, $(x_i, y_i) \in \Gamma_i$. Фактически, на i -ом шаге итеративного процесса мы трансформируем кривую Γ_{i-1} в кривую Γ_i с помощью линеаризации эволюционных операторов $(x, y) \rightarrow S_{\Delta t_i}(x, y)$. При всех $i \geq 1$, параметр $t \in [0, 2\pi]$.

Качество приближения Γ_n можно связывать [1] с малостью расстояния (отклонения) Хаусдорфа $\rho_H(\Gamma_n, \Gamma)$ или (менее точно, но более конструктивно) с малостью величин $\rho_H(\Gamma_i, \Gamma_j)$ для достаточно больших $i < j$. Известно [1], что совокупность замкнутых подмножеств компакта $\overline{D} \subset \mathbb{R}^2$ с метрикой ρ_H само является компактом, т.е. при любом выборе начальной кривой Γ_0 последовательность траекторий $\{\Gamma_i\}_{i \geq 1}$ содержит подпоследовательность, сходящуюся в метрике Хаусдорфа. Нам, однако, будет удобно оценивать расстояние между кривыми Γ_i по более простому правилу

$$\rho(\Gamma_i, \Gamma_{i+1}) = \max_{[0, 2\pi]} \Delta_{ij}(t), \quad \Delta_{ij}(t) = \sqrt{(x_{i+1}(t) - x_i(t))^2 + (y_{i+1}(t) - y_i(t))^2}, \quad (3)$$

где $\rho(\Gamma_i, \Gamma_{i+1}) \geq \rho_H(\Gamma_i, \Gamma_{i+1})$.

Аналитические аппроксимации циклов динамических систем любой размерности с полиномиальным векторным полем можно получать [2–4] с помощью известной версии метода гармонического баланса [5]. При этом в систему (1) подставляются начальные отрезки длины $2N + 1$ рядов Фурье решений $x(t), y(t)$ с неопределёнными коэффициентами и неопределённой базовой частотой $2\pi / T$, после чего, соответствующие приближения коэффициентов Фурье и периода цикла T определяются из некоторой нелинейной системы уравнений. Метод Поланда [5] даёт аппроксимации периодических решений (1) и их периода, а не только замкнутой траектории, как в предлагаемом здесь «методе линеаризованного сдвига». В то же время объем и сложность вычислений в методике [5] резко возрастает с ростом параметра N , а точность аппроксимаций оказывается невысокой. С этих точек зрения излагаемый подход оказывается более выигрышным. Отметим, что оба метода – эвристические, их сходимость строго не обоснована.

2. Реализация предложенного алгоритма

Предложенная итерационная процедура предполагает постепенное приближение первоначальной кривой к траектории предельного цикла под воздействием смещения каждой её точки по вектору скорости. Форму цикла можно получить с помощью компьютерного моделирования при помощи пакета MAPLE. Для достижения более быстрого результата следует исследовать поле скоростей внутри предельного цикла и учитывать его особенности при построении итераций. Выбирая шаги по времени Δt_i , нужно следить, чтобы кривые Γ_i не выходили за пределы области, ограниченной траекторией цикла (или, по крайней мере, не покидали зону притяжения). Применим данную процедуру к трём классическим двумерным моделям нелинейной динамики, описанным, например, в работе [4].

Модель Ван дер Поля

Исторически, уравнение Ван дер Поля появилось в связи с исследованием нелинейных электрических цепей. Соответствующую модель можно записать как систему двух уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = -x - \mu(x^2 - 1)y. \end{cases}$$

Эта система имеет единственный устойчивый предельный цикл для каждого значения параметра $\mu > 0$. Применим процедуру аналитической локализации предельного цикла (для $\mu=1$). В качестве Γ_0 возьмём эллипс

$$x_0(t) = 1.3 \cos t + \sin t, \quad y_0(t) = 1.3 \cos t - \sin t \quad \text{с } 0 \leq t \leq 2\pi.$$

Выполним итерации (2) с шагами $\Delta t_1 = 0.4$, $\Delta t_2 = 0.3$, $\Delta t_3 = 0.04$, $\Delta t_4 = 0.01$. Выбор таких значений обусловлен требованием не выходить за пределы внутренней области цикла.

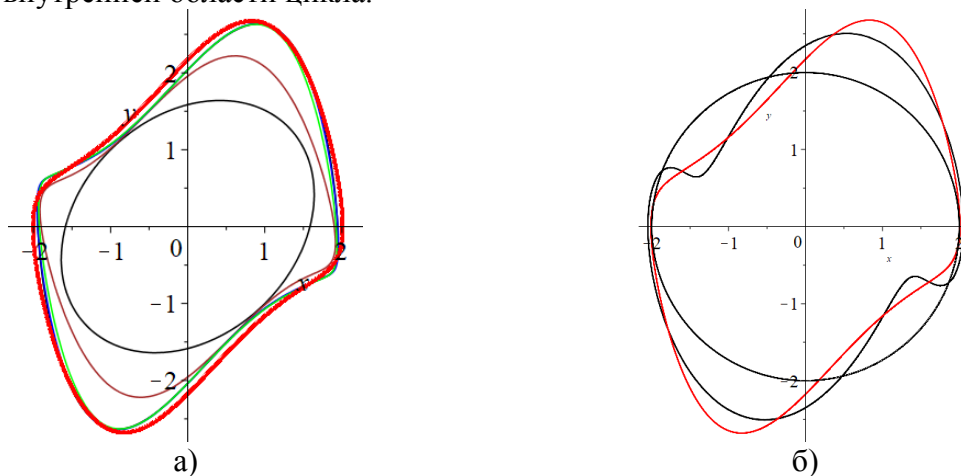


Рис. 1 – Аналитические приближения и предельный цикл (красная линия) в модели Ван дер Поля а) данным методом; б) метод Поланда

Уже на третьей итерации (рис. 1 а)) аналитическое приближение даёт траекторию близкую к предельному циклу. Для сравнения на рисунке 1. б) показаны приближения предельного цикла, построенные по методу Поланда. Можно видеть, что предлагаемый метод даёт лучшую аппроксимацию.

Пользуясь правилом (3), проанализируем расстояния между кривыми.

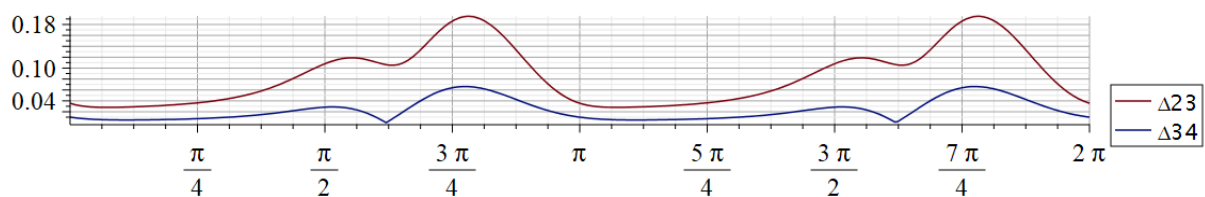


Рис. 2 – Сравнение графиков функций Δ_{23} и Δ_{34}

Из сравнения графиков функций Δ_{23} и Δ_{34} (рис. 2) видим, что расстояние между кривыми Γ_2 , Γ_3 и Γ_4 уменьшается. Итак, кривую Γ_4 (с округлением до 3 десятичных знаков):

$$\begin{aligned} x_4(t) &= 0.025 \sin t + 2.041 \cos t - 0.126 \cos 3t - 0.06 \sin 3t + 0.009 \cos 5t - \\ &\quad - 0.001 \sin 7t - 0.002 \cos 7t, \\ y_4(t) &= 0.159 \cos t - 1.916 \sin t - 0.682 \cos 3t + 0.139 \sin 3t + 0.098 \sin 5t + \\ &\quad + 0.074 \cos 5t - 0.008 \sin 7t - 0.006 \cos 7t + 0.001 \sin 9t \end{aligned}$$

можно рассматривать как хорошую аналитическую аппроксимацию траектории предельного цикла в модели Ван дер Поля.

Модифицированная модель Лотки–Вольтерры

Эта модель описывается системой уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = \alpha x^2(1 - x - y) - xy, \\ \dot{y} = -\beta y + xy. \end{cases}$$

Можно показать, что при $\alpha = 2.5$ и $\beta = 0.3$, система имеет устойчивый предельный цикл. Применим итеративную процедуру (2), начиная с эллипса

$$x_0(t) = 0.05 + 0.23 \cos t, \quad y_0(t) = -0.038 + 0.178 \sin t.$$

Анализ поля скоростей показывает, что следует учитывать области, где точки будут двигаться медленнее других. Далее заметим, что сдвиг по вектору скорости приводит к повороту кривой. Следовательно, поворот в другую сторону скорректирует конфигурацию кривой и ускорит процедуру получения аналитической аппроксимации цикла.

Последующие итерации проводятся для скорректированной кривой Γ_{cor} (рис. 3 а).

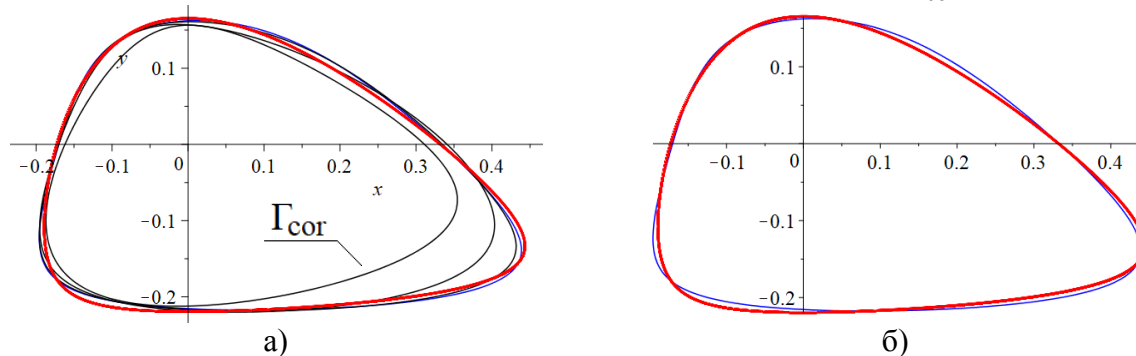


Рис. 3 – а) Скорректированная кривая Γ_{cor} и приближения Γ_3 , Γ_4 , Γ_5 в модели Лотки–Вольтерры; б) Γ_5 и предельный цикл – красная линия

Сравним кривые Γ_3 , Γ_4 , Γ_5 с траекторией предельного цикла, как видим (рис. 3 а), с каждой итерацией аналитическое приближение траектории предельного цикла улучшается. Проведем анализ расстояний $\rho(\Gamma_3, \Gamma_4)$ и

$\rho(\Gamma_4, \Gamma_5)$ между кривыми, исследуя графики функций Δ_{34} и Δ_{45} (рис. 4).

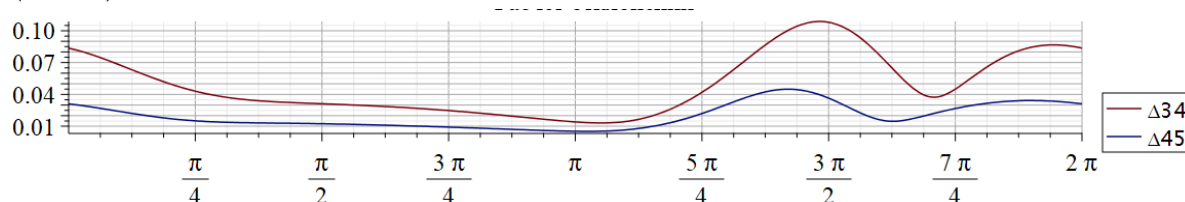


Рис. 4 – Сравнение графиков Δ_{34} и Δ_{45}

Итак, кривая Γ_5 (с округлением до 3 десятичных знаков):

$$\begin{aligned} x_5(t) &= 0.0468 + 0.169 \cos t - 0.244 \sin t - 0.069 \cos 2t - 0.051 \sin 2t - \\ &\quad - 0.004 \cos 3t + 0.024 \sin 3t - 0.07 \cos 4t + 0.001 \sin 4t - 0.002 \sin 5t, \\ y_5(t) &= -0.039 + 0.147 \cos t + 0.123 \sin t + 0.017 \cos 2t + 0.009 \sin 2t \\ &\quad + 0.003 \cos 3t - 0.003 \sin 3t \end{aligned}$$

является (см. рис. 3 б)) хорошим аналитическим приближением траектории предельного цикла в модифицированной модели Лотки–Вольтерры.

Брюсселятор

Одна из самых известных моделей колебательной химической реакции – так называемый «Брюсселятор»:

$$\begin{cases} \dot{x} = A + x^2 y - x(B + 1), \\ \dot{y} = Bx - x^2 y, \end{cases} \quad (A > 0, B > 0)$$

где $x(t), y(t)$ – концентрации двух различных химических веществ. При условии $B > 1 + A^2$ для данной системы можно установить существование устойчивого предельного цикла. Полагая $A=1$ и $B=3$, применим процедуру аналитической локализации замкнутой траектории. Проблема здесь заключается в большом разбросе величин модуля вектора скорости – от 0.04 до 150, что затрудняет равномерное движение исходной кривой Γ_0 к предельному положению Γ . В связи с этим необходимое число итераций и объем вычислений возрастает.

Возьмем исходное приближение Γ_0 в виде эллипса

$$x_0(t) = 1.4 + 0.14 \cos t - \sin t, \quad y_0(t) = 2.8 + 0.9 \sin t + \cos t$$

и начнём выполнять итерации (2). Чтобы уменьшить вычислительную трудоёмкость алгоритма, скорректируем вид кривой на втором и четвёртом шагах, используя визуализацию траектории цикла (будем поворачивать кривую, с учетом захвата области малых скоростей). Тогда последующие итерации (рис. 5 а)) дают кривые Γ_4, Γ_5 , где Γ_5 (с округлением до 3 десятичных знаков) имеет вид:

$$\begin{aligned} x_5(t) = & 1.431 + 0.089 \cos 4t - 0.001 \cos 12t + 1.264 \cos t - 0.006 \sin 12t + \\ & + 0.029 \sin 7t - 0.005 \sin 9t - 0.021 \cos 9t + 0.204 \sin 3t + 0.241 \cos 3t - \\ & - 0.004 \sin 13t - 0.008 \sin 10t - 0.008 \sin 11t + 0.001 \cos 15t - 0.001 \sin 15t \\ & - 0.007 \cos 5t - 0.002 \sin 14t - 0.037 \cos 6t + 0.005 \sin 8t - 0.032 \cos 8t \\ & - 0.011 \cos 10t + 0.001 \cos 16t - 0.04 \cos 7t - 0.004 \cos 11t + 0.001 \cos 14t \\ & - 0.47 \sin t + 0.47 \cos 2t + 0.17 \sin 4t + 0.119 \sin 5t + 0.07 \sin 6t + 0.044 \sin 2t, \\ y_5(t) = & 2.521 + 0.011 \cos 10t - 0.133 \cos 4t + 0.001 \cos 12t - 0.001 \cos 14t - \\ & - 0.712 \cos t + 0.003 \sin 9t + 0.021 \cos 9t + 0.005 \cos 11t + 0.006 \sin 12t + \\ & + 0.004 \sin 13t + 0.008 \sin 10t + 0.007 \sin 11t - 0.001 \cos 15t - 0.167 \sin 4t + \\ & + 0.001 \sin 15t - 0.009 \cos 5t + 0.038 \cos 7t - 0.008 \sin 8t - 0.001 \cos 16t + \\ & + 0.032 \cos 8t - 0.633 \cos 2t + 0.031 \cos 6t - 0.075 \sin 6t + 0.002 \sin 14t - \\ & - 0.31 \cos 3t + 1.477 \sin t + 0.196 \sin 2t - 0.159 \sin 3t - 0.122 \sin 5t - 0.033 \sin 7t. \end{aligned}$$

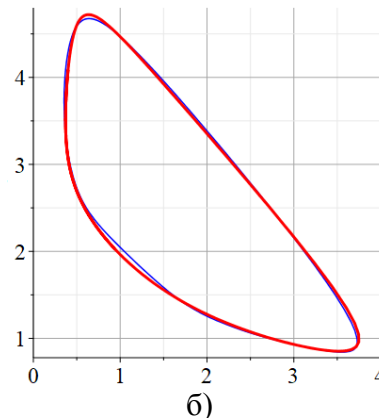
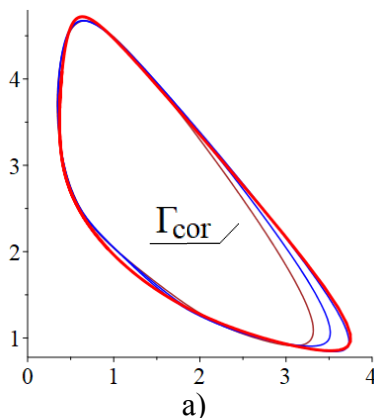


Рис. 5 – а) Скорректированная кривая $\Gamma_{\text{кор}}$ и приближения Γ_4, Γ_5 в модели «Брюсселятор»; б) кривая Γ_5 и предельный цикл – красная линия

Таким образом, кривая Γ_5 является (см. рис. 5 б)) очень хорошим аналитическим приближением траектории предельного цикла в модели «Брюсселятор».

Заключение

Предложена итеративная процедура аналитической аппроксимации циклов двумерных динамических систем. С вычислительной точки зрения данный подход выглядит проще известного метода Поланда и даёт лучшую точность. Эффективность предложенного итеративного процесса демонстрируется на примерах трёх классических нелинейных колебательных систем.

Список литературы

1. Хаусдорф Ф. Теория множеств. – М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. – С. 166-168.
2. Kondratieva L. Computational model for satellite periodic motion. In 21st International Conference on Computational Mechanics and Modern Applied Software Systems, CMMASS-2019, AIP Conference Proceedings. 2181, 020002. AIP Publishing, 2019. – P. 1-8.
3. Кондратьева Л.А. Приближённое аналитическое вычисление устойчивой периодической орбиты спутника // Вестник МАИ. 2012. № 1(19).– С. 75-80.
4. Кондратьева Л.А. Численно-аналитические методы локализации предельных циклов в математических моделях нелинейной динамики. Учебное пособие. – М.: Доброе слово и Ко, 2022. – С. 15-34.
5. Poland D. Loci of limit cycles // Physical Review E. 1994. No. 1(49). – P. 157-165.

1.2.2.

¹Ю.Г. Смирнов канд. физ.-мат. наук, ²И.В. Ивенина канд. техн. наук

Ухтинский государственный технический университет,
¹факультет экономики, управления и информационных технологий,
кафедра вычислительной техники, информационных систем и технологий,
²технологический факультет,
кафедра химии и химической технологии,
Ухта, iv_ivenina@list.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДИКИ РЕГЕНЕРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА В ЦИКЛЕ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ ВОД УСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассмотрен математический аппарат на основе обобщенной функции желательности Харрингтона для формирования интегральной оценки методики получения наночастиц магнетита. Использование указанного подхода позволило решить задачу выбора оптимальной методики регенерации магнитных наночастиц в технологической схеме очистки пластовых вод Усинского месторождения от нефтяного загрязнения.

Ключевые слова: *функция желательности Харрингтона, регенерация наночастиц магнетита, выбор методики.*

По результатам экспериментальных работ [1, 2] была установлена высокая эффективность извлечения нефти, находящейся в эмульгированном состоянии, из загрязненной воды с использованием неоднородного магнитного поля после предварительной обработки водонефтяной эмульсии наночастицами магнетита. Омагниченная нефть притягивается магнитами и легко извлекается из воды в виде нефте-магнетитной массы. Метод позволяет не только снизить содержание нефти в воде, но и довести показатель загрязнения до норм ПДК.

Для обеспечения замкнутого цикла очистки нефте-магнетитную массу подвергают переработке, заключающейся в восстановлении рабочего материала, то есть магнетита, и повторного его использования.

Осаждение магнетита осуществляется подщелачиванием раствора, содержащего смесь солей железа (II, III) в эквимольных соотношениях. В качестве основной химической реакции для получения наночастиц изначально использовали метод Рене Массарта [1, 2], основанный на использовании раствора аммиака для осаждения магнетита. Однако, с практической точки зрения, использование раствора аммиака имеет существенные недостатки, такие как: опасность производства при работе с аммиаком и связанные с этим меры предосторожности; образование солей аммония, что ведет к дополнительному загрязнению воды; трудности транспортировки; высокая стоимость аммиака по сравнению с другими возможными осадителями.

В связи с этим возник вопрос об использовании альтернативных методов осаждения ферромагнитных наночастиц. Среди исследованных осадителей наибольшую эффективность показал гидроксид натрия (NaOH). Для увеличения выхода магнетита соотношения концентраций реагирующих растворов солей железа и осадителя были подобраны эмпирически.

По результатам серии экспериментов [3] был получен ряд показателей, позволяющих провести сравнительную оценку двух методов получения рабочего раствора ферромагнитных наночастиц.

Целью настоящей работы является выбор оптимальной методики регенерации магнетита с использованием математического аппарата теории нечетких множеств.

Для решения многокритериальных задач, к каким относится рассматриваемая задача, одним из наиболее удобных способов выступает обобщенная функция желательности Харрингтона [4]. При построении обобщенной функции Харрингтона для конкретной решаемой задачи необходимо преобразовать натуральные значения рассматриваемых показателей в безразмерную шкалу желательности, которая откладывается по оси абсцисс [5].

При переводе значений частных показателей в безразмерную шкалу желательности получим набор частных желательностей d_i . Значение $d_i = 0$ соответствует худшему значению данного показателя, а значение $d_i = 1$ – самому лучшему. Значение $d_i = 0,37$ соответствует нижней границе допустимых значений (рис. 1).



Рис. 1 – Вид обобщенной функции желательности Харрингтона

Выделены интервалы стандартных оценок по шкале желательности и соответствующие им лингвистические оценки.

Функция желательности отражает зависимость показателей желательности d от безразмерных показателей y , в которые переводят натуральные показатели. Математически данная зависимость выражается соотношением:

$$d = \exp(-\exp(-y)) \quad (1)$$

Обобщенный показатель желательности D_i получается в результате свертки частных значений функции желательности d_i без учета коэффициента весомости, как среднее геометрическое, по формуле:

$$D = \sqrt[n]{\prod_i^n d_i} \quad (2)$$

Различным частным показателям могут быть присвоены разные веса с учетом экспертных оценок. Учет коэффициентов весомости показателей способствует повышению точности комплексной оценки.

При учете коэффициентов весомости m_i , формула для обобщенного показателя желательности выглядит следующим образом:

$$D = \prod_i^n (d_i)^{m_i} \quad (3)$$

Алгоритм расчета сводится к следующему. Для линейного участка функции Харрингтона можно перевести значения натуральных показателей x в безразмерные y по формуле:

$$y_0 = a_0 + a_1 x. \quad (4)$$

Из формулы (1), логарифмируя дважды, получим

$$\ln \left(\ln \frac{1}{d} \right) = -y. \quad (5)$$

С учетом соотношений (4) и (5) получим систему уравнений

$$\begin{cases} a_0 + a_1 x_1 = -\ln(-\ln(d_1)) \\ a_0 + a_1 x_2 = -\ln(-\ln(d_2)) \end{cases} \quad (6)$$

Решение этой системы уравнений позволяет найти значения коэффициентов a_0 и a_1 .

Таким образом, получаем уравнение линейной зависимости между рассматриваемым натуральным показателем x и безразмерным y . По этому уравнению можно найти значение безразмерного показателя y для любого значения x , а далее по формуле (1) – соответствующий показатель желательности d .

Для решения поставленной задачи, ориентируясь на линейный участок функции Харрингтона, положим $d_1 = 0,8$ («отлично»), $d_2 = 0,37$ («удовлетворительно»). Тогда, с учетом (6), получим

$$\begin{cases} a_0 + a_1 x_1 = 1,50 \\ a_0 + a_1 x_2 = 0,006 \end{cases} \quad (7)$$

Из (7), подставляя в качестве x_1 и x_2 их значения, соответствующие оценкам «отлично» и «удовлетворительно», находим численные значения коэффициентов a_0 и a_1 для первого показателя, затем аналогичным образом поступаем для нахождения указанных коэффициентов для всех других показателей.

В зависимости от типа информативных показателей расчет обобщенного показателя желательности D производится по формуле (2) или (3).

Таблица 1 – Сравнительные показатели очистки воды от эмульгированной нефти Усинского месторождения (исходное содержание нефти 20 мг/л) магнетитом, полученным двумя методами: методом осаждения гидратом аммиака и методом осаждения гидроксидом натрия

Соотношение нефть: магнетит, масс.	Содержание нефти в воде (мг/л) после очистки магнетитом, полученным через осаждение:					
	гидратом аммиака			гидроксидом натрия		
	x_i , мг/л	y_i	d_i	x_i , мг/л	y_i	d_i
1:0,5	6,2	0,506	0,5472	2,6	1,478	0,7960
1:1	5,5	0,695	0,6071	2,5	1,505	0,8009
1:2	3,4	1,262	0,7534	2,55	1,492	0,7985
1:3	2,04	1,629	0,8219	1,65	1,735	0,8382
1:4	0,64	2,007	0,8743	1,00	1,910	0,8624

В таблицах 1 и 2 приведен набор параметров (натуральных показателей), полученных экспериментальным путем, позволяющих произвести сравнительную оценку рассматриваемых методик регенерации.

Там же наряду с исходными параметрами приведены также рассчитанные по выше приведенным формулам безразмерные показатели и частные желательности для каждого параметра.

Таблица 2 – Сравнение токсичности и стоимости реагентов-осадителей

Критерий оценки	Используемый для осаждения раствор					
	гидрата аммиака			гидроксида натрия		
	x_i	y_i	d_i	x_i	y_i	d_i
Летучесть, ПДК в воздухе рабочей зоны	Летучий, ПДК аммиака 20 мг/м ³	-0,48	0,2	Не летучий, ПДК не регламентируется	1,5	0,8
Особые условия работы с реагентом	Требуется вытяжка	-0,48	0,2	Нет	1,5	0,8
ПДК продуктов реакции осаждения магнетита в воде объектов хозяйственно-питьевой культурно-бытового водопользования	Ионы аммония - 1,5 мг/л (по азоту)	-0,48	0,2	Ионы натрия - 200 мг/л	1,5	0,8
Стоимость* (Цены на сентябрь 2021 г.)	От 48 (техн.) до 480 ч.д.а.) руб/кг	1,34	0,77	От 46 (техн.) до 76 (ч.д.а.) руб/кг	1,50	0,80

*В связи с наблюдаемой в настоящее время неопределенностью цен на химические реагенты данный показатель в расчетах не обновлялся. Однако, в предлагаемой работе важным элементом является соотношение цен на два реагента-осадителя, которое не может существенно поменяться.

Заключение

Расчет обобщенных показателей желательности в соответствии с выше приведенным алгоритмом привел к следующим показателям:

- если для осаждения наночастиц магнетита использовался раствор аммиака, для обобщенного показателя желательности получили значение $D_1 = 0,621$;
- в том случае, когда для этой цели использовался раствор гидроксида натрия, получили обобщенный показатель желательности $D_2 = 0,861$.

Вычисленные обобщенные показатели желательности соответствуют лингвистическим оценкам «удовлетворительно» (D_1) и «отлично» (D_2).

Полученные результаты позволяют сделать однозначное заключение, что методика регенерации наночастиц магнетита с использованием в качестве осадителя гидроксида натрия существенно лучше методики с использованием раствора аммиака.

Список литературы

1. Лютое А.А., Смирнов Ю.Г., Ивенина И.В. Извлечение эмульгированных примесей нефти из воды при помощи высокодисперсных частиц магнетита // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. №4. С. 40-45.
2. Ивенина И.В., Смирнов Ю.Г., Лютое А.А. Исследование эффективности извлечения нефти из водонефтяной эмульсии при помощи ферромагнитных наночастиц // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №10. С. 98-101.
3. Ивенина И.В., Смирнов Ю.Г. Исследование возможности использования гидроксида натрия в цикле регенерации ферромагнитных наночастиц в ходе тонкой очистки воды от эмульгированной нефти // Естественные и технические науки. 2020. №3(141). С. 271-275.
4. Harrington, E.C., Jr. The Desirability Function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. №10. P. 494–498.
5. Никулин А.Н., Должиков И.С., Климова И.В., Смирнов Ю.Г. Оценка результативности и эффективности системы управления охраной труда на горном предприятии // Безопасность труда в промышленности. 2021. №1. С.66-72.

1.2.2.

А.И. Хайбуллина, А.Р. Хайруллин, В.К. Ильин, А.А. СинявинКазанский государственный энергетический университет,
Казань, haybullina.87@mail.ru**ТЕПЛООБМЕН И ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОРИСТЫХ СРЕД
СГЕНЕРИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ДИАГРАММЫ ВОРОНОГО**

В работе проведено численное моделирование теплообмена и гидродинамики в пористой среде. Построение трехмерной геометрии пористой среды основывалось на методе диаграммы Вороного. Численное исследование проводилось в программном продукте AnsysFluent. Полученные результаты согласуются с данными других авторов. Максимальной интенсивностью теплообмена во всем исследованном диапазоне обладает пористая среда с порозностью 0,743 и числом Рейнольдса 80. Минимальными гидравлическими потерями обладает пористая среда с PPI 10, порозностью 0,743 и числом Рейнольдса 10.

Ключевые слова: диаграмма Вороного, пористая среда, теплообмен, численное моделирование.

Высокопористые ячеистые структуры вызывают интерес многих исследователей. Литература в этой области пополняется каждый год. Ввиду высокой пористости металлические ячеистые структуры обладают развитой поверхностью, относительно низким гидравлическим сопротивлением и высоким коэффициентом эффективной теплопроводности. Актуально использование пористых материалов в качестве интенсификаторов теплообмена, ввиду их теплогидравлических характеристик [1–3]. При исследовании теплогидравлических характеристик пористых материалов широко применяются различные численные методы. При численном моделировании пористая среда может представлять собой как упрощенную двухмерную геометрию [4,5], так и трехмерную [6,7]. Наиболее точным методом является моделирование течения жидкости в сложной трехмерной геометрии, построенной на основе реальной геометрии пористой структуры [8,9]. Для создания геометрии используются сканирующие томографы. Другим способом является использование диаграммы Вороного для построения виртуальной геометрии пористой среды, что не требует дорогостоящего оборудования [10]. Целью данной работы является, проверка применимости метода диаграммы Вороного для генерации пористых сред с последующим численным исследованием теплообмена и гидродинамики.

Пористая 3D структура генерировалась в программе SpaceClaim с помощью оригинального модуля разработанного авторами. Разработка модуля осуществлялась на языке VusialBasic.Net. Модуль является дополнением к SpaceClaim. Данный модуль позволяет генерировать пористые структуры с заданными характеристиками, диаметр фибер d_s , порозность ε , диаметр ячеек d_c , количество пор на дюйм (PPI). Расчетная область с генерированной пористой средой со следующими характеристиками $\varepsilon = 914$, $d_s = 0,875$, PPI = 80 представлена на рис. 1.

На входе в расчетную область задавалась постоянная скорость воздуха умноженная на порозность с температурой 28 °С, в зависимости от числа Рейнольдса. Число Рейнольдса Re рассчитывалась по скорости воздуха в пористой среде, и диаметру фибер d_s . На баковых стенках задавалась симметрия. На стенках пористой структуры задавался постоянный тепловой поток 5 Вт/м². При численном исследовании порозность ε находилась в диапазоне от 0,743 до 0,954, PPI от 10 до 80, число Рейнольдса Re от 20 до 80. Для изменения порозности диаметр фибер варьировался от 0,0625 мм до 1,3 мм. Диаметр ячеек пористой среды варьировался от 0,635 мм до 5,8 мм. Количество ячеек d_c по ходу потока воздуха было 5, по ширине и высоте $1,6d_c$, входной и выходной участок $0,5d_c$. Численное

моделирование проводилось в AnsysFluent. Расчетная сетка состояла из 2,7 млн. контрольных объемов при порозности 0,954. Количество элементов сетки уменьшалось до 1,1 млн. с уменьшением порозности до 0,743. При порозности 0,954 количество элементов на одну ячейку составляло около 0,17 млн.

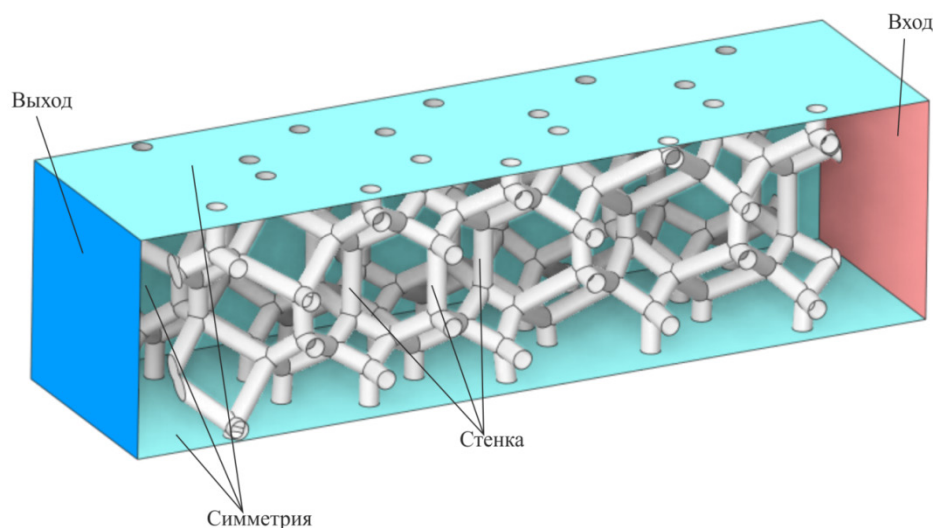


Рис. 1 – Расчетная область математической модели

Результаты численного моделирования теплообмена и гидродинамики в пористой структуре представлены на рис. 2-5. Для верификации полученных результатов интенсивность теплообмена при порозности ε 0,954 сравнивалась с обобщающей зависимостью, полученной на основе экспериментальных данных в работе [11]. Отклонения для числа Нуссельта Nu , полученного в данной работе с обобщающей зависимостью [11], составили не более 7%.

С увеличением порозности пористой среды происходит уменьшение интенсивности теплообмена (рис. 2). Данная динамика наблюдается при всех PPI. Гидравлическое сопротивление пористой среды увеличивается с повышением порозности независимо от числа Рейнольдса и PPI (рис. 3). Рост гидравлического сопротивления связан с ростом скорости при увеличении порозности. При повышении порозности диаметр фибер уменьшается, соответственно для выдерживания постоянного числа Рейнольдса скорость увеличивается. Изменение PPI не оказывает влияния на теплоотдачу пористой среды (рис. 4) не зависимо от порозности и числа Рейнольдса. При этом с увеличением PPI происходит существенный рост гидравлических потерь (рис. 5). С увеличением числа Рейнольдса происходит рост, как гидравлических потерь, так и интенсивности теплообмена. Максимальной теплоотдачей (Nu 5,18) во всем исследованном диапазоне обладает пористая среда с порозностью 0,743 и числом Рейнольдса 80. Минимальными гидравлическими потерями обладает пористая среда с PPI 10, порозностью 0,743 и числом Re 10.

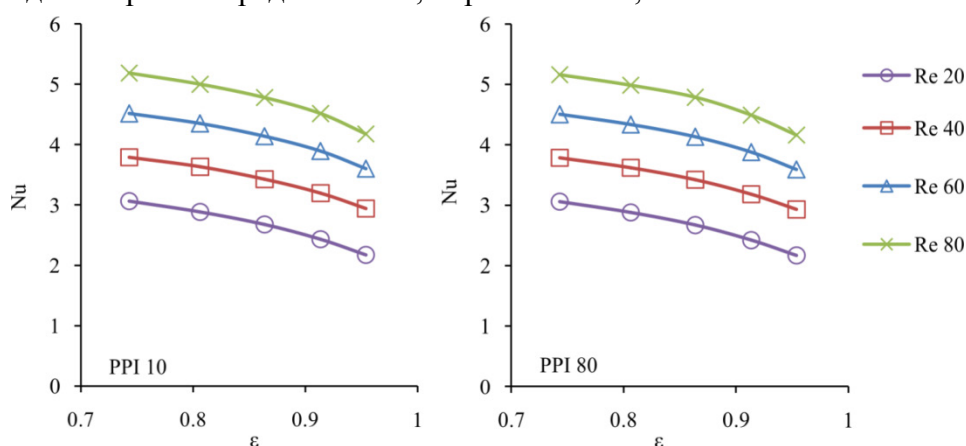


Рис. 2 – Интенсивность теплообмена пористой среды в зависимости от порозности при различном числе Рейнольдса

Полученные результаты при численном моделировании теплообмена и гидродинамики пористых сред согласуются с данными других авторов [8,10,11]. Разработанное авторами дополнение к SpaceClaim позволяет генерировать реалистичную геометрию пористой среды, с заданными характеристиками. Данный подход позволяет проводить параметрическое исследование режимных и геометрических характеристик пористых сред, с помощью программ вычислительной гидродинамики, для выбора оптимальных режимов теплообмена в пористых структурах.

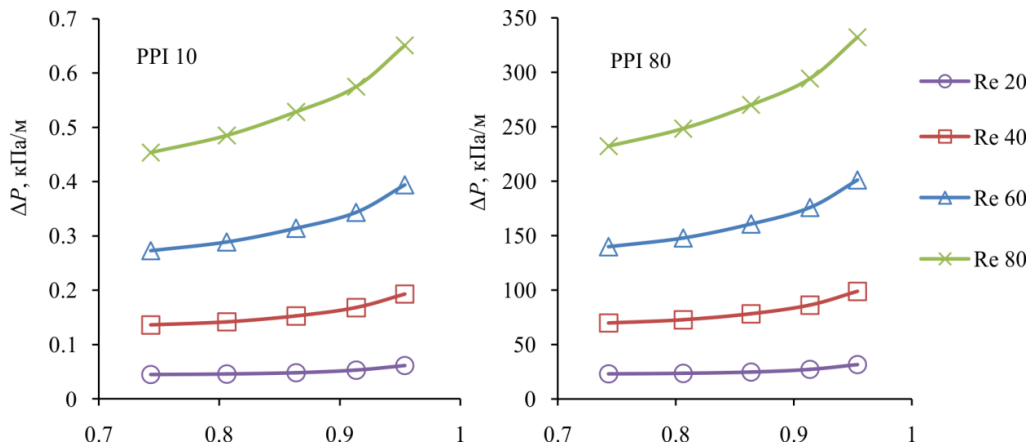


Рис.3. – Гидравлическое сопротивление пористой среды в зависимости от порозности при различном числе Рейнольдса

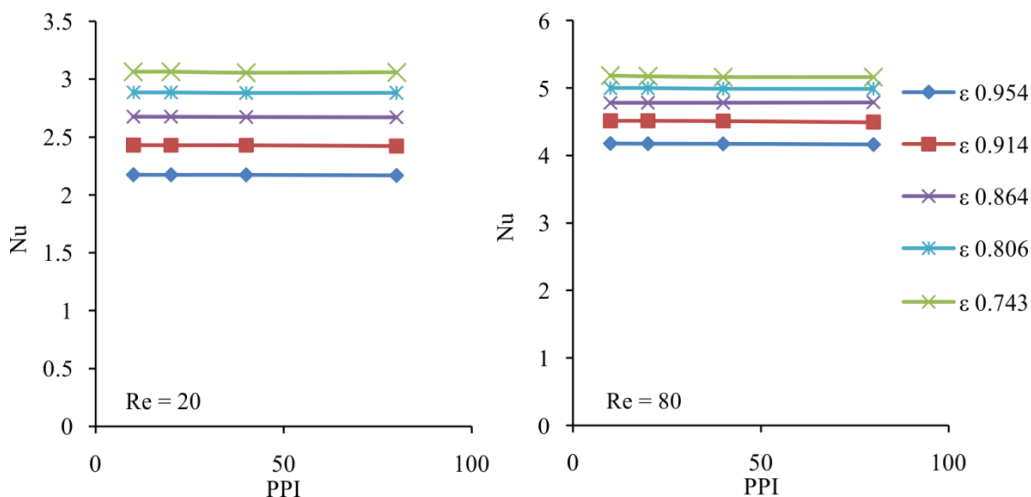


Рис. 4. – Интенсивность теплообмена пористой среды в зависимости от PPI при различном числе Рейнольдса

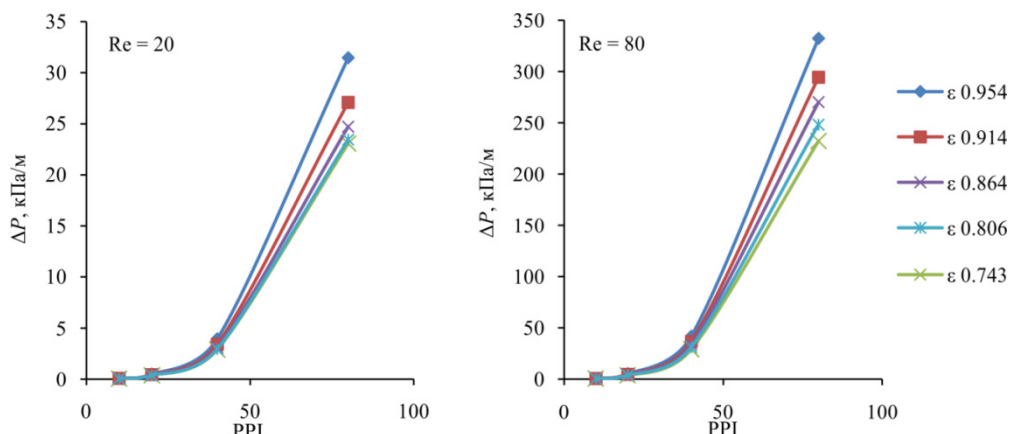


Рис. 5. – Гидравлическое сопротивление пористой среды в зависимости от PPI при различном числе Рейнольдса

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

Список литературы

1. Wang H., Guo L., Chen K. Theoretical and experimental advances on heat transfer and flow characteristics of metal foams // *Sci. China Technol. Sci.* 2020. Vol. 63, № 5. P. 705–718.
2. Chen K. et al. Numerical simulation study on heat transfer enhancement of a heat exchanger wrapped with metal foam // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 103–110.
3. Dixit T., Ghosh I. An experimental study on open cell metal foam as extended heat transfer surface // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016. Vol. 77. P. 28–37.
4. Chen S. et al. Numerical study on the heat transfer characteristics of oscillating flow in cryogenic regenerators // *Cryogenics*. 2018. Vol. 96. P. 99–107.
5. Kim S.-M., Ghiaasiaan S.M. Numerical Modeling of Laminar Pulsating Flow in Porous Media // *Journal of Fluids Engineering*. 2009. Vol. 131, № 4. P. 041203.
6. Soloveva O., Solovev S., Yafizov R. Hydrodynamics and Convective Heat Transfer in Open Cell Foam with Micropores // *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 54. P. 64–68.
7. Solovev S.A. et al. Numerical Simulation of Heat and Mass Transfer in an Open-Cell Foam Catalyst on Example of the Acetylene Hydrogenation Reaction: 1 // *ChemEngineering. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2022. Vol. 6, № 1. P. 11.
8. Diani A. et al. Numerical investigation of pressure drop and heat transfer through reconstructed metal foams and comparison against experiments // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. Vol. 88. P. 508–515.
9. Iasiello M. et al. Anisotropic convective heat transfer in open-cell metal foams: Assessment and correlations // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2020. Vol. 154. P. 119682.
10. Nie Z., Lin Y., Tong Q. Numerical investigation of pressure drop and heat transfer through open cell foams with 3D Laguerre-Voronoi model // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017. Vol. 113. P. 819–839.
11. Mancin S. et al. Air forced convection through metal foams: Experimental results and modeling // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013. Vol. 62. P. 112–123.

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

МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

В работе на основе теории массового обслуживания строится математическая модель оптимального управления материально-техническими ресурсами системы обеспечения безопасности учреждений. Для рассматриваемой управляемой системы массового обслуживания выбран критерий оптимизации, введены фазовые ограничения и граничные условия, приведена постановка многокритериальной задачи оптимизации в форме задачи оптимального управления.

Ключевые слова: система обеспечения безопасности, материально-техническое обеспечение, управляемая система массового обслуживания, схема Эйлера, оптимальное управление.

Наличие в учреждениях уголовно-исполнительной системы (УИС) комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП), предназначенных для обеспечения эксплуатации (ремонта и технического обслуживания) охранного оборудования, является необходимым условием эффективного обеспечения безопасности объектов охраны ведомства [1, 2]. ЗИП может включать: одиночный комплект (ЗИП-О), предназначенный для обслуживания одного образца охранного оборудования; групповой комплект (ЗИП-Г), обеспечивающий работу некоторой группы образцов охранного оборудования; ремонтный комплект (ЗИП РО) – комплект, предназначенный для проведения ремонтов неисправного оборудования [3]. Рассматривается случай непрерывного пополнения комплектов ЗИП партиями, что объясняется особенностями материально-технического обеспечения учреждений в условиях групповых поставок. Целью исследования является разработка и применение математической модели управления поставками рассматриваемых комплектующих для дальнейшего получения наилучших параметров стратегии управления материально-техническим обеспечением учреждений. В исследуемом случае пополнение однотипных комплектующих охранного оборудования осуществляется согласно стратегии: «в случае, если уровень запасов снижается до P , заказывается Q единиц для комплектования ЗИП; если уровень запасов заданного типа комплектующих снижается до нуля, осуществляется заказ M единиц». Данные процессы могут рассматриваться как система массового обслуживания (СМО). В СМО поступает простейший поток заявок со средней интенсивностью пополнения λ и средней интенсивностью расходования комплектующих μ . Смена состояний системы при заданных параметрах проиллюстрирована на рис. 1. В каждый момент времени система находится в одном из состояний: $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$ с вероятностями, соответственно, $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$.

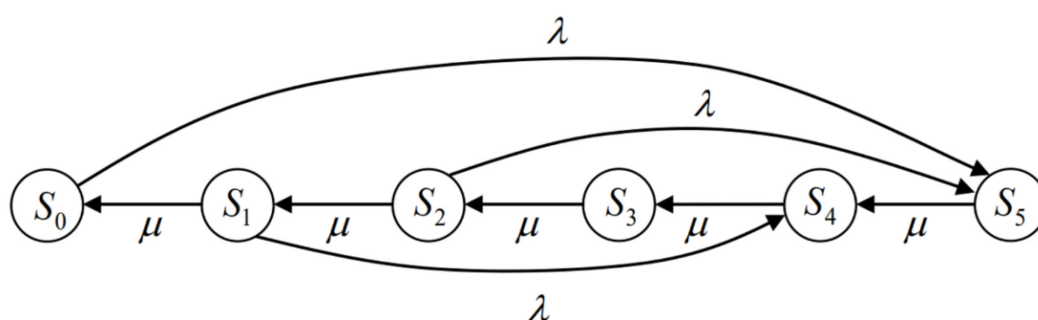


Рис.1 – Состояния системы при пополнении комплектов ЗИП партиями

Согласно теореме Колмогорова [4] приведенному графу состояний соответствует система дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t), & \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\lambda P_1(t) - \mu(P_1(t) + P_2(t)), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= -\lambda P_2(t) + \mu(P_3(t) - P_2(t)), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= -\mu P_3(t) + \mu P_4(t), \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= \lambda P_1(t) - \mu(P_5(t) - P_4(t)), \\ \frac{dP_5(t)}{dt} &= \lambda(P_0(t) + P_2(t)) - \mu P_5(t), & \sum_{i=0}^5 P_i(t) &= 1, \quad t \in [0, T]. \end{aligned} \quad (1)$$

Построим компьютерную модель процесса. Введем на отрезке $[0, T]$ равномерную сетку с шагом $\Delta t = T/q : \{t_i = \Delta t \cdot i, 0 \leq i \leq q\}$, полагая при этом $P_j(t_i) = P_j^i$, $j = \overline{0, 5}, i = \overline{0, q}$.

Аппроксимируем производные по формулам Эйлера 1-го порядка точности: $\dot{P}_j(t^i) \approx \frac{P_j^{i+1} - P_j^i}{\Delta t}$,

$j = \overline{0, 5}, i = \overline{0, q-1}$, $P_1^0 = 1, P_j^0 = 0, j = \overline{0, 5}$. На рис. 2 приведены графики зависимости вероятностей состояний системы от времени, полученные с использованием полученных дискретных соотношений при следующих значениях параметров: $\lambda = 4, 5$, $\mu = 2$, $T = 10$.

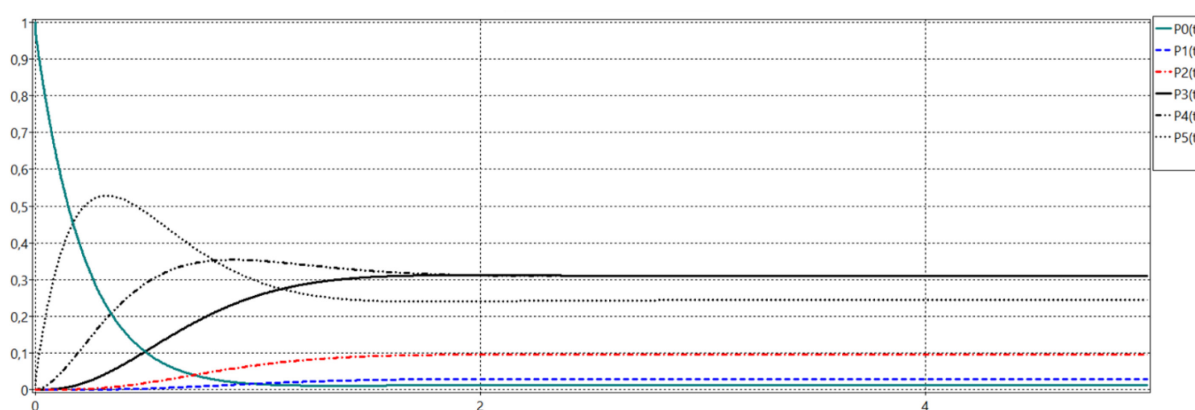


Рис. 2 – Графики вероятностей состояний системы

В фундаментальной работе В.В. Рыкова [4] автором отмечается, что в управляемых СМО воздействие может осуществляться путем управления дисциплиной обслуживания заявок и ее структурой, за счет изменения интенсивностей обслуживания очередей, ввода управляющих воздействий на поток заявок и др. Использование указанных параметров в качестве управляющих воздействий до установления в СМО стационарных режимов дает возможность вычислять оптимальные параметры стратегии расходования и восстановления запасов при формировании ЗИП.

На рис. 3 приведены графики зависимости от времени величины вероятности состояний системы при росте интенсивности пополнения запасов комплектующих λ ($\lambda_1 = 4, 5$, $\lambda_2 = 8$, $\lambda_3 = 12$, $\lambda_4 = 15$). Значения вероятностей в момент времени T равны: $P_0(T) = 0,001$, $P_1(T) = 0,005$, $P_2(T) = 0,039$, $P_3(T) = 0,331$, $P_4(T) = 0,331$, $P_5(T) = 0,293$.

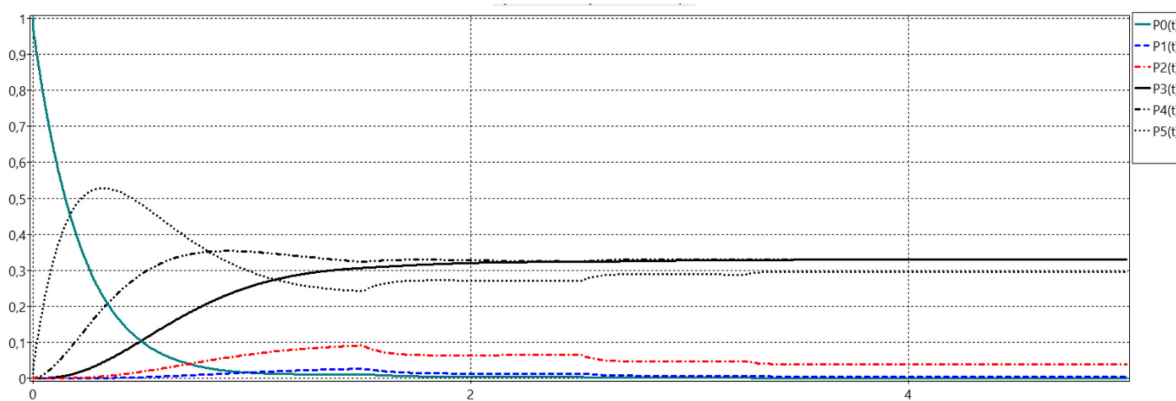


Рис. 3 – Графики вероятностей состояний системы при изменении λ

Согласно полученным результатам, в качестве управляющего параметра может быть выбрана интенсивность пополнения запасов λ . Учитывая естественные условия протекания процессов пополнения запасов комплектующих, вводим ограничения на значение величины управления $u(t) = \lambda(t)$: $u(t) \leq \lambda_{\max}$. Пусть c - стоимость единицы пополнения, α - весовой коэффициент, N - штрафной коэффициент. Введем обозначения: $x_i(t) = P_i(t)$, $i = \overline{0, 5}$, $t \in [0, T]$. Требуется, чтобы вероятность нахождения системы в состоянии S_5 на всем отрезке $[0, T]$ была не ниже заданного порогового значения a ($x_5(t) \geq a$, $t \in [0, T]$). Получаем многокритериальную задачу оптимизации следующего вида. Требуется минимизировать функционал

$$I(u) = - \int_0^T (\alpha x_5(t) - cu(t) - N \max^2 \{a - x_5(t), 0\}) dt \quad (2)$$

при динамических ограничениях:

$$\begin{aligned} \dot{x}_0(t) &= -x_0(t)u(t) + \mu x_1(t), \quad \dot{x}_1(t) = -x_1(t)u(t) + \mu(x_2(t) - x_1(t)), \\ \dot{x}_2(t) &= -x_2(t)u(t) + \mu(x_3(t) - x_2(t)), \quad \dot{x}_3(t) = -x_3(t)u(t) + \mu x_4(t), \\ \dot{x}_4(t) &= x_1(t)u(t) + \mu(x_5(t) - x_4(t)), \\ \dot{x}_5(t) &= (x_0(t) + x_2(t))u(t) - \mu x_5(t), \quad \sum_{i=0}^5 x_i(t) = 1, \quad t \in [0, T], \end{aligned} \quad (3)$$

ограничении на управление:

$$u(t) \leq \lambda_{\max}, \quad t \in [0, T], \quad (4)$$

начальных условиях:

$$x_0(0) = x_0^0 = 1, \quad x_j(0) = x_j^0 = 0, \quad j = \overline{1, 5}. \quad (5)$$

Для решения рассматриваемой задачи доступен широкий спектр численных методов оптимизации [5, 6]. С использованием вычислительных алгоритмов может быть построено приближенное решение Парето-оптимальной задачи, обеспечивающее необходимый уровень надежности рассматриваемой системы комплектования ЗИП в условиях ограничения ресурсов. Предложенная модель может быть использована для получения оптимальных параметров стратегии управления групповыми поставками комплектующих охранного оборудования в учреждения УИС.

Список литературы

1. 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.
2. Сугак Е.В., Василенко Н.В., Назаров Г.Г. Надежность технических систем. Красноярск: МГП «Раско». 2001. 608 с.
3. Долгополов Б. А., Зайко Ю. Г., Михайлов В. А., Трахтомиров А. В. Расчет комплекта ЗИП с использованием комплекса имитационных программ «Диалог» (Часть 1. Общие положения для расчета комплекта ЗИП) // Надежность, 2020, Т. 20, № 1. С. 32-38.
4. Рыков В.В. Управляемые системы массового обслуживания // Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. 1975. Т. 12. С. 43-153.
5. Андреева Е.А., Цирулева В.М. Вариационное исчисление и методы оптимизации. М.: Высшая школа, 2006. 584 с.
6. Евтушенко Ю.Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации. М.: Наука, 1982. 432 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ — 2.3.1.****2.3.1.****Н.С. Алексеев канд. физ.-мат. наук**

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
кафедра «Математическая кибернетика»,
nick.alekseyev@gmail.com

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ
ГЕНЕРАЦИИ ПАСПОРТОВ ВАРИАНТОВ**

Статья продолжает анализ проблемы формирования качественной последовательности вариантов учебных заданий, начатый в одной из предыдущих публикаций автора в этом журнале. Предлагается новый алгоритм генерации последовательности целочисленных векторов, являющихся паспортами вариантов. Показано, что генерируемые этим алгоритмом последовательности удовлетворяют всем сформулированным ранее критериям качества.

Ключевые слова: *вариант, паспорт варианта, целочисленный вектор, группа классов вычетов.*

Введение

В [1] была рассмотрена проблема формирования последовательности вариантов учебных заданий из заранее подготовленных наборов задач определенного типа. Предполагается, что имеется n типов задач и для каждого из них подготовлено N экземпляров задач – множества $T_i, i = 1, \dots, n$.

В [1] также были предложены критерии оценки качества последовательности. Было показано, что задачу можно свести к генерации последовательности паспортов вариантов. Паспорт варианта представляет из себя целочисленный вектор $x = (x_1, \dots, x_n)$, в котором x_i – номер экземпляра задачи в множестве $T_i, x_i \in \{0, 1, \dots, N-1\}, i \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Переформулируем математическую постановку задачи из [1] в терминах паспортов вариантов.

Заданы два натуральных числа n и N . Требуется разработать алгоритм генерации последовательностей векторов (паспортов вариантов) $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(i)}, \dots$, в которой

1. «Соседние» векторы $x^{(i)}$ и $x^{(i+1)}$ не должны содержать одинаковых компонент: $x_j^{(i)} \neq x_j^{(i+1)}, j = 1, \dots, n$.

2. В каждом из отрезков длиной N последовательности генерируемых вариантов $x^{(1)}, \dots, x^{(N)}; x^{(N+1)}, \dots, x^{(2N)}; x^{(2N+1)}, \dots, x^{(3N)}; \dots$

Все значения $x_j^{(i)}$ должны быть различны для каждого $j = 1, \dots, n$. То есть каждое из чисел $0, \dots, N-1$ на j -й позиции в отрезке последовательности длиной N должна встречаться ровно один раз.

3. Частота появления каждого из чисел $0, \dots, N-1$ на j -й позиции $j=1, \dots, n$ в последовательности $x^{(1)}, \dots, x^{(k)}$ должна стремиться к одной и той же величине k/N с ростом k .

4. При $k=N^n$ все векторы в последовательности $x^{(1)}, \dots, x^{(k)}$ должны быть уникальными. Каждый вектор должен отличаться от любого другого хотя бы одной компонентой.

5. Не должно быть жесткой корреляции между компонентами в векторах последовательности (всякий раз когда в векторе $x_r^{(i)} = q$ в том же векторе $x_t^{(i)} = p$).

В [1] был предложен алгоритм генерации паспортов. Будем называть его *алгоритмом 1*. Алгоритм 1 основан на свойствах аддитивной группы классов вычетов (см., например, [2]).

В [1] проведен анализ выполнения приведенных критериев. Согласно этому анализу требования 1, 4 и 5 для алгоритма 1 выполняются всегда. А для оценки «степени приемлемости» нарушения требований 2 и 3 предлагалось привлекать эксперта.

В настоящей статье предлагается модификация алгоритма 1. Усовершенствованный алгоритм (будем называть его *алгоритмом 2*) позволит генерировать последовательности, для которых требования 2 и 3 выполняются.

Описание модифицированного алгоритма

Как и в [1] рассмотрим взаимно однозначное соответствие между множеством целочисленных векторов $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, с компонентами $x_i \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$, и множеством n -разрядных чисел от 0 до N^n-1 в N -ичной записи $(x_1|x_2|\dots|x_n)_N$. Договоримся такое число в N -ичной записи ассоциировать с паспортом варианта.

Алгоритм 1 состоит всего из 3-х шагов.

- 1) выбрать число b – взаимно простое с числом N^n ;
- 2) положить $i=0$; $паспорт_0 = (0|\dots|0|0)_N$;
- 3) пока $i < N^n$ выполнять $i=i+1$; $паспорт_i = паспорт_{i-1} \oplus b$.

Через $\oplus$ здесь обозначена операция сложения по модулю N^n . Основная сложность алгоритма 1 состоит в выборе «правильного» числа b .

Обозначим через a число, имеющее в N -ичной системе представления вид $(a_1|\dots|a_n)_N$, где значение каждого разряда a_i , $i=1, \dots, n$ – число, взаимно простое с N . Обозначим через $\oplus'$ операцию поразрядного сложения по модулю N чисел в N -ичной системе представления. Тогда множество чисел

$$A = \{0, a, 2 \odot 'a, \dots, (N-1) \odot 'a\}, \quad (1)$$

где через $i \odot 'a$ обозначено выражение $a \oplus 'a \oplus 'a \dots \oplus 'a$ (i раз), образует циклическую группу относительно операции $\oplus'$ с нейтральным элементом 0 и порождающим элементом a .

Для любого числа $x < N^n$ множество

$$A_x = x \oplus 'A = \{x, x \oplus 'a, x \oplus '2 \odot 'a, \dots, x \oplus '(N-1) \odot 'a\} \quad (2)$$

есть либо A (если $x \in A$), либо смежный класс, порожденный элементом x (если $x \notin A$). Причем два смежных класса A_x и A_y либо не пересекаются, либо совпадают. Основная идея алгоритма 2 состоит в том, чтобы сначала перебрать все элементы группы A , а затем последовательно перебрать элементы всех смежных классов A_x . Порождающие элементы x перебираются с помощью алгоритма 1, дополненного проверкой того, что число x не входит в уже построенную часть последовательности. Если это не так, то генерируется следующее число по алгоритму 1.

Алгоритм 2 состоит из следующих действий:

- 1) выбрать число b – взаимно простое с числом N^n , имеющее все ненулевые разряды в N -ичной записи (*внешний шаг алгоритма*);
- 2) выбрать число a – n -разрядное в N -ичной записи, все разряды которого взаимно просты с числом N (*внутренний шаг алгоритма*);
- 3) положить $i=0$; $паспорт_0 = (0|\dots|0|0)_N$; $I=i$;
- 4) пока $i-I < N$ выполнять $i=i+1$; $паспорт_i = паспорт_{i-1} \oplus 'a$;
- 5) положить $i=i+1$; $паспорт_i = паспорт_i \oplus b$;
- 6) пока $i < N^n$ и $паспорт_i \in \{паспорт_0, \dots, паспорт_{i-1}\}$ выполнять $паспорт_i = паспорт_i \oplus b$;
- 7) если $i < N^n$, то положить $I=i$; перейти к действию 4, иначе закончить алгоритм.

Этот алгоритм включает предварительные действия 1 и 2 и два вложенных цикла. Внешний цикл с параметром I – действия 3 – 7 и внутренний с параметром i (действие 4).

При первом выполнении действия 4 происходит генерация N -элементной подпоследовательности (1), при последующих выполнениях этого действия – генерация N -элементных подпоследовательностей (2) при различных $x = паспорт_i$. Проверка того, что $паспорт_i$ не был сгенерирован раньше осуществляется в действиях 6, 7.

В качестве числа a в действии 2 можно выбрать число, имеющее в N -ичной системе вид $(1|\dots|1)_N$. Любое другое значение a равносильно другому порядку нумерации экземпляров

задач в множествах T_i , $i=1, \dots, n$. Поэтому любой отрезок последовательности длиной N , формируемый при выполнении действия 4 алгоритма, не будет содержать ни одного совпадающего экземпляра ни для одной из задач. Кроме того в этом отрезке каждый из N экземпляров каждой из n задач встречается ровно один раз. Это означает, что требования 2 и 3 выполняются для алгоритма 2. Например, при $n=10$, $N=25$ диаграмма частоты появления экземпляров задач в последовательности вариантов длиной 100 представлена на рис. 1.



Рис. 1 – Частота появления экземпляров задач в последовательности

Разброс частоты появления экземпляров задач равный нулю сохраняется при любой длине k последовательности, кратной N . При k не кратной N разброс частоты будет составлять единицу для каждой задачи (см. рис.2).

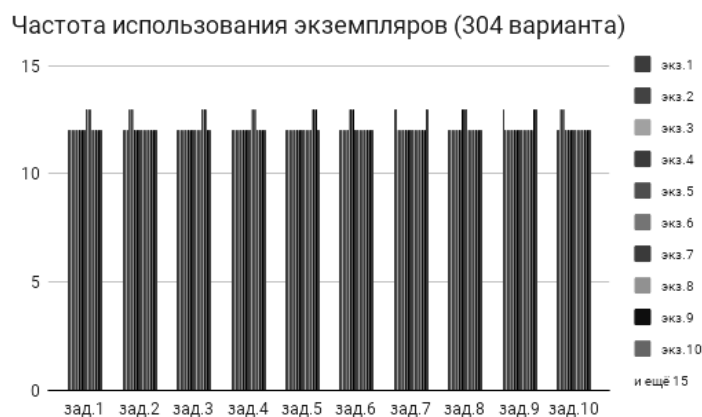


Рис. 2 – Частота появления экземпляров задач в последовательности при длине k не кратной N

Заключение

Алгоритм 2, как алгоритм 1 включен подсистему «Генератор номеров» системы «РГР-Дупло» разработанной на кафедре «Математическая кибернетика» Московского авиационного института (МАИ) [3]. Эта подсистема позволяет эксперту

- задавать параметры n и N генерируемой последовательности;
- выбирать параметр b из первого действия алгоритмов в автоматизированном режиме;
- генерировать отрезки последовательности паспортов вариантов нужной длины;
- производить статистический анализ характеристик последовательности.

Список литературы

1. Алексеев Н.С. Генератор паспортов вариантов // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 2. С. 7-12.
2. Журавлёв Ю.И., Флёров Ю.А., Вялый М.Н. Дискретный анализ. Основы высшей алгебры. – М.: МЗ Пресс, 2007. – 224 с.
3. Алексеев Н.С. О новых функциях в программном комплексе дистанционного взаимодействия преподавателя и студента // Научно-технический вестник Поволжья. №07, 2021. с. 15-19.

2.3.1.

А.А. Асадова, А.А. Денисюк, М.Н. Пиганов

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
kipres@ssau.ru

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ
ОТКАЗОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ**

Предложена методика анализа отказов оптико-электронной системы космических аппаратов. Она реализует структурный метод исследования. При этом проводится разукрупнение системы. Первым уровнем разукрупнения выбраны блоки. Вторым уровнем разукрупнения выбраны функциональные узлы, третьим – электронная компонентная база. Проведенный системный анализ не выявил отказов на уровне блоков. На уровне функциональных узлов выявлены отказы ячейки тракта обработки сигналов ТОС, которые вызваны дефектами монтажа микросхем. Проведенные дополнительные испытания не выявили новых отказов.

Ключевые слова: *отказ, система, космический аппарат, анализ, разукрупнение, структурный метод.*

Введение

Методологической базой создания сложных радиоэлектронных средств (РЭС) является системный подход. Разработку таких РЭС рекомендуется выполнять как комплексное проектное исследование электрических схем, конструкций и технологий, включая расчеты, моделирование, макетирование, изготовление и испытание опытных образцов. Его представляют как большую сложную систему [1]. На заключительных стадиях проектирования важно выявить возможные отказы, провести их анализ и внести изменения в схему, конструкцию или технологию.

В данной работе проведен анализ видов и последствий отказов бортовой системы приема и преобразования информации (СППИ). Такая система является важнейшей составной частью устройств мониторинга и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [2, 3].

Краткое описание объекта исследования

Структура аппаратуры описана в [2]. Качество съемки поверхности Земли сильно зависит от надежности бортовой аппаратуры и программного обеспечения [3].

Методика анализа отказов

При оценке надежности статистических и динамических систем космических аппаратов используются следующие методы: метод структурных схем, метод логических схем, схемно-функциональный метод, математический метод [4].

Анализ видов и последствий отказов проводили структурным методом [4]. Структурный метод применяют для объектов, отказы которых могут быть четко локализованы, а последствия каждого отказа элементов выбранного начального уровня разукрупнения могут быть прослежены на всех вышестоящих уровнях структуры объекта. Общая схема анализа в этом случае включает следующие основные операции:

- в соответствии с планом устанавливают минимальный уровень разукрупнения, с которого начинают анализ;
- на основе функциональной схемы объекта идентифицируют все элементы выбранного уровня разукрупнения;
- для каждого идентифицированного элемента данного уровня на основе имеющихся классификаторов отказов, инженерного анализа, имеющихся априорных данных, опыта и знаний исследователя составляют перечень возможных видов отказов данного элемента;
- для каждого вида отказов выбранного элемента определяют его возможные последствия на рассматриваемом и следующих уровнях структуры объекта;

– для элементов, отказы которых определённого вида непосредственно приводят к отказу объекта или снижению качества его функционирования, оценивают категорию тяжести последствий отказов или рассчитывают показатели критичности;

– повторяют описанные выше операции последовательно для элементов всех вышестоящих уровней разукрупнения. Последствия отказов элементов нижестоящего уровня, которые не могут быть выражены в виде влияния на функционирование элементов рассматриваемого уровня, рассматривают как самостоятельные виды отказов на этом уровне;

– выделяют отказы, категория тяжести последствий или оценки показателей критичности которых превосходят пределы, установленные планом анализа, а элементы, соответствующие этим отказам включают в перечень критичных элементов. Этот метод можно отнести к классу индуктивных. В этом случае анализ проводится «снизу вверх». При этом для каждого критичного элемента;

– определяют наличие и оценивают достаточность предусмотренных средств и методов обнаружения, локализации и индикации отказов;

– определяют возможные меры, обеспечивающие сохранение работоспособности объекта при возникновении данного отказа (введение резервирования, перестраиваемая структура, изменение алгоритма функционирования) и оценивают целесообразность их введения;

– определяют возможные меры по снижению вероятности отказов (применение в облегчённом режиме, введение защиты от перегрузок, дополнительных проверок и испытаний в процессе изготовления и эксплуатации, введение профилактического обслуживания и плановых замен в эксплуатации и т.п.) и оценивают их эффективность;

– определяют возможные способы предупреждения наиболее опасных последствий отказов (аварийная защита и сигнализация, специальные правила поведения персонала при возникновении отказов и т.п.).

Результаты анализа

Первым уровнем разукрупнения системы были выбраны блоки. В состав системы входят следующие блоки: два блока оптико-электронного преобразователя панхроматического диапазона (БПХ), блок оптико-электронного преобразователя мультиспектрального диапазона (БМС), шесть источников питания (ИП) для БПХ, три источника питания (ИП) для БМС, блок управления (БУ), блок контроля (БК). Вторым уровнем разукрупнения блока выбраны функциональные узлы (модули первого уровня), третьим – электронная компонентная база. Результаты анализа на первом уровне разукрупнения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Выявленные отказы

Наименование блока	Вид (описание) отказа	Возможные причины отказа	Последствия отказа на уровне	
			рассматриваемом	вышестоящем
1	2	3	4	5
ИП-ОЭП-РТХ	Отказ основного комплекта ИП	Отказ ячейки ВИП	Не работает основной комплект ИП	Нет питания к-ой зоны ОЭП. СППИ работоспособна после перехода в следующем включении на резервный комплект ИП
	Отказ основного и резервного комплекта ИП	Отказ ячейки ВИП	Не работает основной комплект ИП	Нет питания к-ой зоны ОЭП. Не работает блок ОЭП СППИ частично работоспособна

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
ОЭП-РМС	Отказ канальной части ячейки ТП-к-ой зоны блока ОЭП	Нарушение обмена ячейки ТП с ячейкой ТОС	Не работает к-ая зона блока ОЭП	Потеря СпИ к-зоны блока ОЭП-РМС Не работает блок. ОЭП СППИ частично работоспособна
	Отказ ячейки ТОС блока ОЭП	Отказ микросхем ячейки ТОС	Не работает к-ая зона блока ОЭП	Потеря СпИ четных или нечетных матриц блока ОЭП-РПХ. Не работает блок ОЭП. СППИ частично работоспособна
	Отсутствие или искажение СпИ с одной или более матриц ФПЗС к-зоны	Отказ ФПЗС	Частичное отсутствие СпИ. Возможно нарушение сплошности изображения или полосы захвата	Искажения СпИ СППИ частично работоспособна (при отказах, приводящих к невозможности восстановления СпИ с одной или нескольких зон, продолжить работу с уменьшенной полосой захвата, либо с нарушенной сплошностью изображения)
	Отказ канальной части ячейки ТП-к-ой зоны блока ОЭП	Нарушение обмена ячейки ТП с ячейкой ТОС	Не работает к-ая зона блока ОЭП	Потеря СпИ к-зоны блока ОЭП-РМС. Не работает блок ОЭП. СППИ частично работоспособна
	Отказ ячейки ТОС блока ОЭП	Отказ ПЛИС ячейки ТОС в части загрузки массивов флеш-памяти	Не работает к-ая зона блока ОЭП	Потеря СпИ нечетных или четных матриц блока ОЭП-РМС. СППИ работоспособна после перехода в следующем включении на управление ячейкой ТОС из рабочего УУ других зон по каналу JTAG
	Отсутствие или искажение СпИ с одной или более матриц ФПЗС к-зоны	Отказ ФПЗС	Частичное отсутствие СпИ. Возможно нарушение сплошности изображения или полосы захвата	Искажения СпИ СППИ частично работоспособна (при отказах, приводящих к невозможности восстановления СпИ с одной или нескольких зон, продолжить работу с уменьшенной полосой захвата)

Отказ ячейки вторичного источника питания (ВИП) вызван дефектом монтажа микросхемы DA2. Отказ ячейки ТОС вызван дефектом монтажа микросхемы DD17 типа BGA, микросхемы DD15 (ПЛИС) и прибора с зарядовой связью (ФПЗС). Был проведен оптический и рентгеновский контроль отказавших микросхем. Данные микросхемы были отправлены на изготовление микрошлифов. Проведенный анализ показал, что причиной отказов является производственный дефект. Он связан с низкой адгезией элементов печатного монтажа, нарушением технологии монтажа микросхем на печатную плату: нарушение температуры и времени пайки. Был разработан план мероприятий по устранению причин возникновения дефектов, откорректирована технологическая документация, введены дополнительные контрольные операции. После этого были проведены дополнительные испытания на механические и температурные воздействия по требованиям, предъявленным к аппаратуре группы 5.3. Новые отказы не были выявлены. Было установлено, что принципиальная электрическая схема построена с учетом принципов резервирования. При этом, единичные отказы элементов схемы не приводят к возникновению аварийных ситуаций. В системе предусмотрены самодиагностика и контроль работоспособности основных и резервных блоков. Анализ отказов и их последствий не выявил критичных элементов из состава используемой электронной компонентной базы (ЭКБ).

Заключение

Предложена методика системного анализа отказов бортовой оптико-электронной системы космического аппарата. Был использован структурный метод исследования. Для проведения анализа было выявлено три уровня разукрупнения: уровни блоков, функциональных узлов и электронной компонентной базы. На первом уровне были выявлены отказы в блоке источника питания и двух блоках оптико-электронного преобразования. На втором уровне отказали ячейки вторичного источника питания, тракта обработки сигналов, прибора с зарядовой связью. Эти отказы обусловлены производственными дефектами монтажа ЭКБ (третий уровень). Установлено, что предусмотренное схемой резервирование не приводит к возникновению аварийных ситуаций. Критичные элементы из состава ЭКБ не выявлены.

Список литературы

1. Баканов Г.Ф., Соколов С.С., Суходольский В.Ю. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств. – М.: Издательский центр «Академия». 2007. – 368с.
2. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга. – М.: БИНОМ. Лаборатория занятий. 2009. – 234с.
3. Ахметов Р.Н., Куренков В.И., Капитонов В.А., Стратилатов Н.Р., Лохматкин В.В. Влияние надёжности бортовых систем космических аппаратов ДЗЗ на показатели периодичности съёмки // Актуальные проблемы ракетно-космической техники (III Козловские чтения): материалы конференции. – Самара, 2013. С. 73-83.
4. Ваганова Н.Р., Сурков А.В. Прогнозирование надёжности ракетно-космической техники // Актуальные проблемы ракетно-космической техники (III Козловские чтения): материалы конференции. – Самара, 2013. С. 70-72.

2.3.1.

**А.П. Буйносов д-р техн. наук, О.И. Тутынин,
А.С. Баитов, А.Т. Шарапов, С.А. Балычёв**

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, otutynin@mail.ru, baitov_alex76@mail.ru,
sharapov.alieksandr97@mail.ru, Semyon.balychev@list.ru

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУБРИКАЦИИ
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ**

Приводятся результаты сравнительного анализа эффективности использования гребнесмазывателей на электровозах ВЛ10 эксплуатационного депо Пенза Куйбышевской дирекции тяги с 2020 по 2021 гг. Показано, что применение лубрикации снижает износ гребней колесных пар до 2,26 раз.

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, гребень, износ, снижение, лубрикация, использование, эффект.

Одним из важных решений, направленных на снижения износа гребней бандажей, а следовательно на увеличение ресурса колес локомотивов и рельсов является лубрикация [1]. Эффективным способом защиты от повышенного износа боковых поверхностей головок рельсов и гребней колес является применение смазочного материала (СМ) – антифрикционного материала [2]. На железных дорогах Российской Федерации используются разные СМ и различные системах лубрикации, которые применяются для введения СМ в зону контакта гребня колеса с рельсом [3].

Для локомотивов, работающих на малых участках обращения (маневровые локомотивы, промышленные транспортные средства и др.), которые не превышают 100–1500 км, в настоящее время используются одно-, двухзарядный пружинный гребнесмазыватель типа ГРС-40. (рис. 1).



Рис. 1 – ГРС-40.05 на тепловозе

Подвижной состав, который эксплуатируют на «длинных» участках обращения (2000 км и более), а также на участках с небольшим количеством криволинейных участков пути, «плавным» профилем пути, применяется бесприводная конструкция гребнесмазывателя кассетного типа. ГРС-20.07, обеспечивая подачу СМ к гребню колеса. В ГРС-20.07 имеется бункер (кассета) емкостью для 9 стержней РАПС, которые за счет собственной массы по мере их износа автоматически перемещаются в подающую направляющую к гребню бандажа (рис. 2).

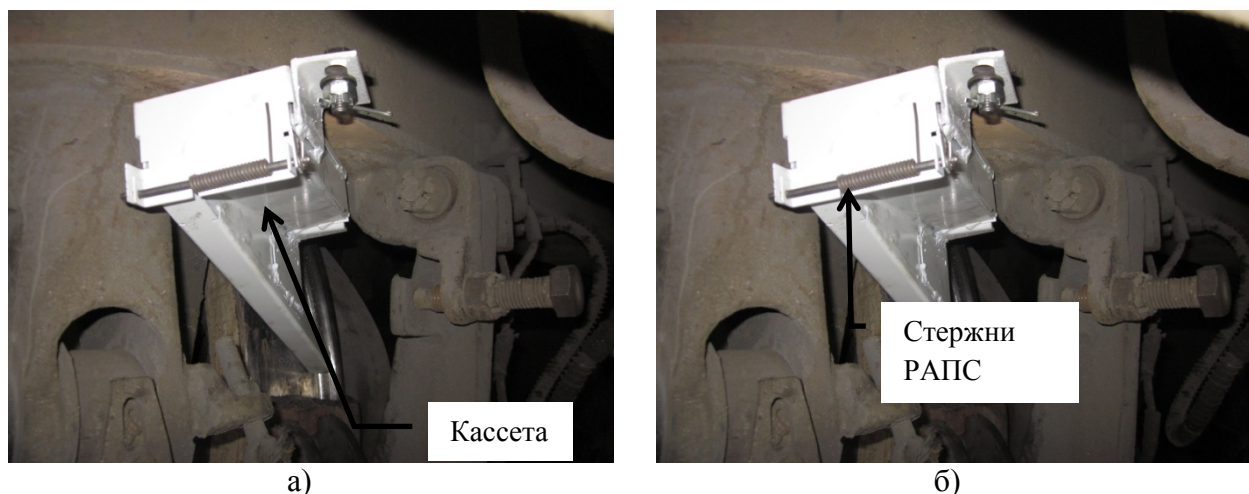


Рис. 2 – Гребнесмазыватель ГРС-20.07:
а) кассета; б) стержни РАПС

Системы ГРС-22 используются для локомотивов на участках обращения до 500 км с «тяжелым» продольным профилем пути, а так же наличием большого количества криолинейных участков пути с малым радиусом. ГРС-22 имеет сборную конструкцию, которая состоит из механизмов крепления и подачи СМ [4]. Конструкция располагается на раме тележки локомотива так, чтобы была обеспечена приводная подача СМ на гребень бандажа колесной пары. (рис. 3).



Рис. 3 – Гребнесмазыватель ГРС-22

В 2020 г. из 175 электровозов ВЛ10 и ВЛ10^У эксплуатационного локомотивного депо Пенза Куйбышевской дирекции тяги на 52 (29,71 %) были установлены системы автоматического гребнесмазывания АГС-8 [4], остальные электровозы не были оборудованы не одной системой лубрикации. К началу 2021 г. на 84 (48 %) локомотивов были смонтированы системы ГРС-22, ГРС-20.07 и ГРС-40.05, к февралю месяцу 2021 г. 50 локомотивов дополнительно были оборудованы стержневыми гребнесмазывателями кассетного типа ГРС-20.07. Таким образом, в 2021 г. 41 (23,43 %) электровоз не был оборудован не одной системой лубрикации.

Возникла необходимость выполнения сравнительного анализа эффективности использования гребнесмазывателей разного типа на полигоне Куйбышевской железной дороги. Анализ был выполнен с использованием статистических данных взятых из документа формы ТО-3 в период с января по октябрь месяцы в 2020 и в 2021 гг. Для этого полученную исходную статистическую информацию разделили на 3 группы 1) весь парк локомотивов, в том числе с АГС-8 в 2020 г.; 2) весь парк локомотивов, в том числе с ГРС в 2021 г.; 3) локомотивы только с установленными на них ГРС в 2021 г. По каждому колесу (бандажу) для тщательного анализа полученной статистической информации был разработан

специальный бланк, в котором отмечалось: присутствие смазки на гребне; момент дозаправки смазкой; размер (уменьшение износа) гребня; удельная изношенность гребня; запас этой пары колесной; оптимальная температура окружающей среды; дата и время обточки (замены) бандажа колесной пары. Присутствие смазки на гребне колеса было фиксировалось визуально. О дозаправке оценку смазки осуществляли указав дату, время и место. Размер гребня был взят из специальной записи обмеров электронного журнала ТУ-18Э. Удельный износ гребня бандажа рассчитывали, как правило один – два раза в месяц. На основе выполненного статистического анализа, можно сделать следующие выводы (см. рис. 4 и 5): в 2021 г. по сравнению с 2020 г. от 64 процентов до 2 раз снизился износ гребней колесных пар локомотивов. На 2,78 процента повысился (для всего парка локомотивов) резерв бандажей пар колесных (рис. 6); после оснащения локомотивов ГРС в 2021 г. (по сравнению с 2020 г.) интенсивность износа гребней пар колесных локомотивов снизилась от 82 процентов до 2,26 раз (см. рис. 4). Запас бандажей пар колесных увеличился на 22 процента.

Для того, чтобы повысить эффективность использования гребнесмазывателей (ГРС) устанавливался непрерывный осмотр и производилось пополнение смазкой на каждом виде ремонта и при выполнении ТО локомотива на пункте технического осмотра депо Пенза.

Выводы о эксплуатации ГРС: план установки ГРС предполагает защиту от износа каждого колеса электровоза; конструкция масленок ГРС предполагает автономную работу, не нуждающуюся в управлении машиниста; способ зарядки стержней РАПС кассетного типа обеспечивает возможность работы гребнесмазывателей ГРС от ТР-1 до следующего ТР-1; одним из достоинств ГРС является то, что она не нуждается в дополнительных затратах на построение комплекса взаимосвязанных структур для работы гребнесмазывателей (дозаправочных станций, стенов регулировки распылителей); затраты, которые идут на обеспечение работоспособности ГРС в 1,5 раза меньше, чем для АГС-8.

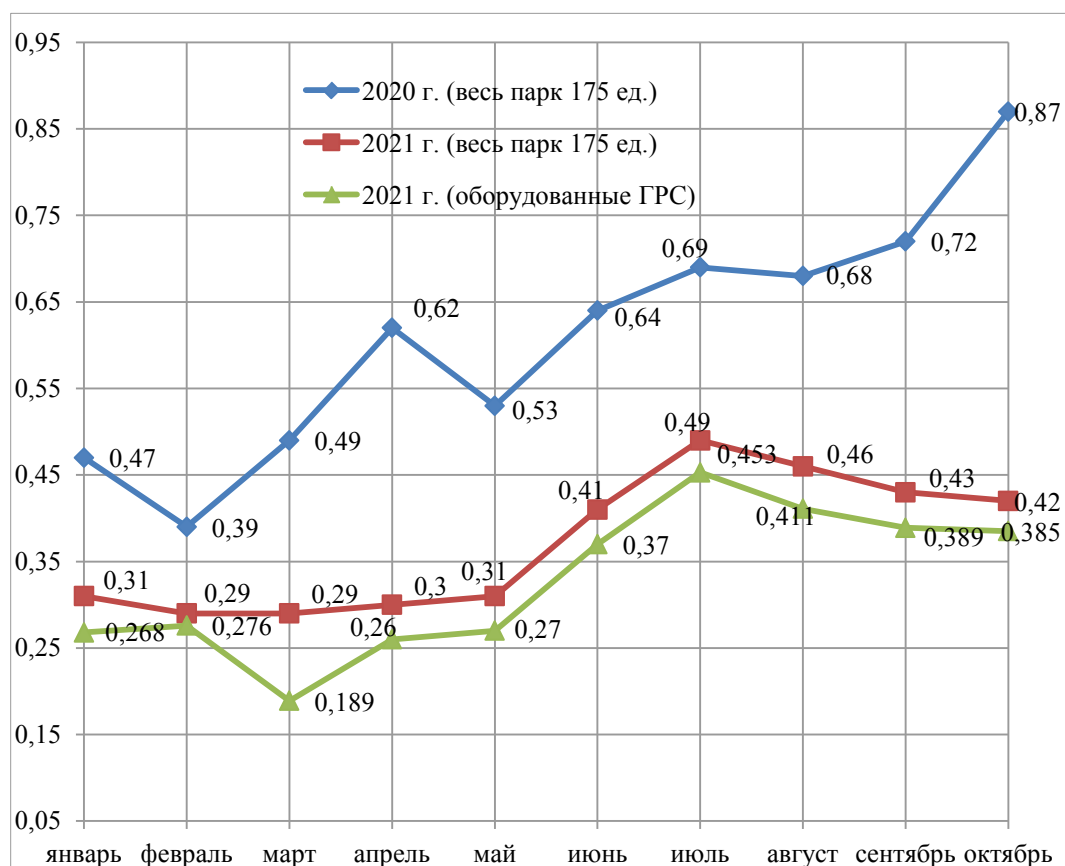


Рис. 4 – Интенсивность износа гребней бандажей пар колесных локомотивов с 2020 по 2021 гг.

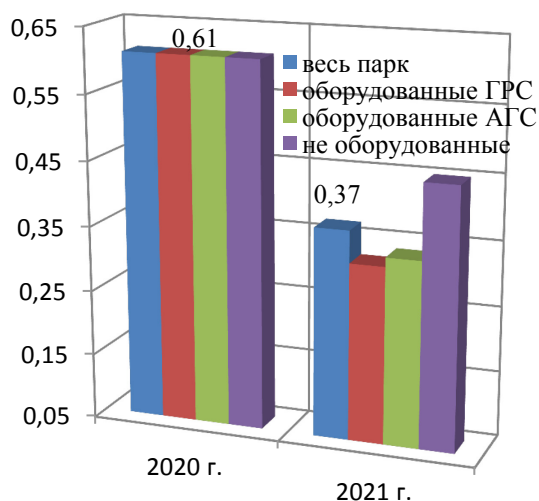


Рис. 5. – Удельная изношенность гребней бандажей пар колесных локомотивов в период с 2020 по 2021 гг.

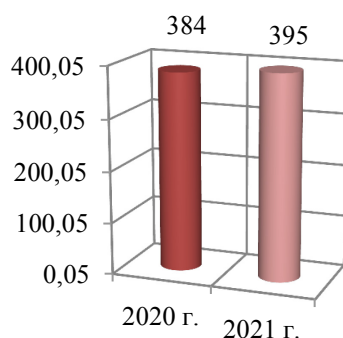


Рис. 6 – Резерв гребней бандажей пар колесных локомотивов в период с 2020 по 2021 гг.

Из отрицательных моментов, необходимо отметить тот факт, что ГРС устанавливаются непосредственно на раме тележки, а при движении локомотива нанесение СМ производится не только в районе «выкружки» (радиуса перехода поверхности катания к гребню), но и зачастую и всей поверхности катания бандажа.

Список литературы

1. Буйносов А.П., Стаценко К.А. Повышение ресурса колесных пар электровозов технологическими методами. Saarbrücken, 2012. 356 с.
2. Глазунов Д.В. Способы снижения колесных пар подвижного состава // Известия Уральского государственного горного университета, 2019. № 2. С. 107-114.
3. Буйносов А.П. Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2010. № 7. С. 49-50.
4. Буйносов А.П. Влияние условий эксплуатации на износ бандажей // Локомотив. 1995. № 1. С. 33-34.
5. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
6. Буйносов А.П., Худояров Д.Л. Влияние упрочнения гребней на ресурс бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 63-68.

2.3.1.

А.А. Голубничий, А.М. Благосмылова

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

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ
НА УРОВНЕ СЧИТЫВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ
(НА ПРИМЕРЕ MNIST)**

В статье дается характеристика некоторых наиболее популярных форматов, используемых для хранения данных и организации вычислений в области анализа данных. На основе исходного датасета MNIST, содержащего сведения о рукописных начертаниях десятичных арабских цифр, были сгенерированы данные в форматах RDS и Parquet, а также произведены расчеты по скорости манипулирования исходными файлами с использованием разных техник и технологий. Наилучшие показатели по скорости обработки были получены для данных в формате Parquet, также файл в данном формате занимал меньший объем памяти, в сравнении с CSV и RDS.

Ключевые слова: *прикладное программное обеспечение, подготовка данных, язык R, формат RDS, формат Parquet, MNIST, плоские файлы, табличные файлы, сериализация данных.*

Введение

Данные становятся все более ценным ресурсом не только с точки зрения принятия отдельных локальных решений в управлении организаций, но и в таких отраслях как бизнес-аналитика, анализ больших данных и во многом другом. Такое мнение становится популярным в последнее время, однако большинство организаций с большим трудом переходит от модели управления данными с использованием реляционного подхода посредством систем типа RDBMS, к более простым и открытым форматам, таким как CSV или JSON. При этом стандартная транзакционная модель, реализованная в Oracle, Postgres, Microsoft SQL или MySQL по-прежнему применима для хранения корпоративных данных и управления ими, однако крайне неэффективна при обработке больших массивов данных.

Многие организации понимают, что их устаревшие системы недостаточны для инициатив по анализу данных, что дает возможность группам аналитиков представить реальные варианты улучшения инфраструктуры анализа данных своей организации или же в академических исследованиях для более быстрого считывания и обработки данных. Вне зависимости от того, проводится ли анализ данных тем, кто их собирал или данные передаются в дальнейшем использование аналитикам, критически важным становится вопрос уменьшения времени обработки данных и уменьшения их размера без потерь содержимого.

Форматы и варианты хранения данных

Наиболее частым форматом хранения данных в настоящее время выступает CSV, данный формат имеет стандартизацию, утвержденную в 2005 году [1] и в этом формате размещаются данные во многих предметных областях, в том числе датасеты такой популярной платформы как Kaggle [2].

В сети Интернет большой популярностью также пользуется формат JSON. Несмотря на явную увязку с языком программирования JavaScript данный формат является независимым от языка, при этом для абсолютного большинства языков программирования написаны или базовые пакеты или расширения, позволяющие считывать и эффективно обрабатывать

данный формат. В отличие от CSV, JSON является более современным форматом, текущая актуальная версия стандарта вышла в 2017 году [3], при этом данный формат имеет структуру по типу «ключ: значение», что в некоторой степени может усложнить обработку в сравнении с привычными плоскими файлами (CSV, TSV и др.).

Одним из стандартных инструментов в области анализа данных выступает язык программирования R [4], поэтому в качестве одного из форматов для хранения данных может выступить формат RDS. RDS является инструментом для сохранения единичных объектов языка программирования R, при этом в качестве объектов могут выступать как векторы, датафреймы, списки, так и функции. Отличительной особенностью данного формата является возможность работы с ним исключительно с использованием языка R, однако в случае полного анализа средствами данного языка программирования, этот факт нельзя отнести к недостаткам формата.

Apache Parquet – это формат файла данных с открытым исходным кодом, ориентированный на столбцы, разработанный для эффективного хранения и извлечения данных. Он обеспечивает эффективное сжатие данных и схемы кодирования с повышенной производительностью для обработки больших объемов сложных данных. Parquet доступен для многих языков программирования в том числе Java, C++, Python, R и др. [5]. Для записи данных в формат Parquet в разных языках программирования существуют дополнительные пакеты и плагины, так для создания Parquet файлов в языке программирования R возможно использовать дополнительный пакет *arrow* [6].

Набор данных MNIST

В качестве основы для проведения исследования по оптимизации вычислений был выбран набор данных MNIST (сокращение от «Modified National Institute of Standards and Technology») [7]. Данный датасет содержит сведения о 60000 изображениях рукописных десятичных цифр, представленных в виде изображений размеров 28*28 пикселей, каждый из которых в числовом выражении выглядит как число от 0 до 255, где 0 соответствует отсутствию начертаний, а 255 – наибольшей интенсивности начертания. При этом данные набора MNIST классически разделяют на данные для обучения и тестирования. В рамках исследования была выбрана часть для обучения, содержащая 42000 значений, содержащая сведения о 784 пикселях, представленных в формате CSV и занимающая в оригинале 76,8 Мбайт. Также предварительно было подготовлено два файла в формате RDS (15,3 Мбайт) и Parquet (13,2 Мбайт). Как видно из размеров файлов, данные MNIST по своим размерам близки к понятию больших данных, однако даже первичный обзор сравнения объемов исходных файлов в трех разных форматах свидетельствует о значительном выигрыше по размеру RDS (в 5 раз) и Parquet (в 5,8 раз) в сравнение с исходным CSV файлом.

Оценка времени вычислений

Для оценки времени выполнения операций с разными форматами была выбрана процедура считывания исходного файла с использованием стандартной рабочей станции с частотой процессора 1,6 GHz, объемом RAM 8 Gb. Все расчеты производились с использованием версии 4.2 интерпретатора языка R и пакета *microbenchmark* [8]. Для считывания файлов использовалась как базовая сборка языка R, так и дополнительные пакеты *readr* [9], *data.table* [10] и *arrow* [6].

Формат CSV получил значительное распространение в области анализа данных, по этой причине в разных пакетах языка R реализованы функции для более эффективного считывания данного формата, так в функции *csv_read* используется базовая функция по считыванию формата CSV, в функции *csv_read2* используется функция *read_csv* из пакета *readr*, в *csv_read3* – функция *fread* из пакета *data.table*. Считывание RDS и Parquet производилось на основе базовой сборки языка R и пакета *arrow*, соответственно. Для повышения точности оценки, каждая функция запускалась 10 раз. Итоговый результат анализа приведен на рисунке 1.

Unit: milliseconds							
expr	min	lq	mean	median	uq	max	neval
csv_read()	11886.9571	12515.1429	13552.7791	13167.7030	14443.8441	16475.365	10
csv_read2()	7692.9686	8232.5916	9325.0492	8986.9344	10620.4919	11394.822	10
csv_read3()	685.5720	733.2679	847.9365	786.0067	1025.7441	1129.870	10
rds_read()	1044.7080	1083.9033	1402.4837	1427.2577	1570.3296	1907.692	10
par_read()	416.0841	510.6172	657.0426	605.2448	737.7427	1140.809	10

Рис. 1 – Итоговый рендеринг оценки скорости выполнения функций по считыванию данных MNIST

Как видно из результатов оценки скорости выполнения, наилучший результат получен для файлов формата Parquet, при этом наиболее оптимизированный вариант считывания CSV файлов, реализованный с помощью пакета data.table, дает в среднем близкий результат, опережая практически вдвое по скорости обработки нативный для R формат RDS.

Заключение

Стандартная транзакционная модель, применимая в системах типа RDBMS, за время своего активного использования в значительной степени ограничила и остановила развитие открытых свободных форматов данных, используемых в области анализа данных. Как показал анализ, проведенный в данном исследовании, современные форматы данных построенные на сериализации данных RDS и столбчатых данных, позволяют добиться лучших результатов как по времени исполнения, так и в значительной степени уменьшают затраты по памяти.

Список литературы

1. RFC 4180 - Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files [Электронный ресурс] URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4180> (дата обращения 05.05.2022).
2. Kaggle: Your Home for Data Science [Электронный ресурс] URL: <https://www.kaggle.com> (дата обращения 05.05.2022).
3. RFC 8259 - The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format [Электронный ресурс] URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8259> (дата обращения 05.05.2022).
4. R: The R Project for Statistical Computing [Электронный ресурс] URL: <https://www.r-project.org> (дата обращения 05.05.2022).
5. Apache Parquet [Электронный ресурс] URL: <https://parquet.apache.org> (дата обращения 05.05.2022).
6. CRAN - Package arrow [Электронный ресурс] URL: <https://CRAN.R-project.org/package=arrow> (дата обращения: 05.05.2022).
7. Platt, John C. Using analytic QP and sparseness to speed training of support vector machines // Advances in Neural Information Processing Systems : journal. – 1999. – P. 557–563.
8. CRAN - Package microbenchmark [Электронный ресурс] URL: <https://CRAN.R-project.org/package=microbenchmark> (дата обращения: 05.05.2022).
9. CRAN - Package readr [Электронный ресурс] URL: <https://CRAN.R-project.org/package=readr> (дата обращения: 05.05.2022).
10. CRAN - Package data.table [Электронный ресурс] URL: <https://CRAN.R-project.org/package=data.table> (дата обращения: 05.05.2022).

2.3.1.

Д.С. Горбатенко

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
кафедра «Системный анализ и управление»,
Москва, mai_kaf604@mail.ru

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

В статье рассматривается проблематика дорожно-транспортной аварийности при эксплуатации на улицах и автомобильных дорогах специальной техники. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий как с участием специальной техники, так и по вине лиц, управляющих специальной техникой. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике безопасности дорожного движения при эксплуатации специальной техники.

Ключевые слова: *безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, улично-дорожная сеть, специальная техника, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.*

Обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) заключается в создании условий, препятствующих возникновению таких событий, как дорожно-транспортные происшествия (ДТП), а также снижения тяжести их последствий.

В соответствии с требованиями действующих правил учета ДТП, к специальной технике относятся следующие виды транспортных средств (ТС): автобетононасосы, автобетоносмесители, автогудронаторы, автокраны и ТС, оснащенные кранами-манипуляторами, автолесовозы, автомобили скорой медицинской помощи, медицинские комплексы на шасси ТС, автоцементовозы, автоэвакуаторы, пожарные автомобили, оснащенные специализированным оборудованием автотранспортные средства аварийно-спасательных служб и полиции, оснащенные специализированным оборудованием автотранспортные средства для коммунального хозяйства и содержания дорог, ТС для обслуживания нефтяных и газовых скважин, ТС для перевозки денежной выручки и ценных грузов, ТС для перевозки длинномерных грузов, ТС для перевозки нефтепродуктов и сжиженных углеводородных газов, ТС для перевозки пищевых жидкостей, оперативно-служебные ТС для перевозки лиц, находящихся под стражей, ТС, оснащенные подъемниками с рабочими платформами, карьерные самосвалы, специализированная техника аварийно-спасательного и военного назначений, боевая техника, бульдозеры, автогрейдеры, фронтальные погрузчики, тягачи, экскаваторы, специализированная снегоуборочная техника, иные дорожно-строительные и дорожно-эксплуатационные машины и механизмы, самоходные машины и механизмы сельскохозяйственного назначения, прочие самоходные машины и механизмы.

Рассмотрим структуру дорожно-транспортной аварийности с участием специальной техники, произошедшей на территории Московской области в 2016-21 гг. [1]

Доля ДТП с участием спецтехники в общем количестве ДТП с пострадавшими на территории области стабильно составляет 3-4 %. В них доля столкновений составляет в среднем 65 %, наездов на стоящие ТС в среднем 22 %, наездов на пешеходов в среднем 9 %. В среднем 40 % ДТП с участием спецтехники происходило внутри населенных пунктов. Чаще всего (в среднем в 70 % ДТП с участием спецтехники) специальной техникой являлись оснащенные специализированным оборудованием транспортные средства для коммунального хозяйства и содержания дорог.

В среднем только в 30 % ДТП с участием спецтехники фиксировались недостатки транспортно-эксплуатационного состояния дороги. В среднем 70 % ДТП происходили на перегонах, 15 % ДТП – на нерегулируемых перекрестках, 7 % ДТП – на регулируемых перекрестках. В среднем в 50 % ДТП фиксировалось отсутствие вблизи каких-либо объектов улично-дорожной сети (УДС) и объектов притяжения людей и транспорта, в среднем в 25 % ДТП вблизи находились объекты торговли. В среднем 60 % ДТП происходили при отсутствии каких-либо факторов, влияющих на режим движения, а в среднем в 30 % ДТП было зафиксировано сужение проезжей части вследствие проведения ремонтных работ. В среднем 55 % ДТП произошли при сухом состоянии проезжей части, 30 % - при мокром. В среднем 60 % ДТП произошли в светлое время суток, 30 % ДТП - в темное время суток при включенном освещении. Почти все ДТП происходили на прямых горизонтальных участках.

Из ДТП с участием спецтехники в среднем в 55 % случаев водители спецтехники не нарушали правила дорожного движения (ПДД). Среди ДТП, в которых водители нарушали ПДД, приведшие к ДТП, самыми распространенными являлись «несоответствие скорости конкретным дорожным условиям» (в среднем в 25 % случаев), «несоблюдение очередности проезда» (в среднем в 25 % случаев), «неправильный выбор дистанции» (в среднем в 20 %), и «нарушения правил проезда пешеходных переходов» (в среднем в 20 % случаев). В среднем в 12 % случаев, помимо нарушения ПДД, приведших к ДТП, у водителей спецтехники фиксировалось сопутствующее нарушение ПДД – «нарушение режима труда и отдыха водителя», а в среднем в 10 % случаев водители спецтехники находились еще и в состоянии алкогольного или наркотического опьянения.

Среди водителей спецтехники, нарушивших ПДД, приведших в ДТП, самой распространенной возрастной группой явилась 41-50 лет (в среднем 35 % чел.), далее 31-40 лет (25 %), далее 51-60 лет (20 %), далее 21-30 лет (в среднем 15 % чел.), и свыше 60 лет – в среднем 5 % чел. В среднем половина таких водителей имели водительский стаж более 20 лет, в среднем 25 % имели водительский стаж 11-20 лет, в среднем 15 % водителей имели стаж 3-10 лет, и в среднем 10 % водителей имели на момент ДТП водительский стаж до 3 лет. Все зафиксированные случаи нарушений режима труда и отдыха, а также управления ТС в состоянии алкогольного или наркотического опьянения, были зафиксированы у водителей с водительским стажем свыше 20 лет. В среднем 75 % водителей являлись гражданами РФ. Среди водителей граждан РФ только в среднем 20 % составляли «местные» жители (Московская область и г. Москва), остальные являлись жителями других регионов.

Анализ структуры аварийности с участием специальной техники на территории Московской области за последние 5 лет [1] позволил сделать вывод о том, что основной причиной возникновения ДТП с участием специальной техники явилось пренебрежение соблюдения требований ПДД иными участниками дорожного движения, и пренебрежение соблюдения требований ПДД и временных схем организации движения со стороны водителей спецтехники. Причем «вклад» в возникновение ДТП водителей спецтехники и иных участников дорожного движения примерно одинаков.

Спецтехника – это особый класс машин. В своих областях они незаменимы. Но, как любой специализированный механизм, имеют свои особенности в эксплуатации. Чаще всего это ТС с низкой скоростью и нестандартными габаритами, но бывают со стандартными габаритами и с необходимостью движения с высокой скоростью и с преимуществами в движении (ТС скорой медицинской помощи и оперативных служб). В большинстве случаев, правила движения для спецтехники логично вытекают из ее особенностей, и указаны в инструкции по эксплуатации.

Проведенный анализ аварийности с участием спецтехники показал, что в половине случаев ДТП водители спецтехники нарушали ПДД и требования эксплуатации спецтехники. Причем, как правило, это люди в «сознательном» возрасте и с высоким водительским стажем. В связи с этим, возникает задача обеспечения соблюдения ими требований ПДД и

эксплуатации. Данная задача может быть выполнена путем воздействия на водителя с двух сторон: со стороны организации-работодателя (внутренний контроль), и со стороны дорожно-патрульной службы (ДПС) и средств автоматической фиксации нарушений ПДД (внешний контроль).

Работодатель обязан [2] назначить ответственного за обеспечение БДД, который должен вести специальный журнал учета инструктажей водителей, где отмечаются все проведенные мероприятия. В журнале должны присутствовать подписи всех проинструктированных. Инструктаж проводится при приеме на работу (вводный), при выезде (предрейсовый), а также сезонный (при сезонных особенностях работ) и специальный (при изменении нормативных актов). Также среди водительского состава должны проводиться занятия по БДД и технике безопасности, аттестации с разной периодичностью. Получается, что данная работа зачастую проводится формально, фактически занятия и аттестация не проводится. Результатом этого являются ДТП, гибель и ранения в них людей, в том числе, самих водителей спецтехники. Поэтому, помимо водителей, для должностных лиц, допустивших формальное отношение водительского состава организации к соблюдению требований ПДД и эксплуатации спецтехники, необходимо усиление ответственности как административной, так и уголовной [2, 3]. Данная мера (внутренний контроль) позволит обеспечить фактическое проведение занятий и инструктажей по БДД и технике безопасности, а фактическое проведение аттестаций водителей позволит повысить профессиональный уровень эксплуатантов спецтехники. Это же относится к соблюдению водительским составом режима труда и отдыха, поскольку управлять ТС, спецтехникой особенно, в утомленном состоянии запрещено. Причем это требование применимо ко всем организациям, осуществляющим автотранспортную деятельность.

Внешний контроль представляет собой контроль и надзор за движением, функции которого осуществляются, главным образом, силами ДПС, являющихся средством предупреждения нарушений ПДД, и функционированием комплексов автоматической фотовидеофиксации нарушений ПДД, являющихся средством фиксации нарушений. При этом функции надзора и контроля за движением, естественно, не могут эффективно осуществляться без соответствующего уровня ответственности за нарушение ПДД, который должен состоять не только из высоких денежных сумм, но и обеспечиваться надежной системой неотвратимости наказания (например, задержание водительского удостоверения до исполнения, ограничение или запрет выполнения каких-либо действий до исполнения, ограничение пользования имуществом до исполнения и т.п.) [3].

Заключение

Предложенные решения действительно способны обеспечить безопасность эксплуатации специальной техники, и, как следствие, предотвратить возникновение ДТП, ранение и гибель в них людей.

Список литературы

1. Статистические данные о дорожно-транспортной аварийности на территории Московской области за 2017-21 г. М. УГИБДД ГУ МВД России по Московской области, 2017-21.
2. Гусельников Ю.А. Проблемы контроля обеспечения безопасности дорожного движения в субъектах транспортной деятельности. Вестник Курганского государственного университета. Серия: технические науки, Выпуск № 3, 2015 г., с. 78-92.
3. Кузнецов В.В., Горбатенко Д.С., Порташников О.М. Математическое моделирование как основа разработки программ мероприятий по повышению безопасности движения на улично-дорожной сети. М.: Безопасность дорожного движения: сборник научных трудов, ФКУ «НЦ БДД МВД России», Выпуск № 18, 2019 г., с. 110-114.

2.3.1.

Д.В. Горбачев, М.В. Пискунова, И.А. Щудро, В.В. Головков

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники
и автоматизированных систем,
Оренбург, effectmass@list.ru,
АО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнёва»,
Железногорск

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСЛАБЛЕНИЯ СИГНАЛА
В СИСТЕМЕ «ЗЕМЛЯ-ЛУНА» С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

В статье представлены результаты обучения нейронной сети для прогнозирования ослабления сигнала в свободном пространстве в радиолинии системы «Земля-Луна». Учитывается, что сигнал передается с спутника на геостационарной орбите до лунного спутника в точке либрации L1. Обучение нейросети проведено в платформах Loginom и Deductor.

Ключевые слова: ослабление сигнала; спутниковая связь; радиолиния «Земля-Луна»; нейронная сеть; прогнозирование.

Поиск наилучшего возможного решения задачи прогнозирования потерь при распространении радиоволн актуален для развития сетей космической радиосвязи.

При распространении радиоволн по естественным трассам, т.е. в условиях, когда средой служит земная поверхность, атмосфера, космическое пространство, среда является тем звеном системы, которое практически не поддается управлению.

Причиной затухания радиосигнала являются потери, которые радиосигнал испытывает в свободном пространстве. Из-за потерь качество сигнала значительно ухудшается [1].

При таких условиях наиболее подходящим инструментом для прогнозирования являются искусственные нейронные сети (ИНС).

Нейронные сети – мощный аппарат для имитации процессов и явлений, который предоставляет возможность воспроизводить достаточно сложные зависимости [2].

ИНС позволяют не только выполнять запрограммированную последовательность действий на определенном наборе данных, но и анализировать вновь поступающую информацию, находить в ней закономерности, адаптироваться и проводить прогнозирование [3].

Исходя из этого, для прогнозирования потерь радиосигнала при его распространении в системе «Земля-Луна» целесообразно использовать нейросеть. При определении того, что нужно прогнозировать, необходимо указывать переменные, которые анализируются и предсказываются [4].

Используем для обучения нейросети платформу Loginom Community, и также Deductor Studio, чтобы сравнить точность результатов двух платформ в одинаковых условиях. В настройках параметров нейросети будем устанавливать один скрытый слой с 10 нейронами.

К входному набору относятся данные, полученные при расчете упрощенной схемы передачи информации от спутника на геостационарной орбите до спутника в точке Лагранжа L1, между которыми расстояние будем считать 283 607 км. В этом случае будут рассчитываться только потери в свободном пространстве.

Ослабление сигнала в свободном пространстве между двумя изотропными антеннами определяется по формуле [5]:

$$L_{bf}=20 \lg \left(\frac{4\pi * R}{\lambda} \right), \quad (1)$$

где R – расстояние между антеннами, $\lambda = c/F$ – длина волны, где c – скорость света, F – частота.

На рисунке 1 представлена нейронная сеть, используемая для прогнозирования ослабления сигнала в свободном пространстве.

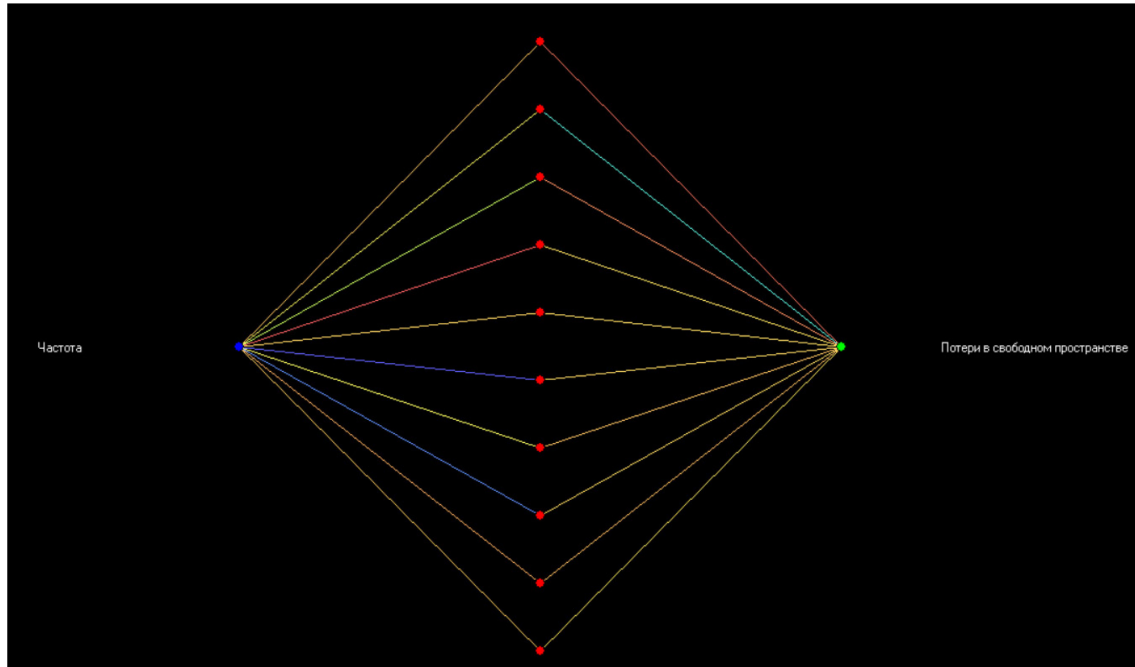


Рис. 1 – Нейронная сеть для прогнозирования ослабления сигналов в свободном пространстве в Deductor, где входным данным является частота, а выходным – потери в свободном пространстве

После проведения обучения нейросети в выходном наборе к входному добавляется поле прогноза - выходное поле обучающего набора данных. На рисунке 2 видно, что полученные данные почти идентичны с исходными. Из этого следует, что нейросеть обучилась.

Частота	Длина волны	Потери в свободном пространстве	Потери в свободном пространстве_OUT	Потери в свободном пространстве_ERR
4	0,075	213,5356722	213,767221484015	0,000111399922869141
8	0,0375	219,5562721	219,504937767172	5,47537475643357E-6
10	0,03	221,4944724	221,543451213134	4,9844187296294E-6
14	0,0214	224,4170331	224,396393183592	8,8514388506066E-7
18	0,0167	226,5999225	226,609793198257	2,02438801336453E-7
22	0,0136	228,342926	228,327312244602	5,06538836298439E-7
26	0,0115	229,7939393	229,821221202924	1,54649073961289E-6
30	0,01	231,0368975	230,918965768058	2,8897439191905E-5
34	0,0088	232,1240507	232,066348341296	6,91807295703159E-6
38	0,0079	233,0901443	233,135026667415	4,185520935314E-6
42	0,0071	233,9594582	233,983683574993	1,21937987224843E-6
46	0,0065	234,749629	234,749802109961	6,22647316180186E-11
50	0,006	235,4738725	235,324510818541	4,63528448368479E-5

Рис. 2 – Входные и выходные данные в Deductor

На рисунке 3 для наглядности приведена диаграмма, которая показывает с какой точностью обучилась нейросеть в Loginom.

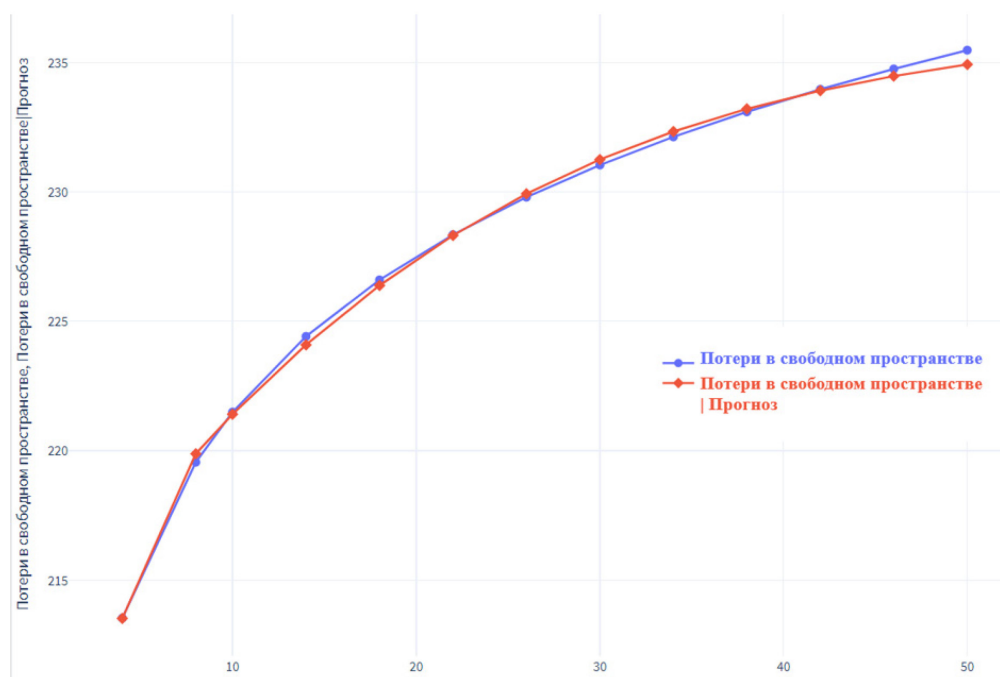


Рис. 3 – Диаграмма прогнозирования потерь радиосигнала в Loginom

Сравнивая результаты обучения нейросети в платформах «Loginom Community» и «Deductor Studio Academic», можно сделать вывод, что нейросети удалось обучиться на обеих платформах.

Для радиосигнала «Земля-Луна» точность прогноза потерь будет способствовать повышению эффективности канала связи передачи информации между Землей и Луной. Следовательно, прогнозирование потерь радиосигнала спутниковой связи "Земля-Луна" во многом определяет ее будущее состояние.

Нейросетевой метод может применяться для решения задач прогнозирования не только ослабления сигнала, но и других параметров радиосигнала. На рисунке 4 представлено сравнение значений потерь сигнала в зависимости от частоты передачи.

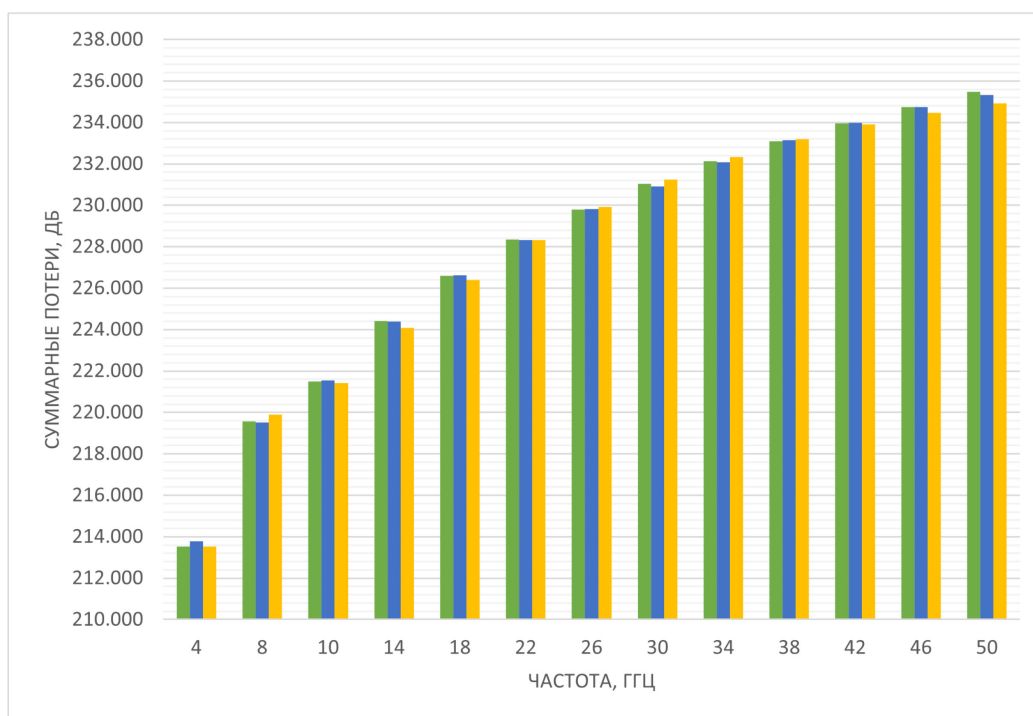


Рис. 4 – Гистограмма зависимости потерь радиосигнала от частоты: исходные данные, обучение нейросети на Deductor и обучение нейросети на Loginom

Список литературы

1. Грызлов И.Д., Павлов Д.О. Влияние окружающей среды на прохождение радиосигнала // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. №13. С. 137.
2. Федотов В.В. Применения нейронных сетей в телекоммуникационных сетях связи // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2004. №5. С.91.
3. Семейкин В.Д. Управление сетью передачи данных с помощью искусственных нейронных сетей // Т-Comm. 2013. №7. С. 118.
4. Любимова Т.В., Горелова А.В. Решение задачи прогнозирования с помощью нейронных сетей // Инновационная наука. 2015. №4-2. С.40.
5. Елеферов С. Расчет линий спутниковой связи. Основные понятия и формулы – Дубна, 2008. – 15 с.

2.3.1.

А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова, В.П. Наумченко

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
Кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
Москва, Zhornyak604mai@mail.ru, morozova_ta_66@mail.ru, 8987nau@mail.ru

**СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON
ПРИ РАБОТЕ С БАЗАМИ ДАННЫХ**

В статье рассматривается язык программирования Python и специфика его применения при работе с базами данных, приводится описание основных специализированных библиотек языка Python, предназначенных для работы с базами данных и указаны основные особенности использования этих библиотек. Также в статье рассмотрены способы организации взаимодействия языка Python со всеми наиболее используемыми системами управления базами данных.

Ключевые слова: язык программирования Python, базы данных, системы управления базами данных, язык запросов SQL, объектно-реляционное представление ORM.

Python - это один из современных динамично развивающихся языков программирования. Основным направлением использования языка программирования Python являются задачи обработки и анализа больших массивов данных. Одним из способов хранения больших массивов данных является база данных (далее - БД). Наиболее распространенными системами управления БД являются MSSQLServer, Oracle, PostgreSQL, MySQL, которые активно применяются в крупных промышленных и коммерческих компаниях. Также существуют СУБД более простые, такие как SQLite, которые крайне редко используются в промышленных и коммерческих задачах, и они скорее носят роль учебных.

Наличие такого большого количества СУБД, в принципе, не приводит к трудностям, так как они все поддерживают реляционную модель для описания структуры БД, а для работы с БД используют стандарт языка запросов SQL. Основные отличия в применении той или иной СУБД в основном кроются в специфических названиях и представлениях типов данных в конкретной СУБД, а также в своих дополнениях языка SQL.

Широкие возможности Python позволяют проводить подключение и работу с БД в различных СУБД. Далее приведем перечень специальных библиотек языка Python, предназначенных для работы с СУБД:

- 1) SQLAlchemy для PostgreSQL, MSSQLServer, MySQL, Oracle, SQLite;
- 2) SQLAlchemy для MySQL, PostgreSQL, SQLite;
- 3) Sqlite3 для SQLite;
- 4) MySQLdb для MySQL;
- 5) PyMySQL для MySQL, MariaDB;
- 6) PyODBC для MSSQLServer, MySQL, Oracle, PostgreSQL, SQLite;
- 7) Psycopg2 для PostgreSQL;
- 8) Cx_Oracle для Oracle;
- 9) Storm для MySQL, PostgreSQL, SQLite;
- 10) Pymssql для MSSQLServer;

Среди вышеназванных библиотек представлены как узкоспециализированные библиотеки для взаимодействия Python с конкретной СУБД, так и универсальные, предназначенные для организации взаимодействия Python с различными СУБД.

Далее рассмотрим некоторые из этих библиотек более подробно:

1) Библиотека SQLAlchemy - это библиотека, которая позволяет из языка Python взаимодействовать с СУБД с использованием технологии объектно-реляционного преобразования ORM (Object-Relational Mapping).

Суть объектно-реляционного преобразования состоит в следующем: в реляционных БД описание одной цельной сущности, описываемой в БД, а также всех ее параметров, будет храниться в нескольких взаимосвязанных таблицах БД. При этом в программе, работающей с БД, эта сущность будет описываться уже как цельный объект с множеством параметров. В этом случае для получения полной информации об описанной в БД сущности программисту необходимо сделать SQL запросы к каждой из таблиц БД, в которых хранится описание искомой сущности, что каждый раз потребует выполнения дополнительных операций в программе. Технология ORM позволяет создавать полные описания сущностей, описываемых в БД, в виде объекта в памяти программы, отслеживать все изменения этого объекта в БД и в программе, а также, при необходимости, сохранять внесенные изменения в описание сущности в таблицах БД, что существенно упрощает работу программиста.

Текущая актуальная версия библиотеки SQLAlchemy 1.4 поддерживает подключение и взаимодействие со следующими СУБД: MySQL, PostgreSQL, MSSQLServer, Oracle, SQLite [1] и может использоваться в старой версии Python 2.7 и в новых версиях Python 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10.

2) Библиотека SQLAlchemy - это другой объектно-реляционный преобразователь Python между базами данных и объектами Python. SQLAlchemy поддерживает подключение и взаимодействие со следующими СУБД: MySQL, PostgreSQL, SQLite [2]. Особенностью данной библиотеки является возможность объектного представления базы данных - так каждая таблица БД представлена классом, каждая строка таблицы - экземпляром этого класса, каждая колонка таблицы БД - специальным именованным атрибутом. Также SQLAlchemy поддерживает работу с языком запросов SQL. Работает с Python 2.7 и с версиями Python 3.4 и старше.

3) Библиотека sqlite3 языка Python предназначена для работы с SQLite - компактной и нетребовательной к ресурсам СУБД, обладающей всеми необходимыми возможностями, которые можно ожидать от реляционной СУБД и при этом хранящейся в единственном файле на локальном компьютере, что также повышает удобство в ее применении. Модуль sqlite3, входит в стандартную библиотеку языка Python.

4) Библиотека MySQLdb предназначена для подключения Python к СУБД MySQL. Для подключения к БД предварительно следует установить пакет mysqlclient - ответвление MySQL-Python, который обеспечивает поддержку Python 3. Также необходима заранее установленная СУБД MySQL или программа MySQL Client для успешной установки пакета mysqlclient.

5) Также, помимо библиотеки MySQLdb у Python есть библиотека PyMySQL, предназначенная для подключения Python к СУБД MySQL. PyMySQL представляет собой разработанную для Python клиентскую библиотеку, основанную на спецификации Python Database API 2.0. Большая часть ее API является совместимой с mysqlclient и MySQLdb.

Библиотека PyMySQL работает с СУБД MySQL 5.5 и старше. Также библиотека PyMySQL поддерживает взаимодействие с СУБД MariaDB 5.5 и старше, являющуюся ответвлением от СУБД MySQL, разрабатываемой под лицензией GNU GPL.

6) Библиотека PyODBC языка Python - это библиотека, предназначенная для работы с СУБД на основе технологии ODBC (Open Database Connectivity).

Технология ODBC - это интерфейс, разработанный компанией Microsoft. Он предназначен для унификации подключения и работы с базами данных. Основной целью разработки данной технологии была унификация программного взаимодействия с различными типами СУБД. Согласно стандарту ODBC, большинство СУБД имеют свой ODBC- драйвер, используя который программисты могут разрабатывать свои приложения в рамках одного интерфейса, не беспокоясь о тонкостях взаимодействия с различными типами СУБД.

Благодаря поддержке работы с ODBC библиотека PyODBC позволяет подключаться и взаимодействовать с множеством различных СУБД, таких как MSSQLServer, MySQL, Oracle, PostgreSQL, SQLite. Соединение с БД в PyODBC осуществляется с помощью строки подключения в функции `pyodbc.connect()` и использует драйвер конкретной СУБД, к которой осуществляется подключение.

7) Библиотека Psycopg2 языка Python является наиболее популярным адаптером для работы с СУБД PostgreSQL. Библиотека Psycopg2 реализована на языке C в виде программной оболочки `libpq`, в которой реализована полная спецификация Python Database API 2.0.

Библиотека Psycopg2 была написана с учетом поддержки многопоточных приложений, которые выполняют большое количество одновременных SQL-запросов «INSERT» или «UPDATE». Так в библиотеке существенное внимание уделяется поддержке потокобезопасности, при которой несколько потоков программы на Python могут совместно использовать одно и то же соединение с БД [3].

8) Библиотека Cx_Oracle для СУБД Oracle написана на языке C и также поддерживает спецификацию Python Database API 2.0, что обеспечивает быструю обработку данных и позволяет при этом использовать все достоинства языка Python. Библиотека Cx_Oracle имеет лицензию с открытым исходным кодом (лицензия BSD). Текущая версия библиотеки Cx_Oracle 8 может использоваться в версиях Python 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10. Поддерживает работу с Oracle 21c, 19c, 18c, 12c, 11.2 [4].

Функционирование библиотеки основано на взаимодействии с реляционной структурой БД и использовании языка запросов SQL. Библиотека Cx_Oracle имеет поддержку сложных структур данных, что позволяет легко обрабатывать результаты SQL запросов к БД.

9) Библиотека Storm также использует объектно-реляционное сопоставление между таблицами БД и соответствующими им объектами в программе на Python, позволяет разработчикам формировать сложные запросы к БД, охватывающие несколько таблиц, поддерживает динамическое хранение информации об объектах внутри БД. Библиотека Storm поддерживает работу в СУБД PostgreSQL, MySQL и SQLite.

10) Библиотека Pymssql разработана специально для подключения и взаимодействия Python с СУБД MSSQLServer. Pymssql может использоваться в версиях языка Python 2.x начиная с 2.6 и в версиях языка Python 3.x начиная с 3.3, и поддерживает работу с СУБД MSSQLServer 2005 версии и старше [5].

Таким образом, в рамках настоящей статьи рассмотрен список специализированных библиотек языка программирования Python предназначенных для подключения и обработки информации из баз данных. Разнообразие библиотек, реализующих возможность подключения к базам данных, позволяет охватить весь перечень распространённых на рынке СУБД.

Список литературы

1. Официальный сайт библиотеки SQLAlchemy [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docs.sqlalchemy.org/en/14/> (дата обращения 25.04.2022).
2. Официальный сайт библиотеки SQLAlchemy [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.sqlalchemy.org/Python3.html> (дата обращения 25.04.2022).
3. Официальный сайт библиотеки Psycopg [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.psycopg.org/docs/> (дата обращения 25.04.2022).
4. Официальный сайт библиотеки Cx-Oracle [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cx-oracle.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения 25.04.2022).
5. Официальный сайт библиотеки Pymssql [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.pymssql.org/intro.html> (дата обращения 25.04.2022).
6. *Tony Coding*. Python and Sql programming, Издательство Mikcorp Limited, 2020. – 428с.

2.3.1.

А.В. Караванов, В.Н. Кириченко, Д.И. Ликсонова

Институт космических и информационных технологий,
Сибирского федерального университета,
Кафедра Информационных систем,
Красноярск, Karavanov_92@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ЯДЕРНОЙ ФУНКЦИИ И КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМЫТОСТИ ЯДРА НА ТОЧНОСТЬ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ РЕГРЕССИИ

Исследуется влияние вида ядерной функции на точность непараметрической оценки функции регрессии. В ходе исследования были построены несколько моделей с разными ядерными функциями. Далее исследуется влияние коэффициента размытости ядра на точность непараметрической оценки функции регрессии. В ходе исследования были построены несколько моделей с разными коэффициентами размытости ядра.

Ключевые слова: непараметрическая оценка функции регрессии, коэффициент размытости ядра, ядерная функция.

Введение

В настоящее время используется большой набор методов и приемов разработки моделей и алгоритмов управления процессами. В последнее время особое распространение при решении задач классификации, оптимизации и моделирования получили нейронные сети, эволюционные алгоритмы, алгоритмы, основанные на использовании непараметрической статистики.

Алгоритмы, основанные на непараметрической статистике, используют для своей работы ядерные функции, а также параметры размытости ядра. Представляет научный интерес влияние различных видов ядерных функций и параметров размытости ядра на качество модели, основанной на непараметрической оценке функции регрессии. Исследованию этого влияния и посвящена статья.

Постановка задачи

В качестве объекта исследования рассматривается объект, отображенный на рисунке 1 [1-3].

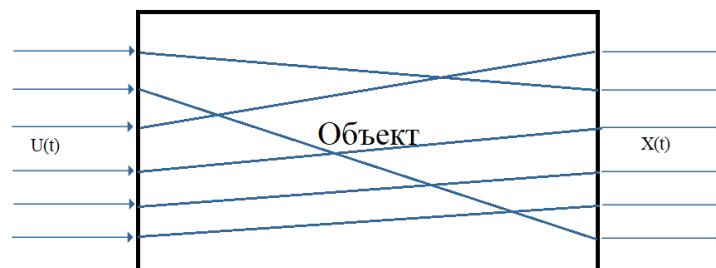


Рис. 1 – Объект исследования

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: $U(t)$ - вектор входных переменных, $X(t)$ - вектор выходных переменных. Рассмотренный объект является безынерционным объектом без памяти. Функция, описывающая процесс неизвестна. На рассматриваемом процессе получена выборка наблюдений (U_i, X_i) , $i = \overline{1, s}$, где s - размер выборки наблюдений. Опишем вкратце используемый метод математического моделирования.

Непараметрическая оценка функции регрессии

Пусть имеется статически независимые наблюдения двух случайных величин $(u, x) = (u_1, x_1), \dots, (u_n, x_n)$, распределенных с неизвестной плотностью вероятности $P(u, x)$. Предполагается, что $p(u) > 0 \forall u \in \Omega(u)$ [4]. При аппроксимации неизвестных стохастических

зависимостей x от u часто используют регрессию x по u . Непараметрическая оценка которой имеет вид [5;6]:

$$x_n = f_n(u) = \left(\sum_{i=1}^n \Phi \left(\frac{u-u_i}{C_n} \right) \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i \Phi \left(\frac{u-u_i}{C_n} \right) \right) \quad (1)$$

Где Φ – Это ядерная функция. C_n – коэффициент размытости ядра.

Следует добавить, что оценка регрессии свободна от параметрической структуры объекта. Далее рассматривается влияние выбора разных ядерных функций, а также влияние значения параметра размытости ядра на точность оценки функции регрессии.

Численные эксперименты

В непараметрической статистике под ядром понимается весовая функция. Для проверки влияния выбора ядерной функции на точность непараметрической оценки функции регрессии были выбраны следующие три функции: треугольная, параболическая, кубическая [6]. В ходе исследования были созданы модели процесса, основанные на непараметрической оценке функции регрессии с использованием разных ядерных функций и с одинаковыми значениями

размытости

ядра.

В конце проведено сравнение точности разработанных моделей. Для проверки влияния выбора значения размытости ядра на точность непараметрической оценки функции регрессии была выбрана треугольная функция размытости ядра [6]. Параметр размытости ядра последовательно меняется от 0,01 до 3 с шагом 0,01. В конце статьи проведено сравнение оценки функции регрессии при разных значениях размытости ядра. Исследуемый процесс, обладает следующими характеристиками:

- количество выходных переменных – 1;
- количество входных переменных – 10;
- размер выборки наблюдений: 1500.

Процесс описывается формулой

$$x = \sin(u_1) + u_2^2 + 5 * u_3 + u_4 - u_5^2 - u_6^3 + u_7^3 - u_8 + u_9 + u_{10} \quad (2)$$

Важно отметить, что алгоритму моделирования формула, описывающая процесс, неизвестна. Она используется только для формирования исходной выборки наблюдений.

Результаты численных экспериментов

В результате эксперимента, по проверке влияния вида ядерной функции на точность оценки функции регрессии, были получены следующие результаты. При использовании треугольного ядра (Рисунок 2а), параболического ядра (Рисунок 2 б), кубического ядра (Рисунок 2в):

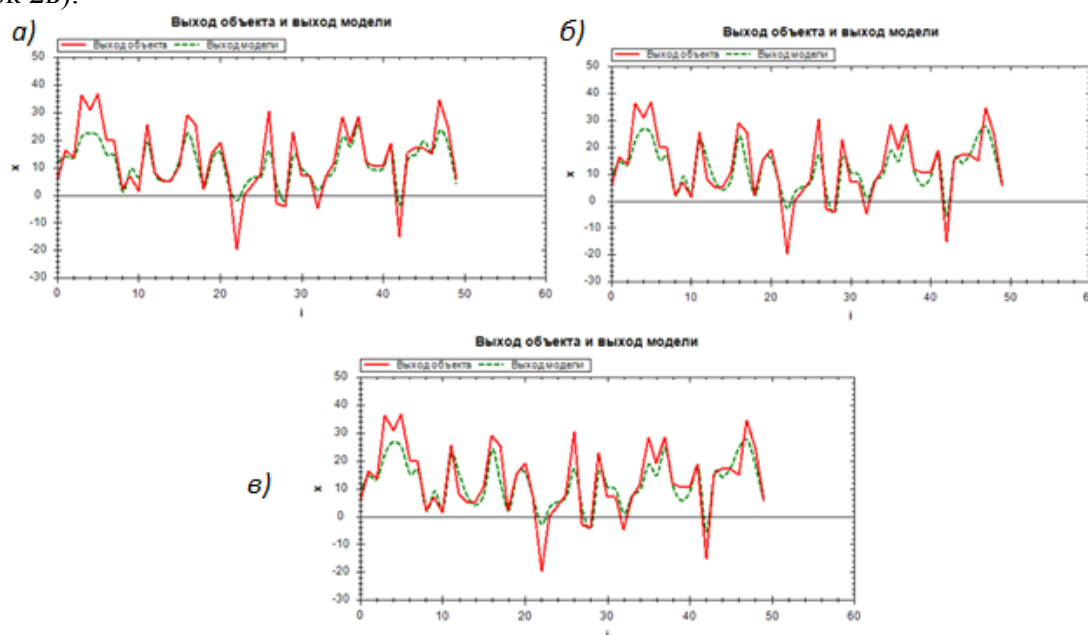


Рис. 2 – Выход объекта и выход модели при использовании треугольного ядра (а), параболического ядра (б), кубического ядра (в)

Проверка качества производилась на основании среднеквадратичного отклонения значений, полученных в результате моделирования при использовании различных ядерных функций. Результаты моделирования представлены в таблице 1

Таблица 1 – Результаты моделирования

Тип ядерной функции	СКО математической модели
Треугольное ядро	5,31
Параболическое ядро	5,59
Кубическое ядро	5,65

Как видно из таблицы 1, точность моделирования не сильно изменилась с при выборе разных ядерных функций. Это позволяет утверждать, что выбор ядерной функции незначительно влияет на результат моделирования.

В дальнейшем была выполнена вторая часть эксперимента.

При проверке влияния выбора значения размытости ядра, была получена следующая зависимость точности оценки восстановления функции регрессии и параметра размытости ядра (Рисунок 3).

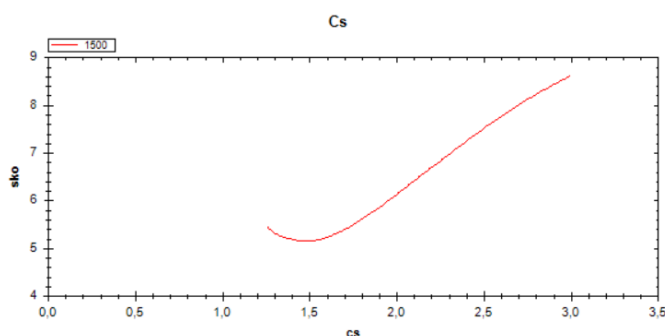


Рис. 3 – Зависимость точности оценки восстановления функции регрессии и параметра размытости ядра

Проверка качества производилась на основании среднеквадратичного отклонения значений, полученных в результате моделирования при использовании различных значений размытости ядра. Результаты моделирования представлены в таблице 2

Таблица 2 – Результаты моделирования

Значения размытости ядра	СКО математической модели
1,3	5,65
1,5	5,11
3	8,61

Как видно из таблицы 2, точность моделирования сильно изменилась с при выборе разных значений размытости ядра. Это позволяет утверждать, что выбор значения размытости ядра значительно влияет на результат моделирования.

Выводы

В ходе исследований были построены несколько математических моделей на основе непараметрической оценки функции регрессии, отличающиеся видом ядерной функции. В результате численного эксперимента было подтверждено, что выбор ядерной функции не сильно влияет на качество оценки функции регрессии. Также был проведён эксперимент в ходе которого анализировалось влияние значения размытости ядра на качество полученных моделей. Для анализа были разработаны несколько математических моделей отличающиеся параметром размытости ядра. В результате этого эксперимента была обнаружена сильная зависимость параметра размытости и точности построенной модели.

Список литературы

1. *Tweedle V. Smith R.* A mathematical model of Bieber Fever // Transworld Research Network. 2012. Vol. 37/661, № 2. P. 157–177.
2. *Lingefard T.* Faces of mathematical modeling // ZDM. 2006. Vol. 38, № 2. P.96–112.
3. *Советов Б.Я, Яковлев С.А.* Моделирование систем : учебник для вузов. М. :Высш. шк., 2001. 343 с.
4. *Медведев А.В.* *H*-модели для безынерционных систем с запаздыванием // Вестник СибГАУ. 2012. № 5(45). С. 84–89.
5. *Медведев А.В.* Некоторые замечания к *H*-моделям безынерционных процессов с запаздыванием // Вестник СибГАУ. 2014. № 2(54). С. 24–34.
6. *Медведев А.В.* Анализ данных в задаче идентификации // Компьютерный анализ данных моделирования. Т. 2. Минск : БГУ, 1995. С. 201–206.

2.3.1.

¹М.Г. Руденко д-р техн. наук, ²М.М. Руденко¹Иркутский национальный исследовательский университет,
Институт энергетики,
mg-rud@mail.ru,²ООО "Объединенная строительная компания",
Санкт-Петербург**ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ЛАГЕРЕЙ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Организация работ по прокладке магистральных трубопроводов предусматривает потери времени на перемещение временного лагеря и на передвижение от лагеря к месту работы. Разработана математическая модель, позволяющая минимизировать потери времени за счет оптимального расположения передвижных временных лагерей при строительстве магистральных трубопроводов.

Ключевые слова: *оптимизация, магистральные трубопроводы, строительство.*

1. Рассмотрим организацию работ по прокладке магистральных трубопроводов.

Строительство магистральных трубопроводов ведется с использованием базовых лагерей, располагаемых в соответствии с проектной документацией [1]. В таких лагерях реализуются функции управления строительством, хранения запаса горюче-смазочных материалов, различного оборудования и другие функции, непосредственно связанные с обеспечением строительного производства [2, 3]. Лагеря располагаются на значительном удалении друг от друга (десятки километров). Это связано с необходимостью соблюдения разнообразных требований по охране окружающей среды [4] и рекультивации земли, отведенной под их строительство [5]. В дополнение к базовым, создаются временные лагеря [6]. Их назначение – обеспечение минимального времени на движение к месту работы. В начале такие лагеря устанавливаются на некотором расстоянии от места монтажа. При производстве работ расстояние уменьшается до нуля, а затем снова увеличивается (см. рис. 1). Через несколько дней временный лагерь перевозится на новое место и цикл повторяется.

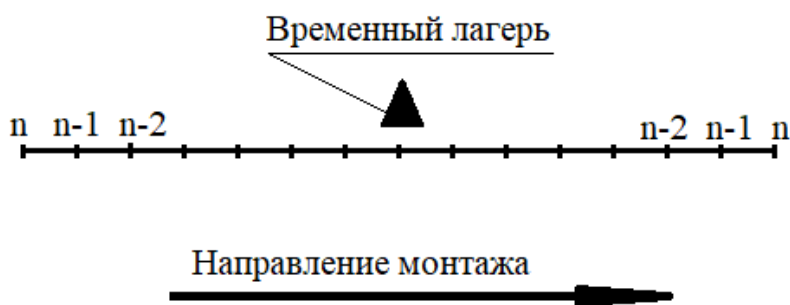


Рис. 1 – Схема производства работ по прокладке магистральных трубопроводов

Время, необходимое для движения от лагеря до места работы и обратно, постоянно изменяется. Возникает дилемма: частая перевозка лагеря приводит к увеличению потерь времени на его перемещение, а редкая перевозка приводит к увеличению потерь времени на дорогу к месту работы и обратно.

Рассмотрим задачу оптимизации расстояния между лагерями по параметру минимальных потерь времени на их установку и на движение к месту работы и обратно.

2. Потери времени на движение к месту работы и обратно.

Примем допущения: за каждый день прокладывается одинаковая длина трубопровода L ; скорость перемещения рабочих при движении к рабочему месту и обратно не изменяется и равна V .

Тогда в первый день, после переезда, продолжительность перемещения к рабочему месту и обратно составит

$$\frac{L \cdot n + L \cdot (n-1)}{V} = \frac{L}{V}(2n-1)$$

Во второй день $\frac{L}{V}(2n-3)$

В третий день $\frac{L}{V}(2n-5)$

В i -й день $\frac{L}{V}[2n-(2i-1)]$

Убывающий ряд закончится при условии, $i = n$. При выполнении этого условия, монтаж трубопровода производится в пределах временного лагеря.

Суммируя ряд по параметру i [7], получим время, затраченное на перемещение из лагеря к месту работы и обратно при приближении трубопровода к лагерю:

$$\sum_{i=1}^n \frac{L}{V}[2n-(2i-1)] = \frac{L}{V}n^2 \quad (1)$$

В случае, когда место монтажа трубопровода удаляется от временного лагеря, имеет место возрастающий ряд.

В первый день время, затраченное на перемещение от места работы, составит $\frac{L}{V}$

Во второй день время, затраченное на перемещение к месту работы и обратно, составит $\frac{L}{V} \cdot 3$

Таким образом, при удалении места монтажа трубопровода от временного лагеря, в каждый j -й день будет затрачено время $\frac{L}{V}(2j-1)$

Суммируя всё время, затраченное на перемещение к месту работы и обратно (при удалении места монтажа трубопровода от временного лагеря), в соответствии с [8] имеем:

$$\sum_{j=1}^n \frac{L}{V}(2j-1) = \frac{L}{V}n^2 \quad (2)$$

Таким образом, за весь период стационарного размещения временного лагеря, потери времени на перемещение к месту работы и обратно, составят

$$T = \frac{2L}{V}n^2 \quad (3)$$

Поскольку время на перемещение к месту работы и обратно каждый день меняется, то имеет смысл пользоваться осредненным временем, которое определим как

$$T_p = \frac{\frac{2L}{V}n^2}{2n} = \frac{Ln}{V} \quad (4)$$

3. Потери времени на перемещение временного лагеря.

Эти потери состоят из времени сбора лагеря со старого места ($T_{сб}$), времени перемещения на новое место (T_n) и времени на обустройства на новом месте (T_n).

Время перемещения на новое место зависит от расстояния, на которое перемещается лагерь ($2Ln$) и скорости перевозки жилого модуля (V_m).

Тогда потери времени на перемещение лагеря составляют

$$T_{пер} = T_{сб} + \frac{2Ln}{V_m} + T_n$$

Разделив потери времени на перемещение лагеря на количество дней, в течение которых лагерь находится на одном месте, получим осредненные потери на перемещение:

$$T_n = \frac{T_{сб} + \frac{2Ln}{V_m} + T_n}{2n} = \frac{T_{сб} + T_n}{2n} + \frac{L}{V_m} \quad (5)$$

4. Осредненные потери времени на перемещение рабочих к месту работы и обратно, а также на перемещение лагеря составят

$$T_{nom} = \frac{T_{сб} + T_n}{2n} + \frac{L}{V_m} + \frac{Ln}{V} \quad (6)$$

Полученная функция образует ряд по n со степенями от -1 до +1. Такой ряд имеет некоторый экстремум [9]. Считая все остальные переменные константами, возьмем производную по n от T_{nom} . Тогда имеем:

$$\frac{dT_{nom}}{dn} = \frac{L}{V} - \frac{T_{сб} + T_n}{2n^2} \quad (7)$$

Приравнявая нулю первую производную $\frac{dT_{nom}}{dn} = 0$, получаем положение максимума, либо минимума:

$$n = \pm \sqrt{\frac{V(T_{сб} + T_n)}{2L}} \quad (8)$$

Множество n (количество дней) может принимать только неотрицательные значения, что позволяет в дальнейшем рассматривать только положительные корни.

Возьмем вторую производную от T_{nom} по n . Тогда

$$\frac{d^2T_{nom}}{dn^2} = \frac{T_{сб} + T_n}{n^3}$$

Отметим, что $T_{сб}$ и T_n это время на ликвидацию предыдущего и установку следующего лагерей, т.е. эти множества также неотрицательны, как и множество n . Тогда имеем:

$$\frac{d^2T_{nom}}{dn^2} \geq 0$$

т.е. во всем диапазоне существования множества n , функция $T_{nom} = f(n)$ будет иметь минимум [10]. Это позволяет получить минимальное значение T_{nom} :

$$T_{nom}(n_{onm}) = \frac{L}{V_m} + \sqrt{\frac{2L(T_{сб} + T_n)}{V}} \quad (9)$$

Проведем расчеты по уравнениям (4, 5, и 6), а также по уравнениям (8,9) определим координаты точки с минимальным значением $T_{ср\min}$. Для этого будем использовать значения переменных, представленные в таблице. Полученные результаты отображены на рис. 2.

Таблица – Характерные значения переменных, принятые для расчета

Величина	Обозначение, размерность	Диапазон значений*	Принятое значение для расчета
Длина трубопровода, прокладываемая за один день	L , м	70	70
Скорость перемещения рабочих вдоль трубопровода при движении к рабочему месту и обратно	V , км/час	1.5 - 3	2.5
Скорость перемещения временного лагеря к новому месту дислокации	$V_{п}$, км/час	10-20	15
Время подготовки временного лагеря к перемещению	$T_{сб}$, час	1-4	2.5
Время развертывания временного лагеря на новом месте	$T_{н}$, час	1-3	1.5

* - принято по экспертным оценкам для отдельного звена сварщиков и монтажников.

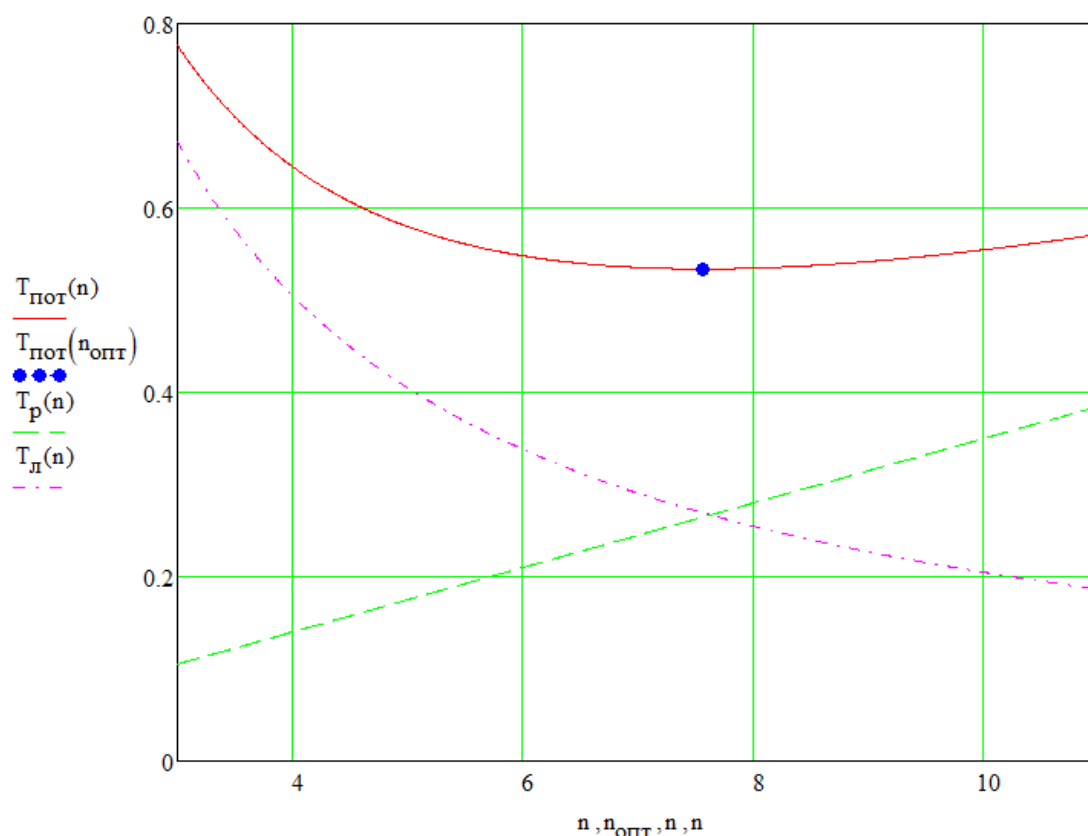


Рис. 2 – Зависимости потерь времени от количества дней стационарного расположения временного лагеря

При значениях, принятых по таблице, минимальные потери времени, отнесенные к количеству дней стационарного расположения лагеря, составляют 0.616 час/день, что соответствует значению $2n \approx 14 - 16$ дней и расстоянию между старым и новым лагерем примерно 1000 м.

Выводы

1. Разработана математическая модель, позволяющая минимизировать потери времени за счет оптимального расположения передвижных временных лагерей при строительстве магистральных трубопроводов.
2. Минимальные потери времени будут при расстоянии между старым и новым местом расположения лагеря примерно 1000 м.

Список литературы

1. Дерцакян, А.К. Справочник по проектированию магистральных трубопроводов / А. К. Дерцакян, М. Н. Шпотаковский, Б. Волков [и др.]; под ред. А. К. Дерцакяна. – Л. : Недра, 1977. – 519 с.
2. Бородавкин, П.П. Сооружение магистральных трубопроводов / П. П. Бородавкин, В. Л. Березин. – М. : Недра, 1977. – 407 с.
3. Дмитриевский А.Н., Басниев К.С., Седых А.Ф., Жиденко Г.Г., Сидоров В.А. Снижение техногенной нагрузки на недра и окружающую среду при освоении месторождений. // Газовая промышленность, 2000. № 4. - с. 45-50.
4. Бородавкин П.П., Ким Б.И. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1986. – 160 с.
5. Мазур И.И. Экология строительства объектов нефтяной и газовой промышленности. - М.: Недра, 1991. -278 с.
6. Андреева Е.В. Выбор технических решений по прокладке нефтепровода ВСТО на участках с опасными инженерно-геологическими процессами /Е. В. Андреева, Г. Р. Габелая, А. А. Чичиринов // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2007. – № 4(10). – С. 28–31.
7. Теория рядов. Воробьев Н. Н., Наука, Главная редакция физико-математической литературы, М., 1979. – 408 с.
8. Теория рядов. Порошкин А.Г., Либроком, 2009. 128 с.
9. Певный А.Б. Об оптимальных стратегиях поиска максимума функции с ограниченной старшей производной. Журнал вычислительной математики и математической физики.— 1982.— Т. 22, № 5. — С. 1061—1066.
10. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгстел К. Оптимизация в технике. В 2 кн. Кн. 1. – М.: Мир, 1986. – 349 с.

2.3.1.

Е.С. Юдт, А.С. Папуловский, С.С. Папуловский,
А.А. Францкевич, А.П. Буйносов д-р техн. наук

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, evgenij_jdt@mail.ru, artesha32@mail.ru,
volumeek@mail.ru, franckevichanton@gmail.com, byinosov@mail.ru

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ «ЭКИПАЖ–ТЯГОВЫЙ ПРИВОД–ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ»

Приводится методика расчета регулирования передвижением тележек при движении локомотива в криволинейном участке пути с проскальзывание колеса относительно рельса. При исполнении способа регулирования передвижением локомотива по криволинейному участку пути повышается долговечность пар колесных подвижного состава.

Ключевые слова: локомотив, экипаж, привод, тяга, колесо, путь, параметры, расчет.

Динамические свойства тягового привода локомотива необходимо рассматривать в едином комплексе «экипаж–тяговый привод–верхнее строение пути» [1]. Сложная трехмерная макродинамика, учитывающая перемещение, большие размеры, степень нагретости, затрудняет изучение механической части локомотива. Оптимизация механической части сводится к последовательным итерационным расчетам в едином комплексе «экипаж–тяговый привод–верхнее строение пути» [2, 3].

Трение и износ обусловлены более чем пятидесяти нелинейно взаимосвязанных факторов. В лабораторных условиях рассмотреть проведение эксперимента в едином комплексе «экипаж–тяговый привод–верхнее строение пути» усложняет большими размерами объекта. Проведение испытаний на эксплуатационных путях дорогая процедура, к тому же результат зависит многих непредсказуемых факторов. Наилучшим способом изучения является математическое моделирование [4].

В настоящее время математическое моделирование активно применяется во всех сферах науки. Результат математического моделирования позволяет оценить состояние моделируемого объекта в определенных условиях и оперативно найти пути оптимизации.

Рассмотрим движение экипажной части локомотива в кривых участках (см. рис. 1):

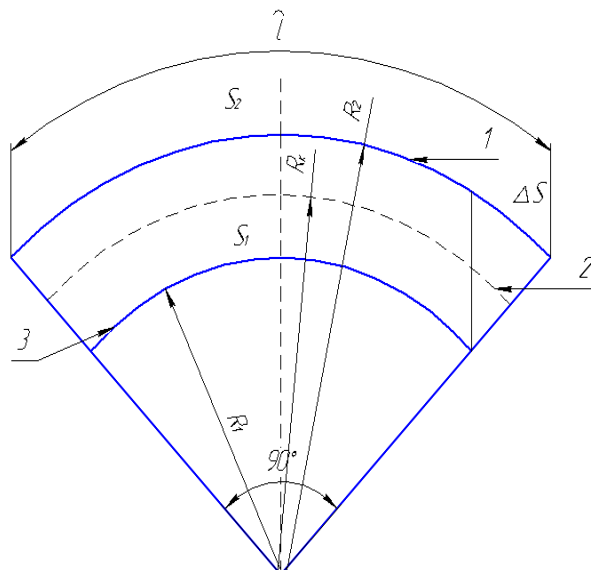


Рис. 1 – Расположение рельсовых нитей в криволинейном участке пути:
1 – внешний рельс; 2 – условный центр; 3 – внутренний рельс

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot k, \quad (1)$$

$$k = \frac{l}{L}; \quad k = \frac{1}{4}, \quad (2)$$

где k – отношение длины криволинейного участка пути к длине окружности, м.; l – протяжение кривой, м; L – протяжение окружности, м.

$$S_1 = 2\pi \cdot R_1 \cdot \frac{1}{4} \quad \text{и} \quad S_2 = 2\pi \cdot R_2 \cdot \frac{1}{4}, \quad (3)$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot R_1}{2} \quad \text{и} \quad S_2 = \frac{\pi \cdot R_2}{2}, \quad (4)$$

$$\Delta S = \frac{\pi}{2} \cdot (R_2 - R_1), \quad (5)$$

где S_1 и S_2 – путь вне прямой, преодолеваемый тележками электровоза, соответственно, по внутреннему и внешнему рельсу, м; ΔS – число, демонстрирующее, до какой степени протяженность пути внешнего превосходит метраж пути внутреннего в не прямой, м; R_1 и R_2 – отрезки кривых, в соответствии для внешнего и внутреннего рельса, м;

Пусть, например, $R_k = 500$ м и $k = 1/4$, где R_k – отрезок, равный протяженности от допускаемого основания кривой до точки между колесными парами, м, тогда:

$$\Delta S = \frac{\pi \cdot k}{2} \cdot (R_2 - R_1), \quad (6)$$

$$\Delta S_{\Pi} = \Delta S + \Delta S'_1, \quad (7)$$

$$\Delta S_3 = \Delta S + \Delta S'_2, \quad (8)$$

где ΔS_{Π} – расстояние, преодолеваемое передними колесами тележек электровоза, м; ΔS_3 – расстояние, преодолеваемое задними колесами тележек электровоза, м; $\Delta S'_1$ и $\Delta S'_2$ – расстояние, преодолеваемое колесами по внутреннему и внешнему рейсам, м.

$$|\Delta S'| = |\Delta S'_2|, \quad (9)$$

$$\alpha_1 = 0^\circ \quad \text{и} \quad S'_1 = 0, \quad (10)$$

$$\alpha_1 = 90^\circ \quad \text{и} \quad \Delta S'_1 = \left(\left(\frac{B}{2 \cdot 90} \right) \cdot \alpha_1 \right) \cdot \sin \alpha_3 \quad \text{и} \quad \Delta S' = \frac{B}{2} \cdot \sin \alpha_3, \quad (11)$$

$$\Delta S_{\Pi} = \frac{\pi \cdot k}{2} \cdot (R_2 - R_1) + \left(\frac{B \cdot \alpha_1}{180^\circ} \right) \cdot \sin \alpha_3, \quad (12)$$

$$\Delta S_3 = \frac{\pi \cdot k}{2} \cdot (R_2 - R_1) - \left(\frac{B \cdot \alpha_1}{180^\circ} \right) \cdot \sin \alpha_3, \quad (13)$$

где α_1 и α_3 – углы поворота тележки; B – межосевое расстояние, база колесная, м.

$$S_{\text{ск}} = \frac{S}{100} \cdot B, \quad (14)$$

где $S_{\text{ск}}$ – расстояние, которое преодолевают колеса тележки электровоза с проскальзыванием, м; B – проскальзывание, %;

$$\Delta S_{\text{внеш.}} = S_{\text{к}} + S_{\text{ск}} = S_{\text{к}} + \frac{S}{100} \cdot B_1, \quad (15)$$

$$\Delta S_{\text{внутр.}} = S_{\text{к}} + S_{\text{ск}} = S_{\text{к}} + \frac{S}{100} \cdot B_2, \quad (16)$$

где $S_{\text{внеш.}}$ – расстояние, преодолеваемое колесами в тележке электровоза по внешнему рельсу, м; $S_{\text{к}}$ – расстояние, на котором колеса тележки электровоза катятся без

проскальзывания, м; $S_{\text{ск}}$ – расстояние, на котором колеса тележек электровоза проскальзывают, м; $S_{\text{внутр.}}$ – расстояние, преодолеваемое колесами в тележке электровоза по внутреннему рельсу, м.

$$a = \frac{\pi \cdot k}{2} \cdot (R_2 - R_1) - \left(\frac{B \cdot \alpha_1}{180^\circ} \right) \cdot \sin \alpha_3, \quad (17)$$

$$b = \left(S_{\text{к}} + \frac{S}{100} \cdot B_1 \right) - \left(S_{\text{к}} + \frac{S}{100} \cdot B_2 \right), \quad (18)$$

$$t_{\text{вкл.}} = \frac{l \cdot \frac{a}{b}}{v}, \quad t_{\text{вкл.}} = \sum_{k=1}^n t_k, \quad (19)$$

где $t_{\text{вкл.}}$ – равный период принятия электропривода пескоподачи фрикционной добавки фрикции, с; $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ – период введения электропривода пескоподачи фрикционной добавки на особых отрезках пути, с; v – скорость электровоза, м/с; a и b – символические самообозначения процедур, возникающих при передвижении колес электровоза в не прямой.

При $a = b$:

$$\Delta S' = \frac{\pi \cdot k}{2} \cdot (R_2 - R_1) - \left(\frac{B \cdot \alpha_1}{180^\circ} \right) \cdot \sin \alpha_3 = S_{\text{внеш.}} - S_{\text{внутр.}}, \quad (20)$$

$$\Delta S'' = b - a, \quad (21)$$

где $\Delta S'$ – отрезки пути с пескоподачей фрикционной добавки на верхний рельс, м; $\Delta S''$ – отрезки пути, пройденные колесом без подачи песка на внутренний рельс, м [5].

Положение рельсов в не прямой отображается другим способом: 1 – внутренний рельс; 2 – основание между колесными парами; 3 – внешний рельс. В плане поворота тележки электровоза (см. рис. 1 и 2); 4 – углы, необходимые для поворота тележки электровоза (α_3). При введении способа регулирования передвижением тележек при движении локомотива в криволинейном участке пути возникает образование необходимого различия проскальзывания (см. рис. 3) с отличием между диаграммами: 5 – с применением добавки фрикции диаграммы; 6 – без применения фрикции. На рис. 4 демонстрируется план покрытия фрикционной добавки.

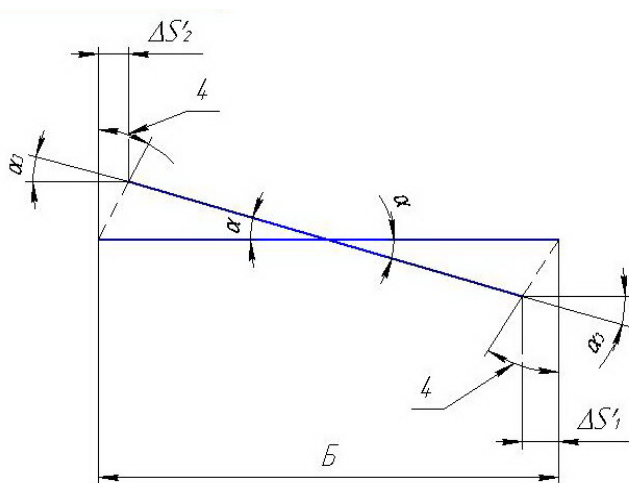


Рис. 2 – Разворот тележки локомотива

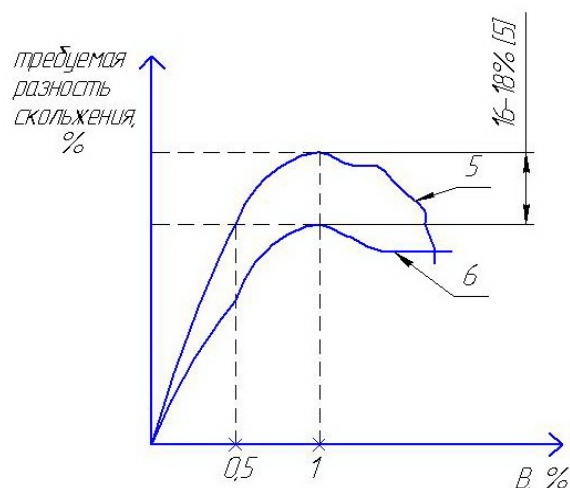


Рис. 3 – Образование нужной разности проскальзывания

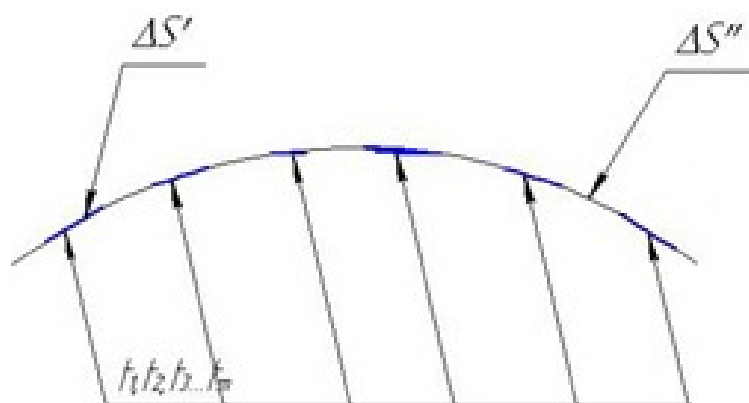


Рис. 4 – Допускаемая модель покрытия фрикционной добавки

Как видим, при исполнении способа регулирования передвижением локомотива по криволинейному участку пути повышаются требования макровзаимодействия в системе колес и рельсов, как итог, повышается долговечность пар колесных подвижного состава [6].

Список литературы

1. Буйносов А.П., Козаков Д.Ю. Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
2. Буйносов А.П., Мишин Я.А. Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 151-154.
3. Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Пышный И.М. Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Транспорт Урала. 2011. № 1 (28). С. 64-69.
4. Буйносов А.П. Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4 (24). С. 21-25.
5. Буйносов А.П., Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В. Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40-44.
6. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Увеличение ресурса колесных пар электровозов за счет плазменного упрочнения гребней бандажей // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 182-185.

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

2.3.3.

Д. Даххам, Н.Е. Кувшинов, Л.М. Сарварова, С.В. Смирнов, Г.А. Морозов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

МОДЕЛЬ СВЧ-НАГРЕВА ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ЕЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ

Обессоливание нефти - процесс удаления из продукции нефтяных скважин минеральных (в основном хлористых) солей. Последние содержатся в растворенном состоянии в пластовой воде, входящей в состав водонефтяной эмульсии, реже в самой нефти — незначительное количество солей в кристаллическом состоянии. В данной статье представлена модель процесса СВЧ-нагрева и разделения водонефтяных эмульсий (ВНЭ) в установке конечного делителя фаз (КДФ) с целью обессоливания нефти. Процесс протекает в трубопроводе КДФ при воздействии системой некогерентных источников ЭМП, распределенных вдоль него, который является основой экспериментальной установки.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия; конечной делитель фаз; СВЧ-нагрев; обезвоживание; обессоливание; математическая модель.

Характеристика процесса СВЧ-нагрева ВНЭ в канале КДФ. Процесс распространения электромагнитной волны (ЭМВ) в среде, характеризующийся конечной проводимостью $\sigma > 0$ и поляризацией молекул под действием электрического поля этой волны, всегда сопровождается ее ослаблением, вызванным потерями электромагнитной энергии. За счет этого, в среде с большими диэлектрическими потерями энергия ЭМВ преобразуется в тепловую энергию, и это преобразование распределено во всей области существования электромагнитного поля (ЭМП) [1]. Таким образом, процесс нагрева среды источником СВЧ энергии протекает равномерно в большом объеме, и тем самым значительно ослабляется процесс конвекционного теплообмена и температурного перемешивания, вызываемого большими градиентами температур (обычно такой процесс имеет место при использовании для нагрева тепловых источников, например, тенов) [2].

Математическая модель СВЧ-нагрева. КПД преобразования СВЧ энергии в тепло можно оценить из закона сохранения энергии, согласно которого

$$P_{\text{ист}} = P_{\Pi}^{\text{д}} + P_{\Pi}^{\text{м}} + P_{\Pi}^{\text{х}} + P_{\Pi}^{\text{п}} + P_{\Pi}^{\text{с}} + P_{\Pi}^{\text{г}} + P_{\Sigma} + \frac{\partial W_3}{\partial t}. \quad (1)$$

В этом выражении $P_{\text{ист}}$ — мощность источника СВЧ энергии, которая расходуется на: $P_{\Pi}^{\text{д}}$ — потери проводимости в диэлектрике; $P_{\Pi}^{\text{м}}$ — потери проводимости в металлических стенках; $P_{\Pi}^{\text{х}}$ — потери проводимости на химические реакции (например, процесса синтеза новых соединений); $P_{\Pi}^{\text{п}}$ — поляризационные потери в диэлектриках (часто эту величину вводят в диэлектрические потери); $P_{\Pi}^{\text{с}}$ — потери на переход в световую энергию; $P_{\Pi}^{\text{г}}$ — потери рассогласования генератора; P_{Σ} — потери на излучение; $\partial W_3 / \partial t$ — изменение запасенной электромагнитной энергии.

Применительно к технологическому процессу нагрева нефти в трубопроводах и резервуарах [3] из перечисленных видов преобразований энергии ЭМВ следует отбросить составляющие, вес которых априори остается очень малым: это прежде всего потери на химические преобразования P_{Π}^x и потери на преобразование в световую энергию P_{Π}^c . Потери на излучение P на практике всегда имеют место, они нарушают экологию и должны находиться в рамках санитарных норм. При соответствующем исполнении установки, они всегда могут быть сведены к минимуму особенно для установок закрытого типа, какой и является разрабатываемая система. Изменение запасенной энергии в установках закрытого типа, заполненных средой с большими потерями, – невелики, и, в конечном итоге вся запасенная энергия преобразуется в тепло. Потери на рассогласование генератора P_{Π}^r образуются при плохом согласовании технологических переходов от генератору к трубопроводу. Эти потери рассеиваются генератором и являются бесполезными для нагрева. Конструктивными решениями их всегда можно свести к минимуму (менее 1%) за счет принятия специальных мер по согласованию. Потери проводимости в металлических стенках волноводных узлов и трубопроводах являются тепловыми. Это тепло частично передается нефти и в основном идет на нагрев металлических стенок. Ориентировочно эти потери могут составлять 3-5% от общих потерь.

Поляризационные потери и потери проводимости в диэлектрике преобразуются в тепло. И их составляющая в общих потерях может быть доведена до 90-95%. Полный ожидаемый КПД системы нагрева может составлять 65-75% от потребляемой системой электроэнергии сети. В этих цифрах учтено, что КПД генератора СВЧ на магнетроне колеблется от 70 до 80%.

Процесс распространения ЭМВ, ее поглощение, характеризуется экспоненциальным множителем

$$E_{(z)} = E_0 e^{j\beta z} e^{j\omega t} e^{-\alpha z}, \quad (2)$$

где $e^{-\alpha z}$ – экспоненциальный множитель, характеризующий изменение амплитуды ЭМВ в процессе ее распространения вдоль оси Z за счет поглощения ее энергии; α – коэффициент затухания (поглощения) волны, учитывающий все перечисленные виды потерь.

Для плоской волны в среде в отсутствии магнитных потерь этот коэффициент, учитывающий соответственно только диэлектрические потери в среде, имеет вид:

$$\alpha = \frac{\omega}{2} \sqrt{\sqrt{1 + \tan^2 \Delta} - 1}, \quad (3)$$

где ω – круговая частота сигнала $\omega = 2\pi f$, $\tan \Delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь. В нем учитываются потери проводимости и поляризационные потери.

Мощность потерь ЭМВ в нефти в конкретной области V с учетом известного распределения поля в этой области может быть найдена как:

$$P_{\partial} = \epsilon_a \tan \Delta \int |E|^2 \partial V, \quad (4)$$

где E характеризуется распределением поля по области V .

Количество выделенного тепла, при этом, в области V за время T без учета конвекционного теплообмена

$$Q = cm\Delta t = P_{\partial} T, \quad (5)$$

где m – масса нагреваемого материала, Δt – усредненная по области приращение температуры, c – удельная теплоемкость водонефтяной эмульсии.

Ориентировочно связать расход водонефтяной эмульсии m/t [кг/сек] с приращением температуры Δt и выделяемой в ней мощности источника СВЧ энергии $P_{\Pi}^a = cm\Delta t/t$.

Распределение нормированной мощности тепловых потерь электромагнитной энергии СВЧ вдоль трубопровода можно характеризовать как

$$P_{\text{нд}} \approx (1 - e^{-2\alpha z}). \quad (6)$$

При больших значениях α этот закон распределения характеризуется быстрым убыванием мощности электромагнитной волны. Поэтому основное выделение тепла происходит в области, прилегающей к источнику излучения. В неподвижной среде это приводит к большой неравномерности распределения температуры, из-за чего могут возникнуть локальные перегревы и закипание жидкости [4-5], что является недопустимым, т.к. при этом нарушается процесс отстоя нефти. Для подвижной среды, например, ВНЭ в трубопроводе, в канале КДФ, такой перегрев легко избежать, установив в трубе соответствующий расход водонефтяной эмульсии.

Заключение. Процесс микроволнового нагрева в трубопроводе сильно зависит от размеров его поперечного сечения. Эта зависимость связана с условием существования электромагнитных волн в трубе, как показано в статье. Можно определить, что в случае загазованности ВНЭ трубы могут оказаться заполненными газом. Для сохранения волнового процесса в этом случае ограничение на минимальное сечение трубопровода будет $D_{\text{тр}} \geq \lambda/1,705$, где λ длина волны в свободном пространстве.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения обязательств по Соглашению № 075-03-2020-051 (fzsu-2020-0020).

Список литературы

1. Морозов Г.А., Морозов О.Г. Микроволновые технологии. результаты и новые задачи // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2006. Т. 9. № 3. С. 82-91.
2. Морозов Г.А., Анфиногентов В.И., Морозов О.Г., Румянцев Д.С. Микроволновые технологические комплексы с адаптивным управлением для обработки водонефтяных эмульсий // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 3. С. 125-129.
3. Веденькин Д.А., Морозов Г.А., Морозов О.Г. и др. Лабораторный комплекс по переработке нефтесодержащих отходов с применением СВЧ технологий // Вопросы электротехнологии. 2014. № 3 (4). С. 5-13.
4. Морозов Г.А., Морозов О.Г., Самигуллин Р.Р. и др. Функционально адаптивные СВЧ-технологии в задачах переработки термопластичных полимерных материалов // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 3 (13). С. 13-24.
5. Анфиногентов В.И., Морозов Г.А., Морозов О.Г. и др. Выбор оптимальной структуры построения СВЧ-комплекса обработки термореактивных композитных материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-2. С. 525-528.

2.3.3.

Д. Даххам, Н.Е. Кувшинов, Л.М. Сарварова, С.В. Смирнов, Г.А. Морозов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

СТЕНД ДЛЯ СВЧ-НАГРЕВА ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ С ЦЕЛЬЮ ИХ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ

СВЧ-технологии с точки зрения отделения нефти от воды с параллельным обессоливанием и дальнейшего использования нефти в промышленных условиях и с точки зрения проведения текущего анализа количественного соотношения указанных частей в эмульсиях являются очень перспективными. Технология основывается на воздействии СВЧ-излучения на водонефтяную эмульсию, которое позволяет быстро разрушать ее межмолекулярные связи в нефти, воде и солях. Основными преимуществами этих технологий являются сокращение времени переработки, снижение температурного режима процессов, уменьшение площадей (производственных), необходимых для функционирования такого оборудования, экологичность процесса. В статье рассмотрен проект стенда СВЧ-нагрева водонефтяных эмульсий с целью их обезвоживания и обессоливания, а также блока управления им.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия; концевой делитель фаз; СВЧ-нагрев; обезвоживание; обессоливание; экспериментальный стенд, блок управления.

Функциональная схема стенда. Стенд для отработки режимов СВЧ-нагрева водонефтяной эмульсии (ВНЭ) в канале концевой делитель фаз (КДФ) и отработки энергетических блоков и узлов ввода СВЧ энергии в канал КДФ представляет собой систему некогерентных источников электромагнитной энергии, включенных в трубу КДФ. На рис. 1 приведена функциональная схема установки.

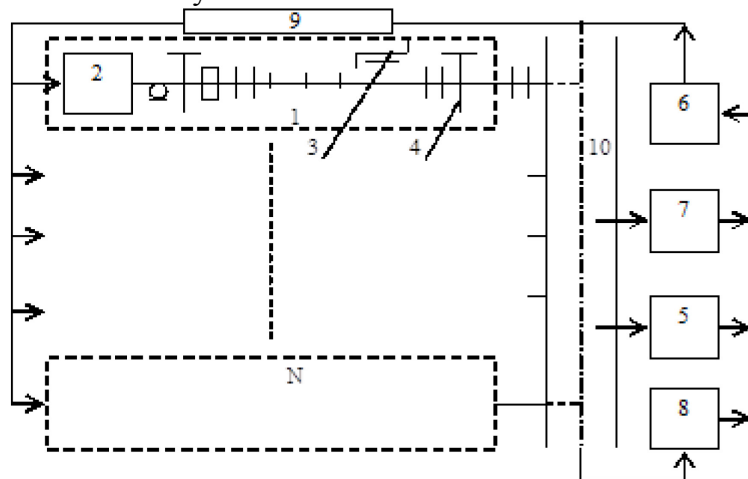


Рис. 1 – Функциональная схема стенда

В нее входят: СВЧ-модули 1, содержащие магнетронный генератор 2, устройство согласования 3, волноводный переход 4. Также в систему нагрева входит канал контроля температуры 5, блок контроля и управления 6, канал электромагнитного контроля 7 и канал контроля расхода смеси 8. Размещение оборудования стенда по исследованию процесса СВЧ-нагрева в канале КДФ, развернутой в НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ, показано на рис. 2.

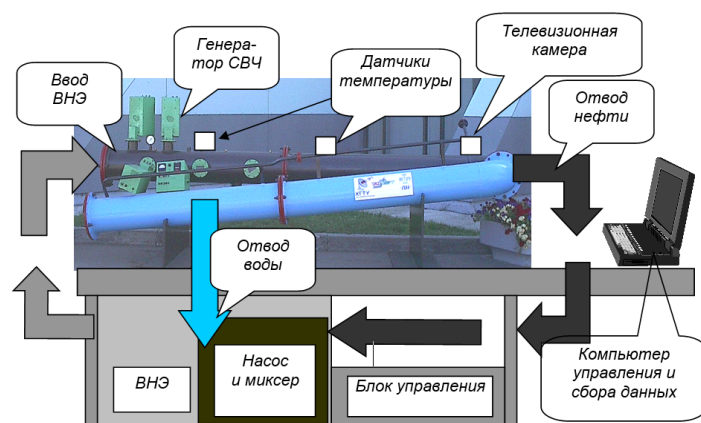


Рис. 2 – Иллюстративная схема размещения оборудования стенда

Канал КДФ выполнен из трубы диаметром 300мм и длиной 8м. На входном участке трубы длиной 2,2 м размещено 10 узлов ввода СВЧ энергии. Для обеспечения поляризационной развязки между СВЧ модулями их волноводные окна, противоположно расположенных узлов ввода СВЧ энергии, развернуты на 90^0 . Этим также обеспечивается поддержание в канале КДФ двух ортогональных типов волн – магнитных и электрических [1, 2]. Контроль температуры смеси осуществляется с помощью волоконно-оптических датчиков, невосприимчивых к электромагнитному полю [3].

Сведения о распределении температурного поля в канале мини КДФ позволит судить о распределении температурного поля в ВНЭ и позволят принять необходимые решения по доработке узлов ввода СВЧ энергии.

Устройством для обеспечения обратной связи с центральным процессором для аварийного отключения и управлением уровнем излучающей мощности так же является устройство контроля распределения электромагнитной энергии.

Сведение о распределении электромагнитного поля в канале мини КДФ позволит судить о распределении электромагнитного поля в ВНЭ и позволят принять необходимые решения по доработке узлов ввода СВЧ энергии.

Схема устройства контроля распределения электромагнитного поля включает радиопрозрачную диэлектрическую трубку, заглушенную на конце, размещенную в интересующей зоне канала КДФ [4, 5]. Трубку крепится на КДФ с помощью герметичного штуцера. В трубку вводится с помощью коаксиальной линии электрический зонд, который свободно перемещается вдоль нее. Сигнал с этого зонда подается на контрольно-измерительную аппаратуру. Для контроля распределения поля в канале КДФ размещаются в разных точках несколько таких измерительных каналов.

Блок контроля и управления 6, центральный процессор 9, канал контроля расхода смеси 8, полнопоточная камера 10 разрабатываются на основе результатов, проводимых экспериментов (рис. 1). Устройство согласования 3, волноводный переход 4 представляют собой стандартные устройства и не требуют детального описания.

Блок контроля и управления 6 предназначен для включения и выключения питания установки, задания времени и режимов работы СВЧ генераторов, и управления их работой по заданным программам, а также аварийного выключения всего комплекса.

Исходные технические данные для блока управления являются:

- диапазон рабочих температур 1-50 °С;
- относительная влажность до 80 % при температуре 25 °С;
- напряжение питания 220 В;
- частота питающего напряжения 50 Гц;
- потребляемый ток не более 250 А;
- диапазон задаваемых значений времени 1-90 мин.

Структура блока контроля и управления представлена на рис. 3.



Рис. 3 – Структура блока контроля и управления

Блок контроля и управления включает в себя: устройство питания, устройство выпрямления и стабилизации, устройство коммутации элементов установки, клавиатура, устройство индикации, центральный процессор, микропроцессоры управления каналами, устройство сопряжения, тиристорное устройство управления, звуковая сигнализация. Питание блока осуществляется от сети 220 В переменного тока промышленной частоты.

Заключение. В результате экспериментальных исследований, выполненных на стенде, определено, что температура нагрева прямо пропорциональна току анода и практически не зависит от времени нагрева; СВЧ энергия позволяет значительно снизить массовую долю воды в ВНЭ за время, в 6 раз меньшее, чем в КДФ без СВЧ; при малых значениях массовой доли воды на входе (порядка 2-3 %), эффект СВЧ оказывается меньшим, но он достигается в течении первых 5 минут по сравнению с КДФ – 60 минут; воздействие СВЧ энергии на нефть позволяет снизить концентрацию солей в нефти до величин порядка 50% от входного значения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках в рамках исполнения обязательств по Соглашению № 075-03-2020-051 (fzsu-2020-0020).

Список литературы

1. Морозов Г.А., Морозов О.Г. Микроволновые технологии. результаты и новые задачи // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2006. Т. 9. № 3. С. 82-91.
2. Морозов Г.А., Анфиногентов В.И., Морозов О.Г., Румянцев Д.С. Микроволновые технологические комплексы с адаптивным управлением для обработки водонефтяных эмульсий // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 3. С. 125-129.
3. Веденькин Д.А., Морозов Г.А., Морозов О.Г. и др. Лабораторный комплекс по переработке нефтесодержащих отходов с применением СВЧ технологий // Вопросы электротехнологии. 2014. № 3 (4). С. 5-13.
4. Морозов Г.А., Морозов О.Г., Самигуллин Р.Р. и др. Функционально адаптивные СВЧ-технологии в задачах переработки термопластичных полимерных материалов // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 3 (13). С. 13-24.
5. Анфиногентов В.И., Морозов Г.А., Морозов О.Г. и др. Выбор оптимальной структуры построения СВЧ-комплекса обработки термореактивных композитных материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-2. С. 525-528.

2.3.3.

В.А. Егоров канд. техн. наук, Ф.И. Дадашова

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,
Комсомольск-на-Амуре, egoroff_v@list.ru, farida_dadashova18@mail.ru

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Приведена программа, реализующая простой алгоритм слежения за Солнцем на основе формул небесной механики. Предложена нестандартная структурная организация контуров регулирования следящей системы. Выполнен расчёт и моделирование локального электропривода системы слежения за Солнцем.

Ключевые слова: *Фотоэлектрическая энергоустановка, слежение за солнцем, структура следящей системы, расчёт и моделирование.*

Солнце – самый мощный источник энергии в нашей звездной системе. По данным NASA, поверхность земли ежегодно будет получать 120 тысяч тераватт солнечной радиации, в течение 6,5 миллиардов лет. По этим причинам, гелиоэнергетика является наиболее перспективным направлением развития возобновляемой энергетики.

Основой современной гелиоэнергетической установки является кремниевый фотоэлектрический модуль, преобразующий фотоны солнечного света в электрический ток. Увеличить эффективность отбора мощности гелиоустановки до 40 % позволяет применение систем слежения за Солнцем [1].

Существуют разомкнутые и замкнутые системы слежения за Солнцем. Разомкнутые системы строятся на основе уравнений небесной механики. Замкнутые – на основе фотодатчиков. Основным недостатком замкнутых систем является сложность наведения фотоэлектрической панели на Солнце при переменной облачности или в пасмурную погоду. Алгоритмы слежения, основанные на формулах небесной механики, лишены этого недостатка.

```
#include "stdafx.h"
#include "stdio.h"
#include "conio.h"
#include <math.h>
#define PI 3.14159265358979323846
#define RADEG (180.0/PI)
#define DEGRAD (PI/180.0)
#define sindeg(x) sin((x)*DEGRAD)
#define cosdeg(x) cos((x)*DEGRAD)
#define atan2deg(y,x) (RADEG*atan2((y),(x)))
#define asindeg(x) (RADEG*asin(x))

int Y=2022,M=4,D=23; //год,месяц,день
//всемирное координированное время; местное время; часовой пояс (в часах)
double UTC,Tm=19,Np=10;
//долгота и широта места (Комсомольск на Амуре 136°57'57.22" и 50°34'1.32")
double LON=136.96589,lat=50.56703;
//истинное солнечное время; часовое время; поправка времени
double Tsun,Tclock,EOT;
int N=113;//номер дня в году
double B;//параметр уравнения времени
double Decl=12.3333,t; //склонение и часовой угол Солнца
double A,h; //азимут и угол-места Солнца над горизонтом
```

```

void main(void)
{
    printf("Date: %2d:%1d:%2d Time: %5.2lf\n",D,M,Y,Tm);
    printf("Latitude: %5.2lf Longitude: %5.2lf\n",lat,LON);
    UTC=Tm-Np;
    Tclock=UTC+LON/15;//(в часах)
    B=(360*(N-81))/365;
    EOT=(9.87*sindeg(2*B)-7.53*cosdeg(B)-1.5*sindeg(B))/60;//(в часах)
    Tsun=Tclock+EOT;
    t=(Tsun+12)*15;//(в градусах)
    //отсчет азимута от направления на север, по часовой стрелке
    A = atan2deg(cosdeg(Decl)*sindeg(t),
        cosdeg(Decl)*sindeg(lat)*cosdeg(t)-sindeg(Decl)*cosdeg(lat))+180;
    h = asindeg(sindeg(Decl)*sindeg(lat)+cosdeg(Decl)*cosdeg(lat)*cosdeg(t));
    printf("A=%6.2lf(deg) h=%6.2lf(deg)\n",A,h);
    _getch();
}

```

Рис. 1 – Программная реализация алгоритма слежения за Солнцем

Таблица 1 – Результаты тестирования алгоритма слежения за Солнцем

Время (ч)		07:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
Программа (град)	A	83.87	107.98	139.58	183.69	226.16	256.07	279.68
	h	10.97	29.79	45.61	51.72	43.57	26.94	8.03
Калькулятор (град)	A	83.84	108.02	139.66	183.72	226.14	256.08	279.75
	h	11.10	29.85	45.59	51.66	43.54	26.98	8.14

Максимально возможная энергоэффективность фотоэлектрической панели достигается, при её ориентации перпендикулярно солнечным лучам. В общем случае, для этого может быть использована двухкоординатная азимутально-угломестная система слежения.

Таким образом, система слежения должна содержать блок вычисления горизонтальных координат Солнца (высоты h и азимута A) и двухосевой механизм ориентации, со следящими позиционными электроприводами.

Алгоритм слежения за Солнцем, основан на определении горизонтальных координат Солнца, из параллактического треугольника [2]. Программная реализация алгоритма представлена на рисунке 1. Программа реализована на языке C++, в среде разработки Microsoft Visual Studio 15.0. Формулы адаптированы для расчетов на территории России, то есть, для северного полушария, при восточной долготы места. В расчетах, использована таблица склонений Солнца [3].

Алгоритм тестировался с использованием солнечного онлайн калькулятора, располагающегося по ссылке - <https://planetcalc.ru/320/>. Результаты тестирования на 23.04.2022 приведены в таблице 1. Из таблицы 1 следует, что задатчик координат системы наведения на Солнце может быть реализован, по описанному выше алгоритму.

Анализ кинематических схем и электромеханических преобразователей для реализации двухосевого механизма ориентации фотоэлектрической панели показал, что следует использовать рычажную схему с линейным актуатором. Актуатор предназначен для преобразования вращательного движения в поступательное и состоит из: пары винт-гайка; шестеренчатого редуктора; двигателя постоянного тока независимого возбуждения и энкодера.

Система позиционного электропривода локальной оси механизма ориентации фотоэлектрической панели организована с использованием двигателя постоянного тока и подчиненной системы регулирования, состоящей из контуров тока и положения (рисунок 2).

Структура системы позиционирования отличается от типовой, отсутствием контура скорости. Такое решение позволяет упростить и удешевить систему. Основным недостатком решения – структурная неустойчивость системы, при введении звена токоограничения и задании больших рассогласований по углу. Недостаток может быть устранён введением задатчика интенсивности на вход контура положения (рисунок 2). Коэффициент задатчика определяется отношением максимального угла поворота к времени выхода панели в штормовое положение и составляет 160/240 град/с.

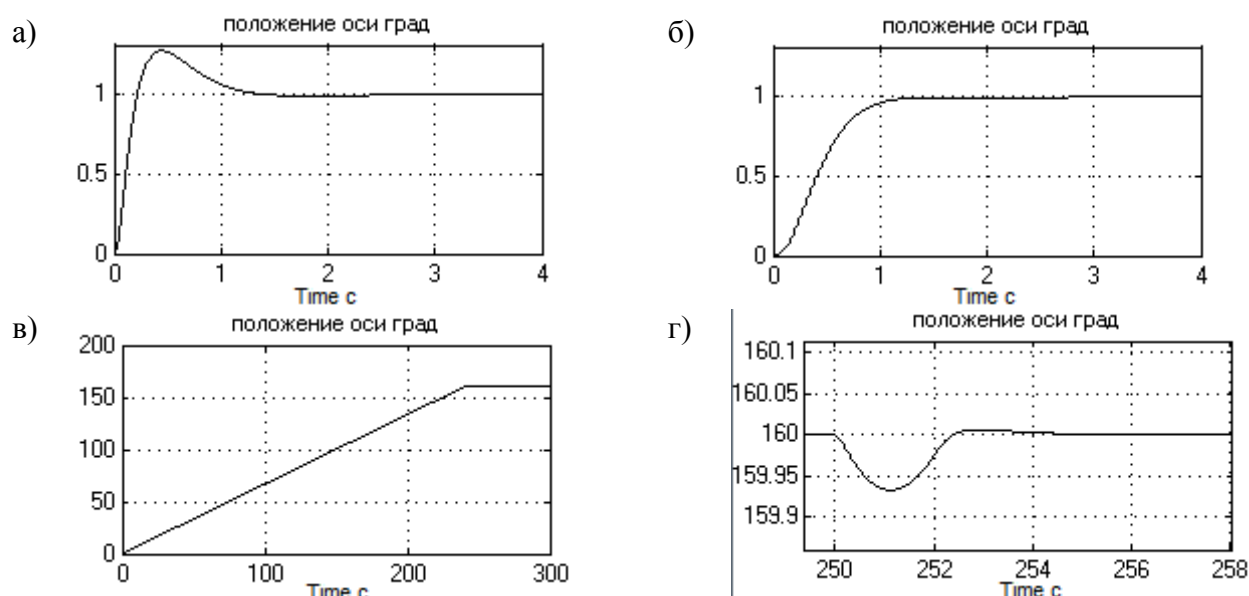


Рис. 3 – Переходные процессы по углу

а) – в линейной системе; б) – в линейной системе с ЗИ1;

в) – с токоограничением $\pm 5A$ и ЗИ0, ЗИ1; г) – при набросе ветровой нагрузки

Результаты моделирования позиционного электропривода локальной оси показаны на рисунке 3. Параметры модели: $i=38$; $J=0.1$; $c=0.9$; $R_a=1.2$; $T_a=0.001$; $K_p=4$; $T_p=0.0001$; $T_m=0.01$; $K_{dt}=0.5$; $N=40$; $K_{dp}=1$. Из рисунка 3а следует, что перерегулирование в линейной системе составляет 26%, а время переходного процесса – 3 секунды, что подтверждает правильность расчётов. Использование на входе контура положения задатчика интенсивности ЗИ1 позволяет устранить перерегулирование по углу (рисунок 3б). Нелинейная система с токоограничением и задатчиками интенсивности ЗИ0, ЗИ1 на входе, хорошо отрабатывает рассогласования в большом (рисунок 3в). На рисунке 3г показан результат обработки ветровой нагрузки, величина которой, приведенная к валу двигателя, равна его номинальному моменту 4 Нм. Система парировала возмущение за 5 секунд, при этом, максимальная просадка по углу составила 0,07 градуса.

Список литературы

1. Китаева М.В., Юрченко А.В., Скороходов А.В., Охорзина А.В. Системы слежения за солнцем // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 3. – С.61–67.
2. Черный М.А. Авиационная астрономия: учебное пособие / М. А. Чер-ный – М.: Транспорт, 1978 — 208 с.
3. Таблица склонения Солнца в течение года. [Электронный ресурс] // pan-dia.ru – URL: <https://pandia.ru/text/77/481/2288.php>? (дата обр_я 23.04.2022). – Режим доступа: свободный.
4. Герман-Галкин С.Г. Matlab/Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин – С.– Пб.: КОРОНА – Век, 2008. – 368 с.
5. Егоров В.А. Модернизированная типовая настройка -3-1-3 для системы автоматического управления / В.А. Егоров // Научно-технический вестник Поволжья № 7, 2019. с.40 - 43. <https://ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov> Выпуск №7 2019.

2.3.3.

В.А. Егоров канд. техн. наук, Г.В. Королёв

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,
Комсомольск-на-Амуре, egoroff_v@list.ru, bobu08@mail.ru

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Предложена виртуальная модель векторной системы управления индукционным электродвигателем переменного тока (АСИМ). Выполнен расчёт и моделирование векторной системы управления АСИМ с использованием структурной и виртуальной моделей. Показано, что структурная и виртуальная модели идентичны.

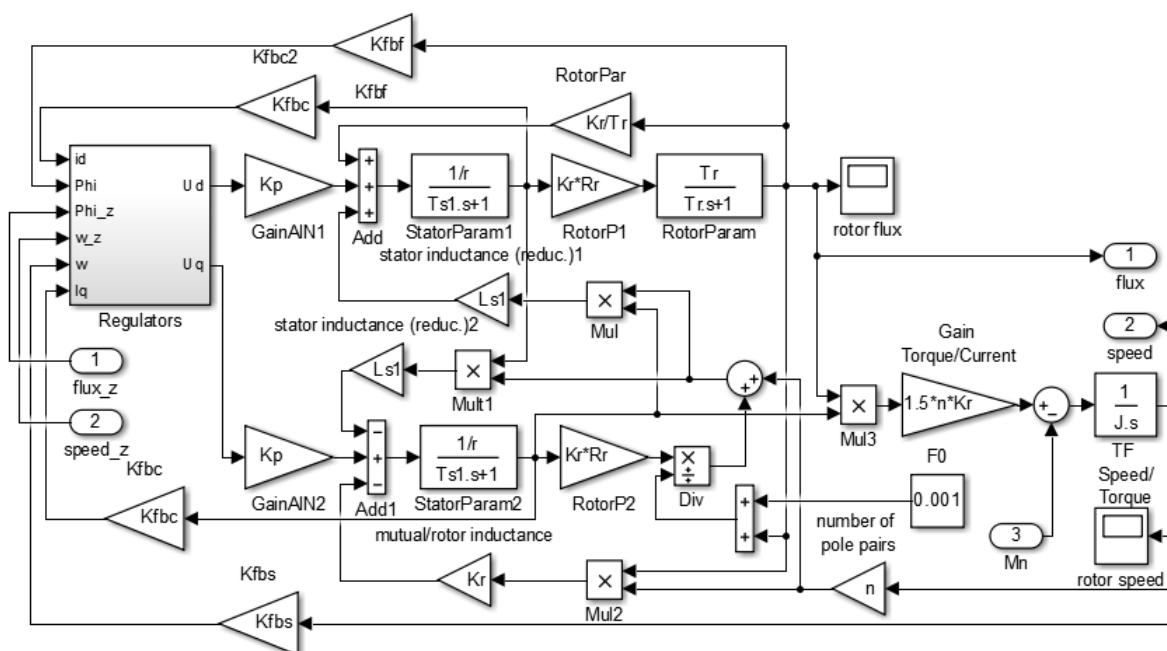
Ключевые слова: Векторная система управления, асинхронный электродвигатель, структурная модель, виртуальная модель.

Процесс проектирования системы управления векторного электропривода можно условно разбить на два этапа. Этап получения структуры и параметров регуляторов. И этап разработки аппаратно-программного обеспечения.

Каждый этап невозможен без верификации результатов расчёта и проектирования, при помощи моделирующих программ. Среди наиболее известных из них следует отметить систему Simulink, интегрированную с мощной матричной математической системой MATLAB.

В случае использования пакета Simulink, на первом этапе, проверку адекватности структуры и параметров регуляторов выполняют с использованием структурных моделей [1]. Как правило, на втором этапе проектирования, пакет не используется. Между тем, пакет позволяет создавать виртуальные модели [1], которые могут с успехом применяться на этапе разработки и верификации программного обеспечения. Эта возможность обусловлена тем, что блоки виртуальной модели могут содержать выражения и программный код, реализующие алгоритм управления объектом. Критерием адекватности кода, реализующего алгоритм управления будет являться одинаковая или близкая реакция структурной и виртуальной моделей на одинаковый входной сигнал.

a)



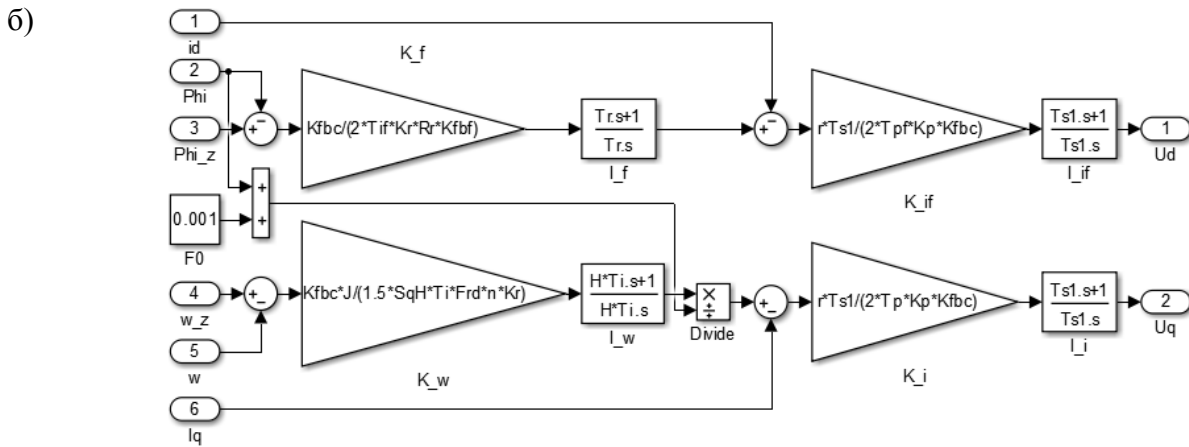


Рис.1 – Структурная модель векторной системы управления АСІМ

а) – структурная схема системы управления; б) – блок регуляторов

Для иллюстрации сказанного, выполним проектирование векторной системы управления скоростью АСІМ. Структурная модель системы управления, в координатах dq, представлена на рисунке 1. Она (рисунок 1а), составлена на основании математической модели АСІМ [2]. На структурной схеме введены обозначения: $r = R_s + K_r^2 R_r$; $L_s^* = L_s - L_m^2 / L_r$; $K_r = L_m / L_r$; $T_r = L_r / R_r$; $T_{s1} = L_s^* / r$, где R_s, L_s и R_r, L_r – активное сопротивление и собственная индуктивность обмоток статора и ротора; L_m – взаимная индуктивность между статором и ротором; n – число пар полюсов машины; $U_s = U_{sd} + jU_{sq}$ и $i_s = i_{sd} + ji_{sq}$ – векторы напряжения и тока статора; M_d и M_n – момент двигателя и нагрузки; J – момент инерции ротора.

Контура тока в каналах d и q настроены на модульный оптимум. Передаточные функции регуляторов тока:

$$W_{rid}(p) = W_{riq}(p) = \frac{rT_{s1}}{2T_p K_p K_{fbc}} \frac{T_{s1}p + 1}{T_{s1}p} = K_{ri} \frac{T_{s1}p + 1}{T_{s1}p},$$

где K_p, T_p – коэффициент передачи и постоянная времени автономного инвертора; K_{ri}, K_{fbc} – коэффициенты регулятора и датчика тока.

Контур потокосцепления с внутренним контуром тока (канал d) настроен на модульный оптимум. Передаточная функция регулятора потокосцепления:

$$W_{rf}(p) = \frac{K_{fbc}}{2T_{if} K_r R_r K_{fbf}} \frac{T_r p + 1}{T_r p},$$

где $T_{if} = T_{s1} r / (K_{ri} K_p K_{fbc})$ – малая постоянная времени контура тока по координате d; K_{fbf} – коэффициент датчика потокосцепления.

Контур скорости настроен на модифицированный симметричный оптимум [3]. Коэффициент колебательности замкнутого контура скорости $M_{\omega_{cp}}$ выбран равным 0,95. Тогда, ширина среднечастотной части желаемой логарифмической амплитудно-частотной характеристики разомкнутой скорректированной системы $H = 18,06$. В этом случае, передаточная функция регулятора скорости:

$$W_{rs}(p) = \frac{K_{fbc} J}{1,5 \sqrt{H} T_i F_{rd} n K_r} \frac{HT_i p + 1}{HT_i p},$$

где $T_i = T_{s1} r / (K_{ri} K_p K_{fbc})$ – малая постоянная времени контура тока по координате q; F_{rd} – заданное потокосцепление ротора.

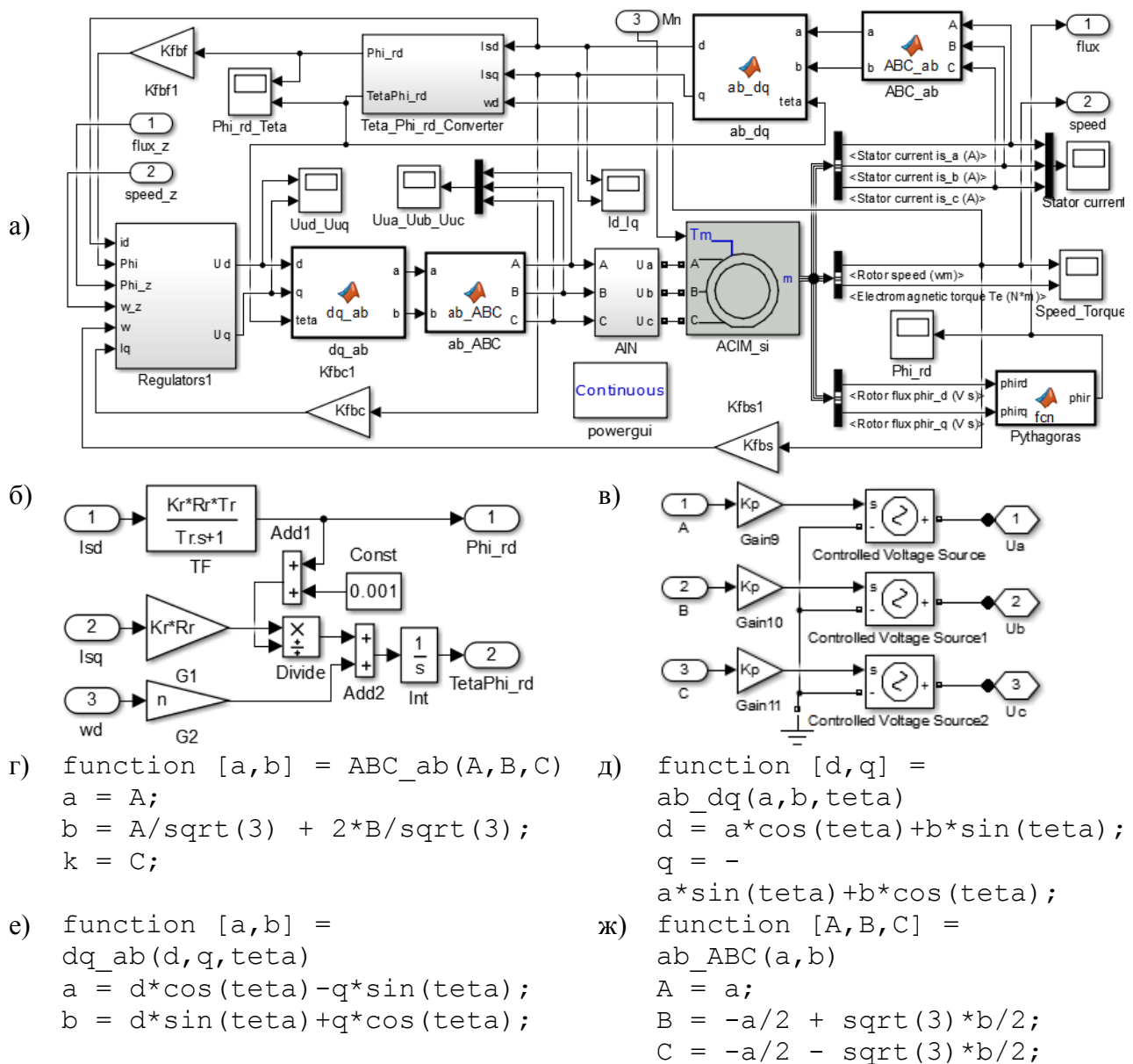


Рис. 2 – Виртуальная модель векторной системы управления скоростью АСІМ

а) – функциональная схема; б) – блок вычисления угла поворота

системы координат dq (Teta_Phi_rd_Converter); в) – автономный инвертор (AIN);

г), д), е) ж) – блоки преобразования координат «ABC_ab», «ab_dq», «dq_ab» и «ab_ABC» соответственно. (блок регуляторов «Regulators1» - аналогичен, приведённому на рисунке 1б)

Блок регуляторов структурной модели системы (рисунок 1б) реализован с использованием приведённых выше соотношений и имеет канал компенсации влияния потокоцепления ротора на момент индукционной машины.

Структурная модель не содержит блоков координатных преобразований и поэтому, непригодна для разработки программного обеспечения векторной системы управления АСІМ. Используем виртуальную модель асинхронного двигателя, структурную модель и блоки координатных преобразований, для получения полного математического описания блока управления векторной частотной асинхронной системы стабилизации скорости в виде виртуальной модели системы.

Виртуальная модель векторной системы управления скоростью АСІМ, приведена на рисунке 2.

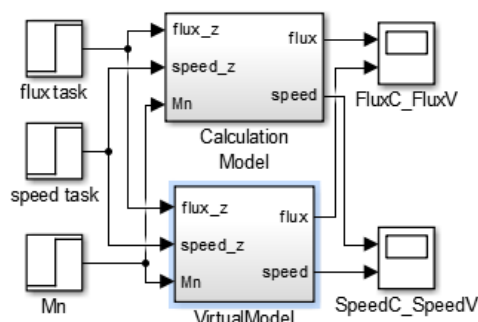


Рис. 3 – Стенд, для тестирования структурной и виртуальной моделей системы

Для тестирования структурной и виртуальной моделей векторной системы управления скоростью АСМ собран виртуальный стенд, изображённый на рисунке 3. Параметры стенда: $P_n=5500$; $I_n=11$; $M_{dn}=35$; $L_s=0.169$; $R_s=1.32$; $R_r=0.922$; $L_r=0.1715$; $L_m=0.164$; $J=0.203$; $n=2$; $L_{ls}=L_s-L_m$; $L_{lr}=L_r-L_m$; $K_r=L_m/L_r$; $L_{s1}=(L_s-L_m^2/L_r)$; $r=(R_s+K_r^2*R_r)$; $T_r=L_r/R_r$; $T_{s1}=L_{s1}/r$; $K_{fbf}=1$; $K_{fbc}=1$; $K_{fbs}=1$; $T_p=0.005$; $T_{pf}=0.0005$; $K_p=270/10500$; $F_{rd}=0.6$; $H=18.06$; $SqH=\sqrt{H}$.

Результаты тестирования структурной и виртуальной моделей векторной системы управления скоростью АСМ, при задании: скорости $speed_task = 100 \text{ c}^{-1}$; потокосцепления $flux_task = 0.6 \text{ Wb}$ и момента нагрузки $M_n = 35 \text{ Н*м}^2$, показаны на рисунке 4.

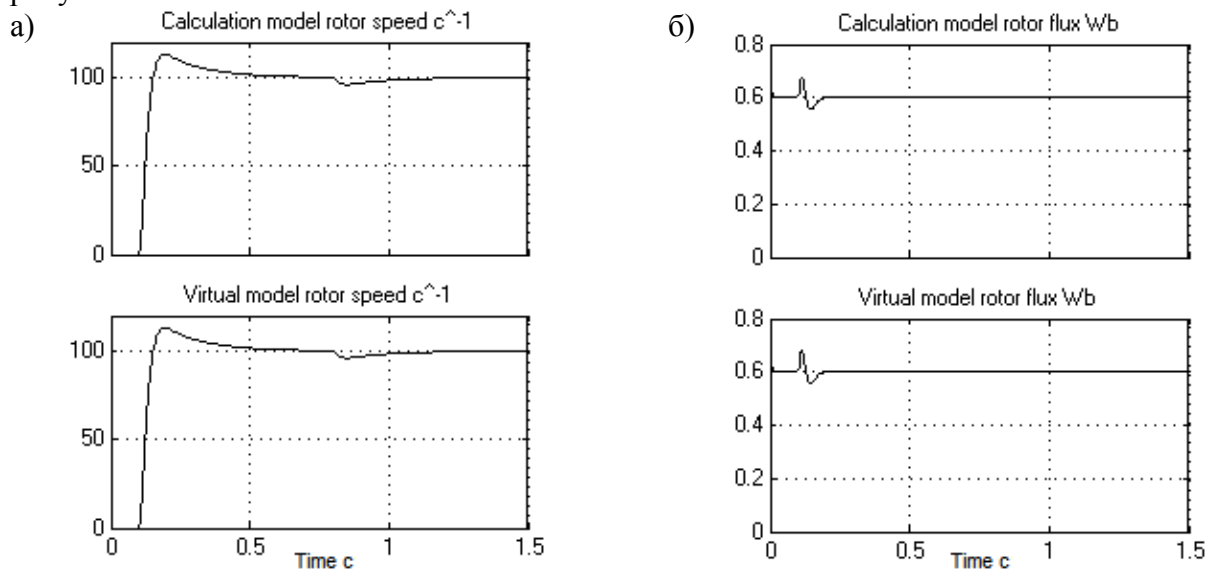


Рис. 4 – Переходные процессы в структурной и виртуальной моделях векторной системы управления скоростью АСМ

а) – в контуре скорости; б) – в контуре потокосцепления.

Кривые на рисунке 4а и рисунке 4б попарно совпадают. Из чего следует, что структурная и виртуальная модели векторной системы управления скоростью АСМ идентичны.

Предложенная виртуальная модель может быть использована для генерации кода при разработке и отладке программного обеспечения векторной системы управления АСМ.

Список литературы

1. Герман-Галкин С.Г. Matlab/Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин – С.-Пб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. Егоров В.А. Определение расчётной модели асинхронного электродвигателя при моделировании в MatLab / В.А.Егоров, А.В.Шангутова, Д.В. Шангутова // Научно-технический вестник Поволжья № 4, 2021. с.80 - 83. <https://ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov> Выпуск №4 2021.
3. Egorov, V.A., Egorova J.G. Modernization of Setting for Symmetrical Optimum // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) Publisher IEEE. art. no.8934360. Vladivostok. Russia. (DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934360).

2.3.3.

¹А.Н. Ивановский, ²А.А. Зинченко, ¹И.С. Горячев, ¹И.В. Антипенко, ³П.А. Дараган¹ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
Керчь, aleksei.ivanovskii@yandex.ru, sudovod@mail.ru, a.sofi@mail.ru,²Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет,
Санкт-Петербург, zinchenkoa@smtu.ru,³Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ушакова,
Новороссийск, daraganp@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРИРОВАНИЯ СУДОВ

В проведенных исследованиях установлены перспективы процесса управлением маневрирования судном. Выполненный информационный поиск показал, что в обобщенном плане для теории и практики обеспечения навигационной безопасности главную роль играет процесс управления маневрированием.

Ключевые слова: *перспективы исследований, процесс управления, маневрирование судов.*

Введение

Выполненный информационный поиск показал, что в обобщенном плане для теории и практики обеспечения навигационной безопасности главную роль играет процесс управления маневрированием. Он обеспечивает постоянство или изменение необходимым образом кинематических параметров движения, характеризующих положение судна в заданной системе координат, его угловую и линейную скорости и характер их изменения. В общем случае процесс управления включает в себя объект управления, средства управления, датчики параметров положения и значения кинематических параметров и кибернетические устройства, которые обеспечивают обработку и пересылку по каналам связи информацию между элементами системы для обеспечения целей управления.

Синтез алгоритмов обработки информации в процессе управления составляет фундаментальную задачу, для решения которой приходится привлекать современные методы теории управления, математического моделирования, оптимизации процессов и кибернетическую технику.

Целью работы является перспективы исследований процесса управления маневрированием судна

Результаты исследований

Рассмотрим состояние изученности отдельных составляющих элементов системы управления, на основании которых можно определить направление дальнейших исследований и методику их выполнения.

Внешние воздействия, такие как ветер, волнение, течения и мелководье описаны достаточно подробно. Однако основным недостатком является отсутствие в составе навигационных комплексов, которые обеспечивают безопасность судоходства, устройств расчета поправок на их воздействие на объект управления и разработки рекомендаций по учету их в виде поправок при разработке прогностической модели движения, зачастую это обстоятельство не позволяет использовать оптимальные способы управления движением [1-3].

Выбор количественных оптимальных значений безопасной скорости и скорости потери управляемости регламентирован достаточно подробно, однако процедура их определения изучена только на уровне содержательных моделей, которые также не всегда приведены.

Процесс маневрирования при появлении переменных ограничений регламентируется международными правилами. Однако в них не содержатся систематизированные процедуры

оценки ситуаций сближения и выработки маневров для расхождения. Это обстоятельство увеличивает время оценки ситуации и выбор маневра и приходится принимать экстренное решение, не всегда правильное, что в стесненных условиях и при чрезмерном сближении может создать аварийную ситуацию.

Концептуальная модель решения задачи расхождения и методика выбора вида маневра при прямолинейном и криволинейном движении судна с учетом динамических свойств не нашли своего завершения. Поэтому всестороннее исследование процесса движения судов при чрезмерном сближении и установление надежных закономерностей маневрирования в реальных условиях плавания не представляется возможным.

Решения задачи расхождения, существующие содержательные модели и их формализация не произведены до конца, а вопросы использования при их реализации систем искусственного интеллекта даже не рассматриваются.

Для формирования основных научных направлений в области безопасности мореплавания необходимо произвести экспертную оценку существующих систем управления маневрированием (СУМ) с перспективной гипотетической системой гарантированного безопасного маневрирования (СГБМ) судна по критериям функционирования, структурирования и управления.

Целью управления работой систем является поддержание заданных параметров состояния судна в определенных пределах. Аварийное происшествие, которое может произойти с судном, с позиций системного подхода, означает, что управляющего воздействия недостаточно для приведения системы в заданное состояние. При разработке систем необходимо предусмотреть их использование для выполнения следующих задач:

- обеспечения данными о маневренных свойствах судна;
- планирования траектории движения с учетом наличия акватории для маневрирования и соответствующих характеристик (создание заданного алгоритма функционирования системы);
- управления процессом маневрирования, включая корректировку заданного алгоритма функционирования.

В период эксплуатации судно должно пройти из одного пункта в другой безопасно и в кратчайший срок. При этом рассматривается два характерных режима его движения: плавание в открытом море, когда по условиям движения необходимо выбрать безопасный курс и скорость, и поддерживать их постоянными; перемещение в стесненных условиях, когда судно выполняет морские операции, используя собственные средства управления и помощь буксиров.

В работах [1-7] показано, что маневренные свойства в стесненных условиях и на мелководье выступают в качестве определяющих при проектировании водных путей.

Однако обращает внимание на себя тот факт, что практически ни в одном из рассматриваемых источников не идентифицирован полный перечень параметров, которые входят в состав данных о маневренных свойствах, и не дано четкое определение каждого из них. В результате в некоторых источниках приводятся ошибочные сведения. Например, в работах [8-11] и ряде других используется термин управляемость и маневренность. В то время как термин «маневренные характеристики» является обобщенным понятием, включающим и управляемость в том числе. Исключение системного и кибернетического подходов не позволило в достаточной степени изучить, исследовать и автоматизировать процесс маневрирования судна. По этой причине требуются новые подходы к проблеме достоверности изучения и исследования процессов маневрирования, основанные на результатах экспериментальных исследований в реальных производственных условиях.

Выводы

Как отмечает большинство авторов, обеспечение мореходности является необходимым, но недостаточным условием безопасного судовождения. При маневрировании возникновение аварийных ситуаций наступает тогда, когда действия судоводителя приводят судно в состояние, при котором внешние воздействия превосходят его технические возможности. При этом мореходные качества ограничивают и определяют пределы параметров управления, но не решают его задач. Поэтому знание ограничительных характеристик мореходности недостаточно для безопасного маневрирования.

Основы теории, принципы моделирования и синтеза широкого класса систем управления в систематизированном виде представлены в работах В. А. Некрасова. Особенностью рассматриваемых исследований является возможность использования их результатов для номинальных и экстремальных режимов движения судна. Частичные режимы работы судна не рассматриваются, хотя в условиях эксплуатации судна при планировании траектории требуется знание характеристик торможения и управляемости маневровых режимов движения и управления.

Список литературы

1. Marine Safety Agency: Annual Report & Accidents, 1996-2006. London, MSA, 2006. – 86 p.
2. Цаллагов Х.-Б.Н. Аналитические методы определения безопасных курсов и скоростей судов // Теоретические вопросы построения АСУ крупнотоннажными транспортными судами. - М.: Наука, 1978. - с. 83–93.
3. Цаллагов Х.-Б.Н. Безопасное расхождение судов при централизованном автоматизированном управлении // Задачи автоматизации управления движением судов в районах интенсивного судоходства. - М.: Ин-т Проблем Управления, 1983. - С. 29–39.
4. Шенетуха Ю.М. Применение комбинированного маневра в эргатических системах разрешения навигационного конфликта // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985.- № 68. – с. 45–48.
5. Яковлев А.К. Маневр последнего момента // Морской сборник. – 1989. - № 3. – С. 29–31.
6. Goodwill E.M., Lamb W.G.P. Quantities measurements of navigational safety // The Journal of Navigation. – 1983. - 36, P. 418 – 429.
7. Биденко С.И., Храмов И.С., Якушев Д.И., Бородин Е.Л., Черный С.Г., Васильев А.Б. Повышение точности геолокации объектов арктической навигационной активности методом прогнозной аналитики результатов многократных радиолокационных наблюдений // Гидрометеорология и экология. 2021. № 63. С. 297-310.
8. Goodwin E.M. A Statistical Study of Ship Domains // The Journal of Navigation. – 1975. - 28, № 3. - P. 328 – 341.
9. Поделенюк П.П., Жиленков А.А., Черный С.Г. Метод описания и управления формацией мультиагентной системы как инфинитезимально жесткой структурой информационной среды // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. 2021. № 4 (152). С. 17-22.
10. Lamb W.G.P. Calculation of the geometry of ship collision zones // The Journal of Navigation. – 1989. – 42, № 2. – P. 298 - 305.
11. Вынгра А.В., Соболев А.С., Черный С.Г. Автоматизированная система управления электроприводами с интеграцией программируемых реле и активных фильтров // Труды Крыловского государственного научного центра. 2021. № S2. С. 53-59.

2.3.3.

В.О. Каледин, А.В. Рекунов, Ю.А. Рекунов

Кузбасский гуманитарно-педагогический институт
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Кемеровский государственный университет»

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СООСНЫХ ЦИЛИНДРОВ
ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Рассматривается изготовление соосных вращающихся цилиндров (ротора и статора) с использованием аддитивной технологии – 3D-печати. Ограничение на точность размеров определяется необходимостью гарантированного минимального зазора, обеспечивающего отсутствие контакта между ротором и статором при упругих и температурных деформациях. Дается оценка необходимых номинальных диаметров ротора и статора с учётом разброса исполняемых размеров при 3D-печати.

Ключевые слова: 3D-печать, соосные цилиндры, зазор, точность.

Автоматизация производства соосных цилиндрических деталей связано с необходимостью обеспечения гарантированного зазора между валом и отверстием. Задача обеспечения зазора исчерпывающим образом решена применительно к деталям машин из металлов и сплавов [1] с использованием механической обработки; известны инженерные методики, позволяющие назначать номинальные размеры сопрягаемых валов и отверстий и назначать поля допусков, основанные на статистическом исследовании точности технологических операций.

Однако при изготовлении соосных деталей из полимеров методом 3D-печати эти методики становятся неприменимы как ввиду специфики свойств материалов, так и вследствие отличия технологических погрешностей аддитивной технологии от резания. Это требует предварительного анализа погрешностей изготовления для обоснованного выбора конструктивных размеров.

Точность изготовления деталей методом 3D-печати в последнее время является предметом многочисленных исследований. Так, в статье [2] анализировалось влияние настроек одной из моделей оборудования для печати методом послойного наложения (FDM-печати) на точность и качество получаемых изделий; в [3] рассмотрено влияние геометрии 3D-модели на отклонение размеров; в [4] определены рациональные условия обработки поверхности напечатанных изделий различными органическими растворителями. В ряде работ [5, 6] рассматриваются физико-химические аспекты технологии 3D-печати, влияющие на механические свойства материала в готовом изделии: микротвердость, адгезию к металлам, предел прочности при растяжении, а также характеристики межслоевой адгезии и внутренние напряжения. Наличие внутренних напряжений может приводить к отклонениям размеров и к расслоениям. В работе [7] отмечается, что параметры процесса печати должны выбираться различными для деталей разных размеров. В [8] описывается процесс послойной печати деталей, содержащих полости, в котором для повышения точности наружных размеров полости заполняются специальной смолой; в дальнейшем «лишний» материал может быть удалён растворением. Проблема точности особенно важна в случае печати нескольких сопрягаемых деталей, например – зубчатых пар [9]. В [10] приводятся основные причины отклонения получаемых размеров от расчётных: неточная работа механики принтера, усадка материала, отклонение скорости движения экструдера (и соответственно изменение толщины линии выдавливаемого материала), а также непостоянство диаметра прутка исходного материала и засорение сопла. В работе [11] приведены результаты подробного исследования отклонений размеров деталей, печатаемых с различными толщинами наплавленного слоя из пластика определённой марки (REC ABS)

на принтере PICASO 3D Designer; полученные выводы не охватывают других марок материала и оборудования.

Таким образом, при отладке технологии 3D-печати точных деталей необходимо получение характеристик точности для используемого материала и оборудования с учётом режимов печати и размеров деталей.

Рассматриваются две соосные цилиндрические детали, изготавливаемые послойной печатью (рис. 1): внешний цилиндр (статор) – неподвижный, внутренний (ротор) вращается.

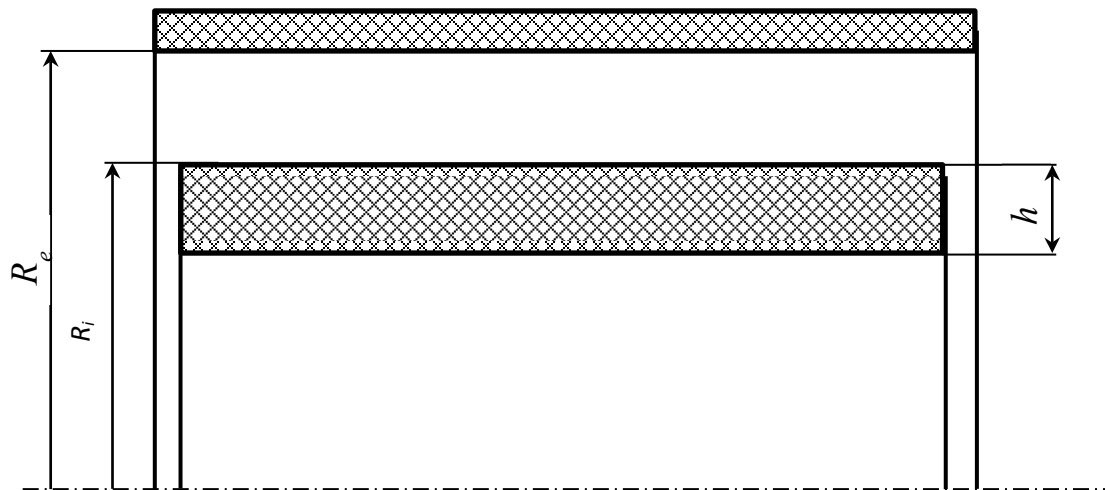


Рис. 1 – Расположение соосных цилиндров

Можно считать внешнюю поверхность ротора валом радиуса R_i , а внутреннюю поверхность статора – отверстием радиуса R_e . Требуется определить диаметры так, чтобы гарантировать заданный зазор Z между цилиндрами с учетом их деформации и технологической погрешности изготовления. Используемое оборудование для печати – принтер Wanhao D12 300; в качестве конструкционных материалов рассматриваются пластики следующих марок: ABS, PLA, PETG, PVA, SBS и HIPS. Погрешность изготовления оценивалась в диапазоне диаметров от 10 до 200 мм.

Зазор между внутренней поверхностью статора и внешней поверхностью ротора определяется разностью номинальных радиусов вала и отверстия, а также погрешностью фактических радиусов, погрешностью соосности, деформацией ротора вследствие центробежных сил и температурной деформацией обоих цилиндров:

$$Z = R_e - R_i - \Delta S - (\Delta R_i^{\max} + \Delta R_e^{\min}) + \Delta R_{et} - \Delta R_{it} - \Delta R_{i\sigma}, \quad (1)$$

где ΔS – погрешность установки вала в отверстии,

$\Delta R_i^{\max}$ – отклонение радиуса вала (в положительную сторону, т.е. увеличение по отношению к номинальному размеру),

$\Delta R_e^{\min}$ – отклонение радиуса отверстия (в отрицательную сторону),

ΔR_{et} – отклонение радиуса отверстия за счёт температурной деформации,

ΔR_{it} – отклонение радиуса вала за счёт температурной деформации,

$\Delta R_{i\sigma}$ – отклонение радиуса вала за счёт упругой деформации от центробежных сил.

Величины ΔR_{et} , ΔR_{it} и $\Delta R_{i\sigma}$ оценим расчётным путём. Пусть ротор нагревается до температуры T_i , статор – до температуры T_e . Считая пластик изотропным, получим, что температурная деформация ротора и статора составят соответственно ε_{it} и ε_{et} :

$$\varepsilon_{it} = \alpha_i(T_i - T_0), \quad \varepsilon_{et} = \alpha_e(T_e - T_0), \quad (2)$$

где α_i и α_e – коэффициенты линейного температурного расширения (КЛТР) материалов, T_0 – начальная температура.

Отсюда получаем:

$$\Delta R_{it} = R_i \alpha_i (T_i - T_0), \Delta R_{et} = R_e \alpha_e (T_e - T_0). \quad (3)$$

Для определения деформации от центробежных сил в первом приближении примем, что ротор является тонкостенным цилиндром толщиной h , плотность материала ρ , а угловая скорость вращения ω . Тогда центробежные силы могут быть приведены к равномерно распределённой нагрузке: $p = \rho \cdot h \omega^2 \cdot R_i$, откуда получаем окружные напряжения и деформации:

$$\sigma = p \frac{R_i}{h} = \rho \cdot \omega^2 \cdot R_i^2, \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot R_i^2}{E}. \quad (4)$$

Поскольку для тонкостенного цилиндра окружная деформация равна относительному изменению радиуса, окончательно имеем:

$$\Delta R_{i\sigma} = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot R_i^3}{E}. \quad (5)$$

Следовательно, суммарный зазор (1) с учётом (2) – (5) будет равен

$$Z = Z_{ном} - \Delta S - \Delta Z_{печ} + R_e \alpha_e (T_e - T_0) - R_i \alpha_i (T_i - T_0) - \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot R_i^3}{E}, \quad (6)$$

где $Z_{ном}$ – номинальный зазор, равный $R_e - R_i$,

$\Delta Z_{печ} = \Delta R_i^{\max} + \Delta R_e^{\min}$ – максимальное технологическое уменьшение зазора при 3D-печати.

Величина Z должна быть не меньше заданного гарантированного зазора. Таким образом, для определения номинального зазора из (6) необходимо предварительно оценить погрешность зазора $\Delta Z_{печ}$, для чего следует экспериментально получить отклонения диаметров вала и отверстия.

Эксперименты проведены с использованием 3D-принтера Wanhao D12 300; в качестве конструкционных материалов выбраны пластики следующих марок: ABS, PLA, PETG, PVA, SBS и HIPS. Режимы 3D-печати, а также величина растекаемости слоя (разность диаметров сопла и наплавленного следа), приведены в таблице.

Таблица – Режимы 3D-печати

Материал	Температура экструдера, °C	Скорость кулера экструдера (% от максимальной)	Скорость печати, мм/С	Растекаемость слоя, мм
ABS	210-250	Отключено	30-60	0,1
PLA	190-220	100%	30-80	0,15
PETG	220-265	Первый слой 20%, последующие слои 100%	25 - 50	0,2
PVA	160-175	Отключено	40, первый слой 16	0,1
SBS	225-240	20%	60	0,2
HIPS	180-260	Отключено	60	0,1

Погрешность изготовления оценивалась в диапазоне диаметров от 10 до 200 мм. График зависимости отклонения фактического размера от диаметра цилиндра для различных марок пластика приведен на рис. 2.

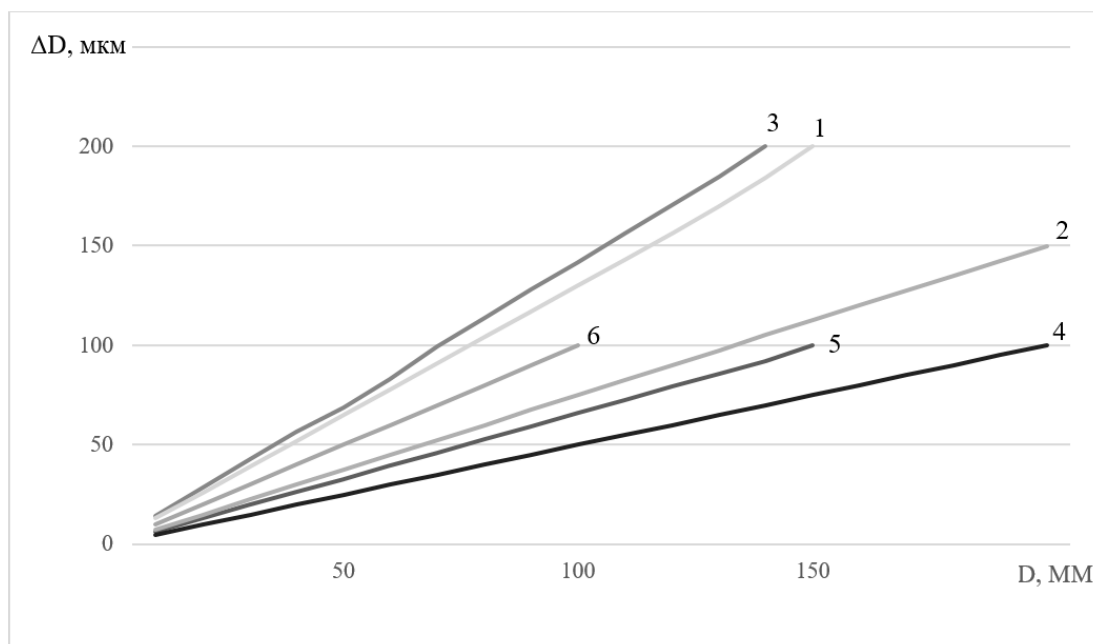


Рис. 2 – График зависимости отклонения размера от диаметра цилиндра:

1 – ABS, 2 – PLA, 3 – PETG, 4 – PVA, 5 – SBS, 6 – HIPS

Таким образом, экспериментально измерены отклонения фактических размеров цилиндрических деталей от номинальных после 3D-печати для различных размеров и различных материалов. Полученные оценки точности могут использоваться для расчёта номинальных размеров, обеспечивающих заданный зазор между цилиндрами при автоматизированной печати.

Список литературы

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. Том 1. - М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.
2. Савицкий В.В. Исследование влияния параметров 3D-печати на размерную точность изделий / В. В. Савицкий, А. Н. Голубев, Д. И. Быковский // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2018. – № 2(35). – С. 52-61. – DOI 10.24411/2079-7958-2018-13506. – EDN PITDEM.
3. Голубев А.Н. Исследование точности 3D-печати на тестовых моделях / А. Н. Голубев, Д. И. Быковский // Материалы докладов 50-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки : 50-я международная научно-техническая конференция: в 2-х томах, Витебск, 12–13 апреля 2017 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2017. – С. 341-343. – EDN ZIWWFH.
4. Езерская А.А. Определение оптимальных условий постобработки изделий, полученных при 3D-печати / А. А. Езерская, М. Л. Пивовар // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2019. – Т. 18. – № 2. – С. 96-101. – DOI 10.22263/2312-4156.2019.2.96. – EDN XBUMIG.
5. Межслоевая аутогезия термопластичных материалов, применяемых в FDM-технологиях / А. В. Кравцевич, Л. И. Шашура, А. И. Свириденко, Ж. И. Бернацкая // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2017. – Т. 7. – № 1. – С. 66-74. – EDN YMVLTR.
6. Гребенников И.О. Проблемы адгезии при печати на 3D-принтере / И. О. Гребенников, З. М. Колпаков, Ю. Д. Тошкова // ПОЛИГРАФИЯ: технология, оборудование, материалы : Материалы X научно-практической конференции с международным участием, Омск, 15–16 мая 2019 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2019. – С. 57-62. – EDN OULVAG.

7. *Быковский Д.И.* Анализ размерной точности моделей при 3D-печати и автоматизация процесса выбора параметров печати / Д. И. Быковский, А. Н. Голубев // Материалы докладов 52-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: В ДВУХ ТОМАХ, Витебск, 24 апреля 2019 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2019. – С. 4-7. – EDN CEYDDP.
8. Проблемы применения методов 3D-моделирования и 3D-печати в науке и производстве / В. С. Сергеева, Т. В. Бысова, В. А. Смирнов, А. В. Поначугин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2021. – Т. 4. – № 10(118). – С. 31-36. – DOI 10.36871/ek.ur.p.r.2021.10.04.005. – EDN OUPDPW.
9. Повышение точности зубчатых колес, полученных 3D-печатью / А. В. Балашов, М. Н. Заборцева, А. С. Елюбаева, Б. К. Ахметкали // Инновации в машиностроении : сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Барнаул, 24–26 октября 2018 года / Под редакцией А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2018. – С. 326-333. – EDN YSVIVF.
10. *Зверовщиков А.Е.* Исследование точности размеров, обеспечиваемых технологией 3D-печати / А. Е. Зверовщиков, Д. А. Шелахаев, С. А. Нестеров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 1(49). – С. 66-78. – DOI 10.21685/2072-3059-2019-1-6. – EDN OIPNJE.
11. *Фисенко Е.Н.* Проблемы 3D-печати моделей с высокими требованиями к точности размеров / Е. Н. Фисенко, О. И. Рабецкая // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: в 3 т., Красноярск, 12–16 апреля 2021 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. – С. 419-421. – EDN COIFEA.

2.3.3.

А.С. Сизинцева, канд. техн. наук, В.В. Бажеряну

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра «Управление инновационными процессами и проектами»,
Комсомольск-на-Амуре, annasizzi@yandex.ru

АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Рассмотрены подходы к повышению экономичности процесса автоматизированного регулирования производительности систем кондиционирования и вентиляции за счет применения широтно-импульсной модуляции.

Ключевые слова: *повышение экономичности, кондиционирование, вентиляция, широтно-импульсная модуляция.*

Введение. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – один из эффективных современных подходов к управлению производительностью различных электромеханических систем, который весьма широко используется на практике при решении различных инженерных и технических задач [1, 2, 3]. Наиболее часто данный метод используется при построении систем автоматизированного регулирования, в том числе систем регулирования производительности систем кондиционирования и вентиляции [4, 5].

Технические решения и подходы к охлаждению воздушного потока. В современных системах кондиционирования и вентиляции для повышения эффективности охлаждения воздушного потока достаточно часто используется газоструйный аппарат специальной конструкции [6].

Газоструйный аппарат специальной конструкции с бифуркацией газового потока (ГАСК) представляет собой равнофазный струйный аппарат, в котором рабочий (активный) и эжектируемый (пассивный) потоки являются упругой средой (воздух).

Эффективность газоструйного аппарата зависит как от его формы, так и от скорости воздушного потока, который в свою очередь зависит от производительности тягодутьевых устройств, в качестве которых наиболее часто применяются канальные вентиляторы. Для экспериментального исследования путей повышения энергоэффективности систем кондиционирования и вентиляции был сконструирован лабораторный образец абсорбционного кондиционера, оборудованный типовым промышленным канальным вентилятором ERA PROFIT 4 12V [7, 8].

Согласно данным производителя, производительность вентилятора зависит от давления в канале (аэродинамического сопротивления) имеет нелинейную зависимость.

Способ регулирования производительности вентилятора. Регулирование производительности (подачи воздуха) вентилятора может осуществляться различными способами, которые условно можно разделить на три группы:

- повышение аэродинамического сопротивления входного тракта за счет установки регулирующих устройств: клапанов, шиберов, диафрагмы и т.п.;
- изменение тока в цепи вентилятора за счет применения дросселирующих устройств (дополнительного сопротивления);
- изменение напряжения в цепи, в том числе применением широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Использование способа из первой группы является самым неэкономичным, хотя и сохраняют характеристику производительности вентилятора.

Способы второй группы так же являются неэкономичными для регулирования вентилятора, но при этом сопротивление сети увеличивается, поэтому характеристика вентилятора становится более крутой и рабочая точка передвигается по кривой характеристике влево вверх, определяя новые значения параметров. Дросселирование уменьшает мощность на валу электродвигателя и вместе с тем повышает долю энергии, расходуемой при регулировании вентилятора. Чем глубже процесс регулирования вентилятора, тем более непроизводительна затрата мощности.

Изменение напряжения в цепи питания вентилятора постоянного тока не позволяет получать регулируемый поток во всем диапазоне напряжений: необходимость преодоления инерционных процессов и конструкционные ограничения двигателей постоянного тока не позволяет их эксплуатировать при значениях напряжений, существенно отличающихся от номинальных.

Широтно-импульсная модуляция позволяет регулировать производительность вентилятора за счет изменения среднего напряжения, подаваемого на двигатель. На рисунке 1 представлена зависимость среднего напряжения от скважности.

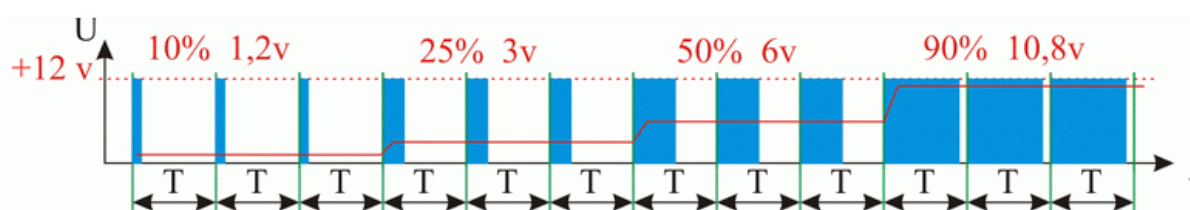


Рис.1 – Зависимость среднего напряжения от скважности

При регулировании скорости вращения двигателя с помощью широтно-импульсной модуляции на двигатель подается номинальное напряжение, но импульсами заданной величины. Соотношение длительности периода подачи напряжения и его отсутствия за единицу времени определяет долю производительности вентилятора.

Из рассмотренных способов наиболее целесообразным представляется применение ШИМ-регулирования, как наиболее экономичного и позволяющего регулировать производительность вентилятора лабораторного образца абсорбционного кондиционера в широких пределах.

Экспериментальное определение эффективной производительности вентилятора. Экспериментальная установка для определения эффективной производительности вентилятора, обеспечивающей максимальное охлаждение воздушного потока для лабораторного образца абсорбционного кондиционера, представляет собой лабораторный образец абсорбционного кондиционера, дополненный ШИМ-регулятором вентилятора, ареометром для измерения скорости воздушного потока, датчиками температуры, измеряющими температуру воздушного потока на входе и выходе ГАСК.

В ходе эксперимента скважность импульсов ШИМ-регулятора изменялась в пределах от 10% до 100% с шагом 5%. Длительность измерений для каждого значения скважности составляло 15 минут, что позволило исключить влияние переходных процессов и получить стационарные результаты. Всего было проведено 19 экспериментов (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика производительности вентилятора

№ эксперимента	Скважность, %	Потребляемая мощность, Вт _{вент}	Производительность, м ³ /ч
1	10	1,4	25
2	15	2,1	28
3	20	2,8	30
4	25	3,5	33
5	30	4,2	35
6	35	4,9	38
7	40	5,6	41
8	45	6,3	43
9	50	7	46
10	55	7,7	49
11	60	8,4	51
12	65	9,1	54
13	70	9,8	56
14	75	10,5	59
15	80	11,2	62
16	85	11,9	64
17	90	12,6	67
18	95	13,3	69
19	100	14	72

По результатам проведенной серии экспериментов было установлено, что кривая эффективности охлаждения воздушного потока для лабораторного образца абсорбционного кондиционера в зависимости от производительности вентилятора имеет явно выраженный минимум (рисунок 2).

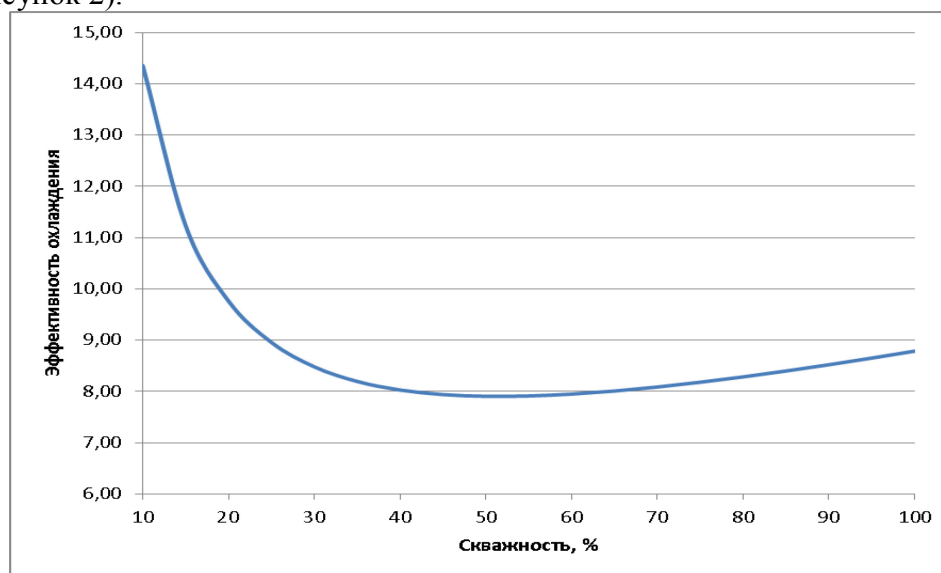


Рис.2 – Результаты экспериментов

по определению эффективной производительности вентилятора

Закключение. По итогам проведенного экспериментального определения эффективной производительности вентилятора, обеспечивающей максимальное охлаждение воздушного потока для лабораторного образца абсорбционного кондиционера было установлено, что наиболее эффективное охлаждение воздушного потока происходит при мощности вентилятора на уровне 55% от номинальной мощности.

Описанные в статье результаты могут быть использованы при выборе методов автоматизированного регулирования производительности систем кондиционирования и вентиляции на этапе их проектирования.

Список литературы

1. *Ким К.И.* Характеристики асинхронной машины в режимах регулирования скорости / Ким К.И., Ким К.К., Вешкин В.В. // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № I-1 (41).
2. *Стельмащук С.В.* Оценка точности системы согласованного управления с учетом возмущающего воздействия // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № 1-1 (41).
3. *Гордин С.А.* К вопросу повышения эффективности систем управления дутьём твёрдотопливных котлов / Гордин С.А., Гринкруг М.С., Зайченко И.В. // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № 5 (45).
4. *Гордин С.А.* Адаптивные системы управления судовыми тепловыми установками / Гордин С.А., Зайченко И.В., Хряпенко К.Д., Бажеряну В.В. // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 4-1 (54).
5. *Ким К.И.* Динамическая устойчивость асинхронной машины в режиме наброса нагрузки / Ким К.И., Ким К.К. // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № I-1 (41).
6. *Гринкруг М.С.* Использование абсорбционных холодильных машин для производства холода в современных условиях / Гринкруг М.С., Зайченко И.В., Соколова В.С. // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 6-1 (84).
7. *Зайченко И.В.* Математическое моделирование и управление процессом повышения эффективности человеко-машинных систем с помощью комплексного критерия оценки эргономичности / Зайченко И.В., Гордин С.А., Егорова Ю.Г. // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. Т. 1. № 1 (41).
8. *Зайченко И.В.* Управление технологическим процессом ремонта деталей из полимерных композиционных материалов в составе изделия и оценка энергозатрат / Зайченко И.В., Бажеряну В.В., Соколова В.С. // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2019. Т. 1. № 4 (40).

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

2.3.5.

¹А.О. Мантуров канд. физ.-мат. наук, ²И.А. Мантурова канд. техн. наук,
²Т.В. Данилова канд. физ.-мат. наук, ²Е.С. Смирнова

¹Поволжский институт управления имени П.А.Столыпина,
факультет государственного и муниципального управления,
кафедра прикладной информатики и информационных технологий в управлении,
Саратов, manturovao@gmail.com,

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Институт электронной техники и приборостроения,
кафедра информационной безопасности автоматизированных систем,
Саратов, mania7764@gmail.com, tvdan521@gmail.com, elizabeth.smirnova@gmail.com

БЕСКОНТАКТНЫЙ СЕНСОР ДВИЖЕНИЯ И ПРИСУТСТВИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ RTL-SDR

Задача обнаружения присутствия и движения объектов требует решения в системах автоматического управления транспортными потоками, охраны периметра, в технологиях «умный дом». Представлены результаты экспериментальных исследований пассивного радиочастотного сенсора присутствия и движения, использующего концепцию SDR. Показано, что такой сенсор может быть эффективно реализован на основе программно-аппаратной платформы RTL-SDR.

Ключевые слова: программно-определяемые радиосистемы, SDR, обнаружение присутствия и движения, сенсор, пассивная радиолокация.

Концепция программно-определяемых радиосистем (Software Defined Radio, SDR [1-3]) находит все более широкое применение в различных задачах радиотехники. Значительный интерес может представлять применение SDR-решений в радиолокации в ближнем поле [4], в частности, для обнаружения присутствия и движения [5]. Традиционно построение радиочастотных (РЧ) сенсоров присутствия и движения базируется на использовании автодинного метода измерений координат и скоростей объектов [6]. В противовес автодинному методу сенсоры присутствия и движения, основанные на принципе пассивной радиолокации, не излучают зондирующий сигнал, обладают большей помехоустойчивостью и способны работать с низкими уровнями сигналов подсвета. Особый интерес представляет реализация таких сенсоров с использованием концепции SDR, что позволило бы интегрировать в них эффективные оптимальные цифровые алгоритмы обнаружения присутствия и движения.

На основании изложенного, целью настоящей работы является экспериментальное подтверждение возможности применения бюджетного программно-аппаратного решения RTL-SDR [2,3] и демонстрация возможности построения соответствующего программно-математического обеспечения для решения задачи обнаружения присутствия и движения.

Экспериментальная конфигурация для решения задачи обнаружения присутствия и движения на основе принципа пассивной радиолокации в ближнем поле, используемая в настоящей работе, приведена на рис.1. В эксперименте приемником R регистрировался суммарный сигнал двух волн - I_1 - плоской волны от удаленного источника S и I_2 - рассеянной тест-объектом (рис.1a). Поле волны, рассеянной окружающей обстановкой, специально не учитывалось, поскольку предполагалось, что окружающая обстановка

неподвижна и неизменна во времени. В качестве сигнала подсвета I_1 использовался постоянно присутствующий сигнал базовой станции системы сотовой связи на частоте $f=933.8$ МГц. Тест-объект (человек) перемещался вдоль прямой q параллельно прямой p , проходящей через антенну приемника R (рис.1б). Согласно рис.1б предполагалось, что задержка распространения волны I_2 равна $(x+D)$. Сдвиг фазы волны I_2 при рассеянии на тест-объекте не учитывался.

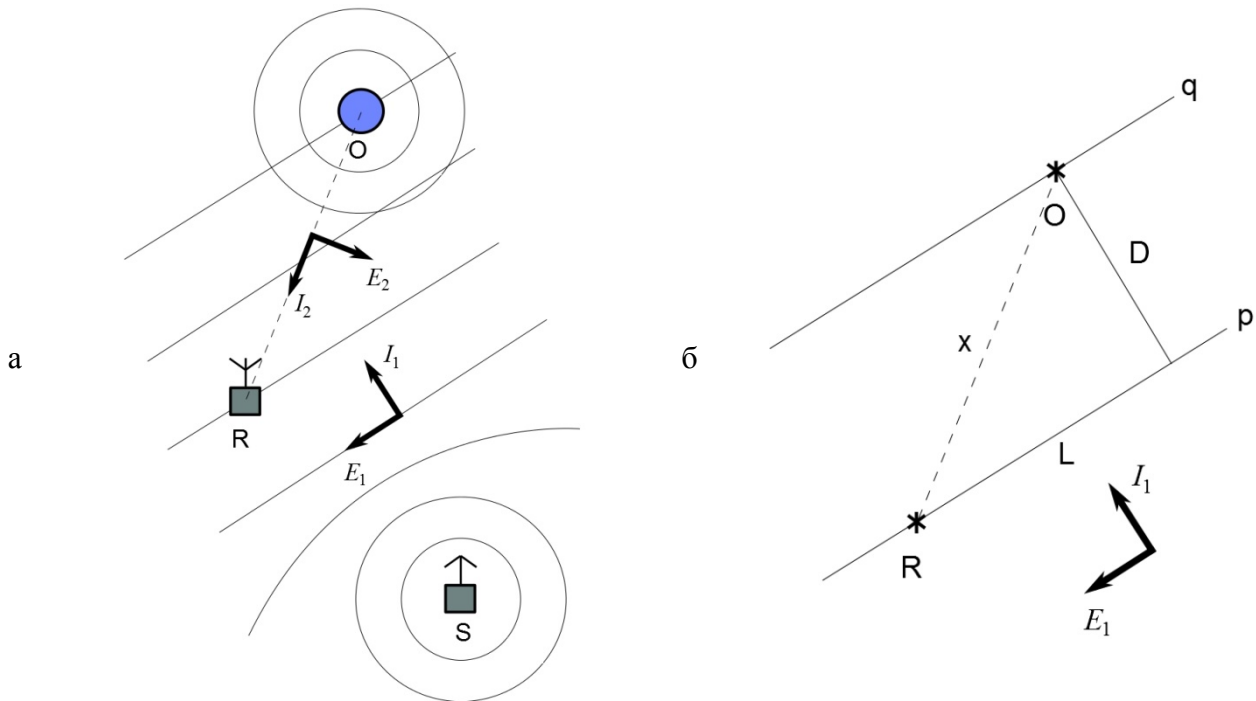


Рис. 1 – Схема приема сигнала в пассивном сенсоре присутствия и движения:

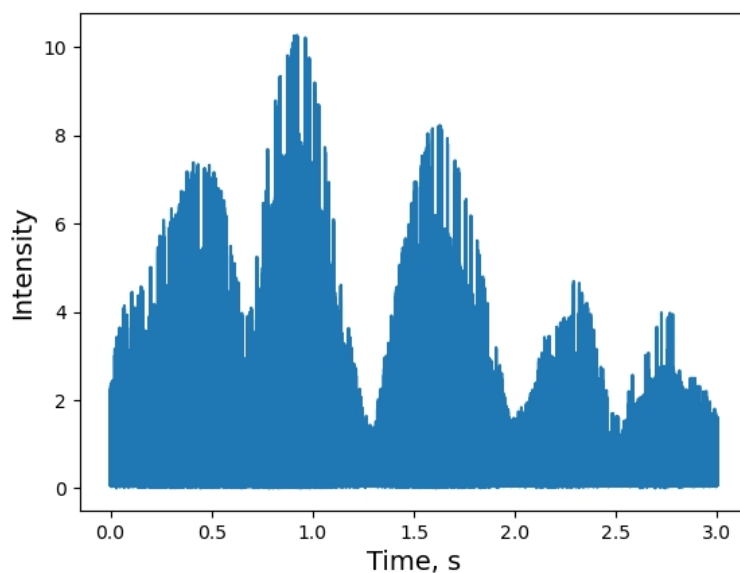
а) взаимное расположение антенны приемника R, тест-объекта O и источника сигнала подсвета S, б) геометрия натурального эксперимента

Все измерения и расчеты выполнялись с использованием ПЭВМ Intel Core i7/3.4GHz/64Gb, для управления RTL-SDR-приемником использовалось программное обеспечение (ПО) SDR# v.1.0.0.1337 [7]. В качестве приемной антенны приемника R использовался полуволновой диполь с вертикальной поляризацией. При помощи ПО SDR# выполнялась запись реализации принятого RTL-SDR-приемником сигнала в видеодиапазоне $(0 \div 1.2)$ МГц в квадратурном (I/Q) формате. Длительность записи определялась временем перемещения тест-объекта в заданном направлении в пределах экспериментальной площадки на данное расстояние $L=2.3$ м (рис.1б). Расстояние D составляло $D=1.2$ м. Дальнейшая обработка полученного аналитического сигнала включала последовательно вычисление огибающей (детектирование), фильтрацию высокочастотных составляющих и выделение постоянной составляющей при помощи оконного фильтра [8]. Также, было выполнено численное моделирование интенсивности сигнала $|(I_1+I_2)|$, принимаемого приемником R, в предположении, что рассеянная волна I_2 - сферическая, в ближнем поле. Результаты представлены на рис.2.

Как можно видеть, сигнал демонстрирует осциллирующее поведение, в соответствии с перемещением тест-объекта относительно антенны приемника. Известное несовпадение положений максимумов, очевидно, объясняется наличием большого числа неподвижных рассеивающих объектов, и, как следствие - гораздо более сложной структурой суммарного поля, регистрируемого антенной приемника R. Кроме того, из рис.2а можно видеть также, что на реализации сигнала отсутствуют нулевые интерференционные минимумы, характерные для теоретической численной модели (рис.2б), и наименьшее значение интенсивности в них составляет порядка 2 отн. единиц. С одной стороны, это объясняется также наличием неучтенного поля рассеяния от сторонних предметов, и, с другой стороны -

наличием собственных шумов входного РЧ тракта чипсета RTL-SDR. Указанное определяет оценки предельной чувствительности платформы RTL-SDR в задаче определения координат и скорости объекта: минимально регистрируемое перемещение составило $\Delta x \approx 0.02 \div 0.05$ м, а наименьшая регистрируемая скорость $v \approx 0.01$ м/с. В то же время, учитывая разрядность получаемых от RTL-SDR-устройства данных (8 бит), сделанные оценки не являются предельно достижимыми, и теоретически достижимая чувствительность по параметрам Δx и v может быть на порядок лучше. Таким образом, полученные результаты подтверждают принципиальную возможность построения сенсоров присутствия движения с использованием концепции SDR, в том числе, на основе альтернативного бюджетного решения RTL-SDR.

а



б

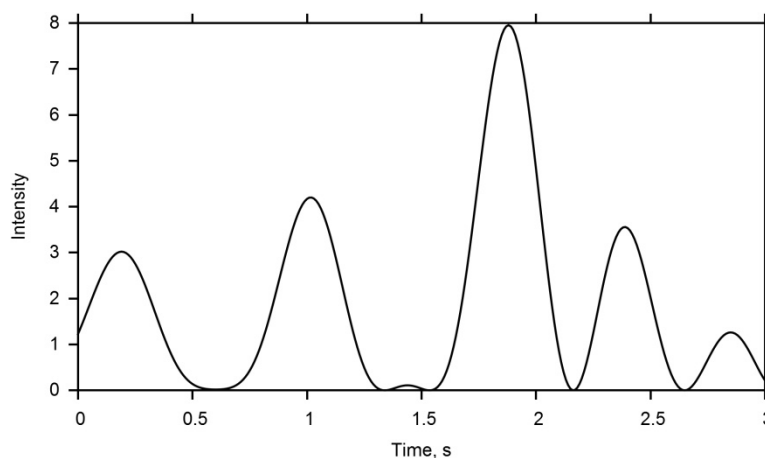


Рис. 2 – Огибающая сигнала:

а) результат детектирования I/Q-данных с выхода RTL-SDR,

б) результат численного моделирования $|(I_1 + I_2)|$

Список литературы

1. *Markus Dillinger, Kambiz Madani, Nancy Alonistioti.* Software defined radio: architectures, systems, and functions. John Wiley & Sons, 2003. 454 p.
2. RTL-SDR (RTL2832U) and software defined radio news and projects. Режим доступа: <http://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/> (дата обращения 05.04.2022 г.)
3. *Manturov A.O., Manturova I.A.* Metrological Characteristics of SDR-receiver Based on R820T/RTL2832U = Метрологические характеристики SDR-приемника на аппаратной платформе R820T/RTL2832U // 25th International Crimean Conference «Microwave and Telecommunication Technology» (CriMiCo'2015). 6-12 September, 2015, Sevastopol, Crimea, Russia: Conference, Proceeding = 25-я междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2015), Севастополь, 6-12 сент. 2015 г. : материалы конф. : в 2 т.. 2015. Т. 1. С. 233-234
4. *Коган И.М.* Ближняя радиолокация. Теоретические основы. - М.: Советское радио, 1973.
5. *Mrazovac B., Todorović B.M., Bjelica M.Z. and Kukolj D.* «Reaching the next level of indoor human presence detection: An RF based solution,» 2013 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), 2013, pp.297-300
6. *Носков В.Я.* Сто лет автодину: исторический очерк основных этапов и направлений развития автодинных систем / В.Я. Носков, С.М. Смольский // Радиотехника. – 2013. – № 8. – С. 091-101.
7. SDR Software Download. Режим доступа: <https://airspy.com/download/> (дата обращения 05.04.2022 г.)
8. *Гольденберг Л.М.* Цифровая обработка сигналов: Справочник / Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк. - М.: Радио и связь, 1985. - 312 с.

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

2.3.5.

А.С. Алексейчук канд. физ.-мат. наук

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
кафедра математической кибернетики,
Москва, alexejchuk@gmail.com

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ
С ПОМОЩЬЮ СЛОЕВ МЕЖКАНАЛЬНОГО ПУЛИНГА**

Статья посвящена методам улучшения и стабилизации генерирования изображений при помощи генеративно-состязательных сетей. Рассмотрены основные методы улучшения качества генерации. Предложен метод улучшения при помощи добавления слоев межканального пулинга с ядром размерностью 1×1 в сочетании с обратными сверточными слоями в генераторе. Продемонстрировано как визуальное улучшение качества генерируемых изображений, так и объективное улучшение метрики качества Frechet Inception Distance (FID) при применении данного метода.

Ключевые слова: *нейронные сети, генеративно-состязательные сети, генерирование изображений, сверточные сети.*

Введение

Генеративно-состязательные сети (GAN, generative adversarial networks) являются разновидностью моделей глубокого обучения без учителя, предназначенных для генерирования структурированных данных. Генеративно-состязательная сеть включает две нейронные сети: генератор (G) и дискриминатор (D). Генератор осуществляет отображение $G: \mathbb{R}^K \rightarrow \mathbb{R}^M$ точек $z \in \mathbb{R}^K$ пространства выбранной размерности K (латентного пространства) на выходные изображения $y = G(z) \in \mathbb{R}^M$, где M – количество пикселей изображений, умноженное на количество цветовых каналов изображения. Дискриминатор обучается отличать сгенерированные таким образом изображения от образцов обучающей выборки, т.е. строит отображение для бинарной классификации $D: \mathbb{R}^M \rightarrow (0, 1)$, а генератор, напротив, обучается обманывать дискриминатор, порождая всё более реалистичные изображения. Цель обучения генератора и дискриминатора состоит в нахождении точки равновесия Нэша в задаче минимаксной игры двух игроков [1]:

$$\min_{\theta_G} \max_{\theta_D} \mathbb{E}_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x)] + \mathbb{E}_{z \sim p(z)} [\log(1 - D(G(z)))],$$

где θ_G и θ_D – оптимизируемые параметры генератора и дискриминатора, x – элемент обучающей выборки, $p_{data}(x)$ – распределение данных в обучающей выборке, $z \in \mathbb{R}^K$ – случайный вектор, взятый из некоторого распределения $p(z)$ в латентном пространстве, в качестве которого обычно используют нормальное или равномерное распределение.

Наиболее частая сфера применения GAN – генерирование фотореалистичных изображений [2]. К сожалению, найти равновесие Нэша в задаче генерирования изображений – очень трудная задача, поскольку оптимизируемая функция не является выпуклой, пространство оптимизируемых параметров чрезвычайно многомерно, а формальная оценка качества получаемых изображений затруднена. Поэтому GAN требуют очень тщательной настройки для получения приемлемого качества получаемых изображений. Современные исследования в этой области опираются на идею использования в генераторе либо обратных сверточных слоев (transposed convolution layers), либо слоев повышающей дискретизации

(upsampling) в комбинации со сверточным слоем с ядром размерностью 3×3 . Также применяются другие, довольно сложные модификации архитектуры генератора или дискриминатора. Авторы работы [3] предлагают использовать остаточные связи между слоями генератора и дискриминатора. Используются также модели семейства StyleGAN с многочисленными усовершенствованиями [4]. В [5] предлагается использовать самообучаемый дискриминатор, работающий по принципу автокодировщика.

Для улучшения визуального качества изображений автором предлагается применение слоев межканального пулинга [6]. Структура такого слоя описывается одним или несколькими полносвязными слоями, применяемыми к каждой ячейке вдоль оси глубины карт признаков. Межканальный пулинг с одним полносвязным слоем может быть реализован с помощью сверточных слоев с ядром размерностью 1×1 . Возможно также использование стека из нескольких таких слоев, что помогает реализовать более сложные нелинейные преобразования карт признаков.

Метрика качества работы модели GAN

Для оценки качества получаемых изображений используется метрика Frechet Inception Distance (FID), предложенная в [7] для оценки качества работы генеративно-состязательных сетей. FID характеризует сходство истинных и сгенерированных изображений путем сравнения статистических показателей активаций выходного слоя модели Inception v3, на вход которой подаются пакеты этих изображений. Метрика FID вычисляется по формуле:

$$FID = \|m - m_w\|_2^2 + \text{Tr}(C + C_w - 2(CC_w)^{1/2}),$$

где m – вектор средних активаций выходного слоя для пакета истинных изображений, m_w – то же для сгенерированных изображений, C и C_w – ковариационные матрицы активаций для пакетов истинных и сгенерированных изображений соответственно. Показано, что более низкие оценки FID коррелируют с визуальной лучшей оценкой получаемых изображений.

Экспериментальные исследования

В данной главе приведены результаты применения метода добавления слоев межканального пулинга, к генеративно-состязательной сети, построенной на основе архитектуры DCGAN (Deep Convolutional GAN) [2].

Архитектура модели GAN

На рисунке 1 приведена структура слоев генератора рассматриваемой сети, а на рис. 2 – архитектура дискриминатора. Типы слоев на схеме обозначены в соответствии с принятыми названиями в библиотеке Keras: *Conv2D* – сверточные слои, *Conv2DTranspose* – транспонированные (обратные) сверточные слои, *MaxPool* – слои субдискретизации, *Flatten* – слои линейаризации, *Dense* – полносвязные слои, *Reshape* – слои преобразования размерностей тензоров. Для каждого слоя обозначены соответствующие размерности выходных тензоров. Например, $16 \times 16 \times 256$ обозначает, что выход соответствующего слоя включает 256 карт признаков размерностью 16×16 каждая.

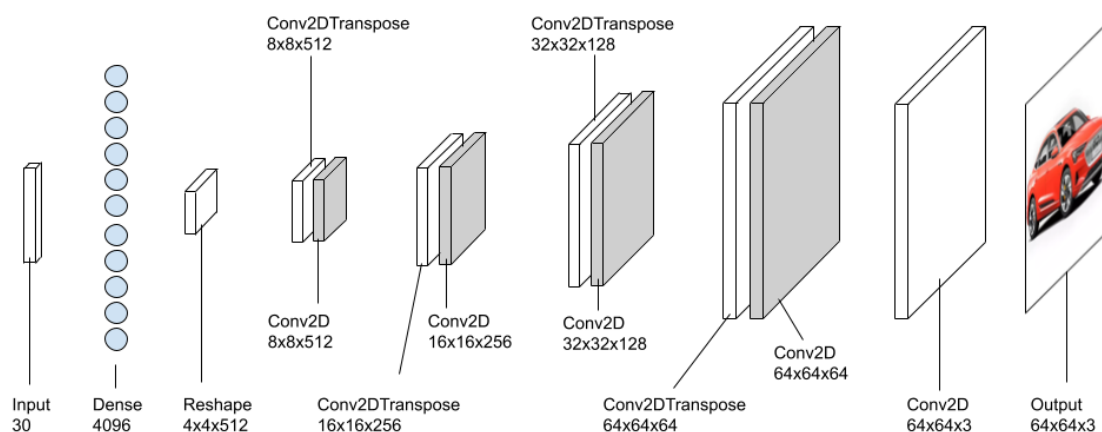


Рис. 1 – Архитектура генератора

В каждом слое генератора и дискриминатора, за исключением выходных слоев, использована функция активации Leaky ReLU с угловым коэффициентом в отрицательной области $\alpha = 0,2$. Выходной слой генератора имеет функцию активации $f(x) = \text{th } x$, а выходной слой дискриминатора – логистическую функцию $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$.

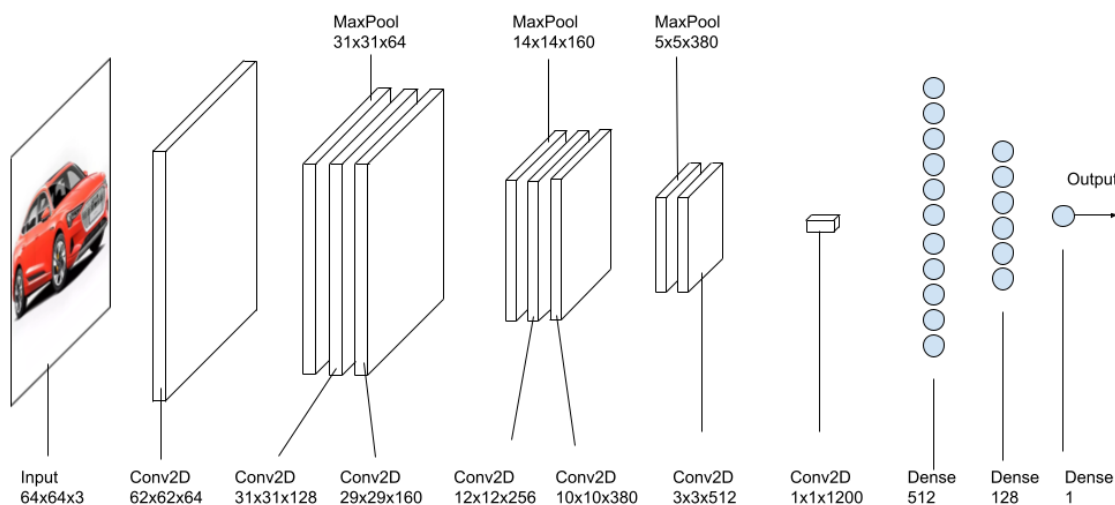


Рис. 2 – Архитектура дискриминатора

Исходные данные

Для экспериментов используются две конфигурации модели: базовая (без слоев межканального пулинга) и модифицированная (с одним слоем межканального пулинга после каждого обратного сверточного слоя).

Для обучения модели использована выборка Stanford Cars Dataset, включающая около 16 000 фотографий автомобилей. Все изображения приводятся к единому размеру 64×64 пикселя. Метрика FID вычисляется после каждых 2 эпох обучения с усреднением по 10 расчетам на пакетах размером 1000 изображений, а также вычисляется ее стандартное отклонение.

Расчеты проводились с использованием графического ускорителя NVIDIA GeForce RTX 2060 SUPER под управлением ОС Ubuntu 20. Для разработки моделей использованы интерпретатор Python 3.8.10 и библиотека TensorFlow 2.8 с поддержкой библиотеки Keras.

Анализ результатов

В таблице 1 приведена сравнительная характеристика базовой и модифицированной моделей и результаты их обучения. Показано среднее значение метрики FID для последних 20 эпох обучения (меньше – лучше).

Таблица 1 – Сравнение базовой и модифицированной моделей

Модель	Кол-во параметров генератора	Общее кол-во параметров	Время выполнения одной эпохи	Средний FID в конце обучения
Базовая	7,45 млн	16,9 млн	73 с	23,0±2,6
Модифицированная	7,79 млн	17,2 млн	77 с	16,4±2,3

На рис. 3 приведена сравнительная динамика изменения метрики FID в процессе обучения базовой и модифицированной моделей, за исключением нескольких первых эпох.

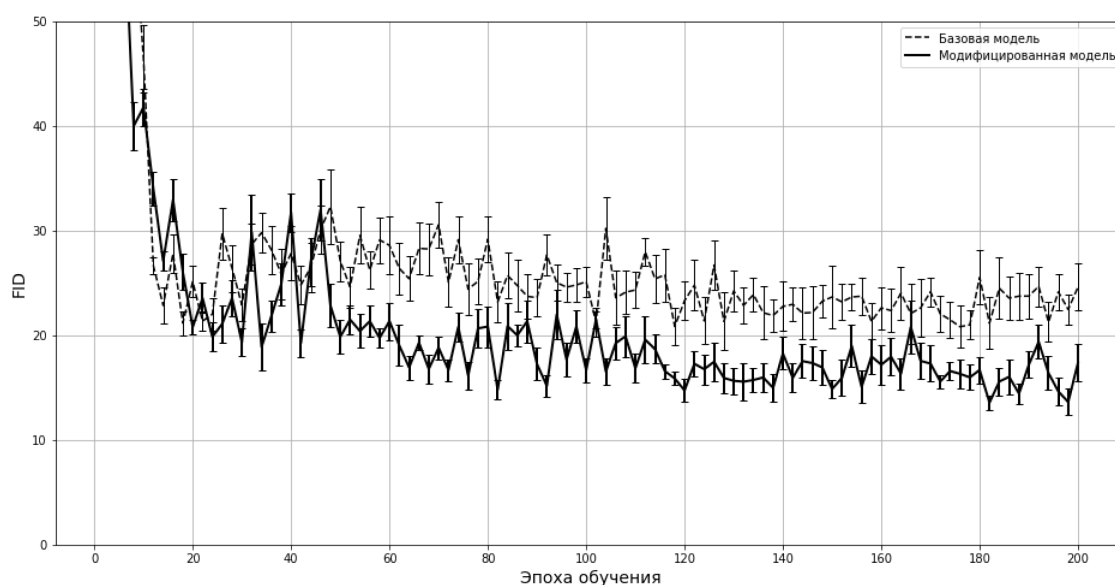


Рис. 3 – Динамика метрики FID для базовой и модифицированной моделей

По результатам анализа можно заключить, что примерно после 50 эпох FID для модифицированной модели становится устойчиво меньше, чем для базовой модели. В конце обучения удалось добиться улучшения метрики FID модифицированной модели примерно на 29% при увеличении общего количества обучаемых параметров всего на 2%, а времени обучения – на 5%.

Визуальный анализ подтверждает, что слои межканального пулинга действительно позволяют добиться лучшего качества генерируемых изображений (рис. 4). Изображения, генерируемые базовой моделью, похожи на изображения автомобилей, но имеют явные недостатки: неровные линии, искаженные формы, отсутствующие части изображений, непроработанный фон. Модифицированная модель порождает значительно более качественные изображения, включающие такие детали как блики на кузове, зеркала заднего вида, тени, фоновые объекты.

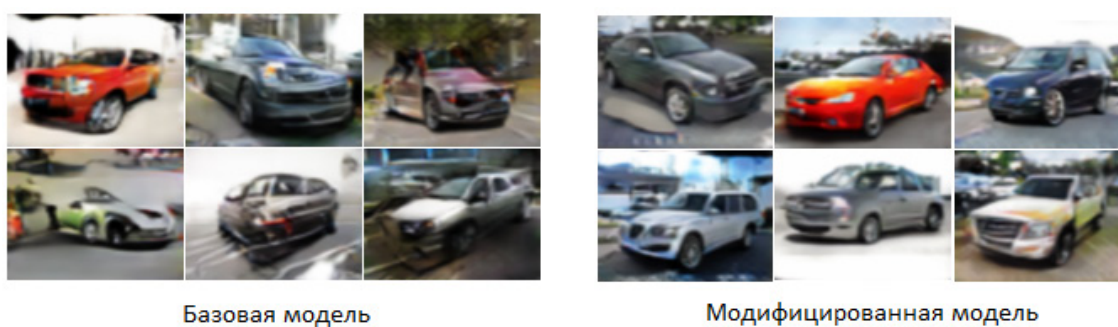


Рис. 4 – Примеры сгенерированных изображений

Также были проведены эксперименты с добавлением стеков из двух и более слоев межканального пулинга, однако их результаты показывают, что в данной задаче это не влияет на качество получаемых изображений и не улучшает значение метрики FID. Тем не менее, применение большего количества таких слоев может иметь смысл при генерации изображений с более высоким разрешением.

Выводы

Предложенный в данной статье метод добавления слоев межканального пулинга показал способность улучшать качество изображений, порождаемых генеративно-сопоставительной моделью. Продемонстрировано как визуальное улучшение качества генерируемых изображений, так и объективное улучшение метрики качества Frechet Inception Distance (FID) при применении данного метода. При этом значительный прирост качества может быть получен ценой относительно небольшого увеличения количества обучаемых параметров модели и времени, затраченного на ее обучение. Описываемая в данной статье модификация легко осуществима на практике и может быть использована в комбинации с другими известными методами улучшения и стабилизации обучения GAN.

Список литературы

1. *Ian Goodfellow et al.* Generative adversarial nets // Advances in Neural Information Processing Systems 27 (NIPS 2014), 2014. arXiv ID: 1406.2661.
2. *Radford A., Metz L., Chintala S.* Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks // International Conference on Learning Representations, 2016. arXiv ID: 1511.06434.
3. *Karnewar A., Wang O.* MSG-GAN: multi-scale gradients for generative adversarial networks // Computer Vision and Pattern Recognition Conference proceedings, 2020. arXiv ID: 1903.06048.
4. *Karras T. et al.* Analyzing and Improving the Image Quality of StyleGAN // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020. arXiv ID: 1912.04958.
5. *Liu B. et al.* Towards Faster and Stabilized GAN Training for High-fidelity Few-shot Image Synthesis // International Conference on Learning Representations, 2020. arXiv ID: 2101.04775.
6. *Lin M., Chen Q., Yan S.* Network in Network // International Conference on Learning Representations, 2014. arXiv ID: 1312.4400.
7. *Heusel M. et al.* GANs Trained by a Two Time-Scale Update Rule Converge to a Local Nash Equilibrium // Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, 2017. arXiv ID: 1706.08500.

2.3.5.

А.А. Голубничий, А.А. Голубничий

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

**РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СМЕНЫ
ФОРМАТА ДАННЫХ WIDE/LONG**

В статье приводится сравнение wide и long форматов для хранения и отображения данных. Описывается процесс создания программного продукта, используемого для быстрого преобразования данных из формата wide в формат long. Обосновывается выбор формата RDS для хранения данных. Описывается механизм преобразования данных и приводится итоговый рендеринг программного продукта, реализованного на языке программирования R при помощи технологии Shiny.

Ключевые слова: *прикладное программное обеспечение, подготовка данных, wide формат данных, long формат данных, Ирисы Фишера, язык R.*

Введение

Одной из самых сложных задач, возникающих в области работы с данными, является их подготовка для анализа. Наиболее частыми проблемами в подготовке данных выступают ошибочные и отсутствующие значения. Вопрос обработки такого рода данных решается на стадии первичного обзора данных в EDA [1]. При этом форматирование данных из wide в long формат может занимать продолжительное время, особенно для исследователей не знакомых с программированием и автоматизацией вычислений.

Обзор wide и long форматов данных

Для лучшего понимания отличия форматов рассмотрим данные построенные на основе классического датасета Ирисы Фишера [2]. Данные в wide и long форматах, содержащие сведения по средним значениям морфометрии трех сортов ирисов, приведены на рисунке 1.

Таблица с тремя сортами ирисов – щетинистый, разноцветный и виргинский, и их морфометрии по показателям длины и ширины лепестков и чашелистиков отформатирована таким образом, что каждая строка представляет собой данные об одном сорте, а морфометрический показатель соответствует столбцам таблицы, таким образом на пересечении этих двух показателей будет содержаться нужное значение. Данный формат является очень популярным с точки зрения, как сбора, так и финальной визуализации данных. Формат получил название «широкого» по причине того, что добавление новых значений увеличивает количество столбцов исходной таблицы, таким образом она изменяется в ширину. У данного формата есть явные преимущества и недостатки, ключевым преимуществом выступает то, что данные, представленные в таком виде, значительно проще на ввод, особенно когда возникает необходимость ручного добавления множества значений.

Long формат, напротив, предполагает при внесении новых данных увеличение количества строк, т.е. увеличение таблицы в длину, в итоге каждая запись соответствует новой строке. В данном формате каждый сорт ириса будет повторяться столько раз, сколько параметров морфометрии присутствует для данного исследования, таким образом, итоговая таблица будет содержать 12 строк (наблюдений), каждое из которых будет содержать по 3 признака (параметра), с учетом заголовка данный формат будет содержать 39 ячеек, в свою очередь те же данные в wide формате будут содержать 20 ячеек.

В области анализа данных, на первый взгляд, может показаться, что использование меньшего количества элементов должно способствовать более быстрому процессу их обработки, однако на самом деле программная реализация значительно проще в формате длинных данных.

Iris Species	Sepal.Length	Sepal.Width	Petal.Length	Petal.Width
Setosa	5.01	3.43	1.46	0.25
Versicolor	5.94	2.77	4.26	1.33
Virginica	6.59	2.97	5.55	2.03

Iris Species	Parameter	Average
Setosa	Sepal.Length	5.01
Setosa	Sepal.Width	3.43
Setosa	Petal.Length	1.46
Setosa	Petal.Width	0.25
Versicolor	Sepal.Length	5.94
Versicolor	Sepal.Width	2.77
Versicolor	Petal.Length	4.26
Versicolor	Petal.Width	1.33
Virginica	Sepal.Length	6.59
Virginica	Sepal.Width	2.97
Virginica	Petal.Length	5.55
Virginica	Petal.Width	2.03

Рис. 1 – Соответствие данных в форматах wide и long для набора данных Ирисы Фишера (таблица построена по средним значениям)

Long формат, как концепция tidy data

Данные long формата также называют «аккуратными данными» (tidy data), по мнению Хэдли Викхема – ведущего разработчика пакетов tidyverse, к аккуратным данным относятся данные, которые построены на следующих принципах:

- каждый столбец – это отдельная переменная;
- каждая строка представляет собой одно наблюдение;
- каждая ячейка представляет собой одно значение [3].

Данные в long формате удовлетворяют всем этим требованиям. Каждый столбец в данных long формата представляет собой переменную (отдельные показатели морфометрии ирисов). Каждая строка представляет одно наблюдение: среднее по показателю морфометрии для ириса соответствующего сорта. И каждая ячейка содержит одно значение.

Одним из явных преимуществ использования данных в формате long является потенциальное снижение количества данных, имеющих значения типа NA. Так, если бы в исследовании отсутствовали значения по одному из показателей морфометрии ирисов, то в формате wide возникла бы ситуация в которой на пересечении строки с сортом ириса и

столбца с показателем морфометрии пришлось бы фиксировать значение NA, в противоположность данному подходу, в формате long данных, данное значение может быть просто удалено из исходного датасета.

Программная реализация алгоритма

Для программной реализации алгоритма преобразования данных из формата wide в long использовался стек технологий включающий язык R [4], пакет shiny [5] и метапакет tidyverse [6]. С учетом того, что язык R является одним из основных инструментов анализа данных в современном мире, то он и послужил основой для построения стека технологий. Реализация графической части интерфейса программного продукта была выбрана на основе Shiny, по причине поддержки реактивного программирования, и возможности быстрой визуализации данных. Метапакет tidyverse используется как основной инструмент реализации логики программного продукта. Для реализации преобразования используется встроенная функция pivot_longer, настройка аргументов функции производится в Shiny-приложении. Итоговый рендеринг приложения приведен на рисунке 2.

WIDE/LONG

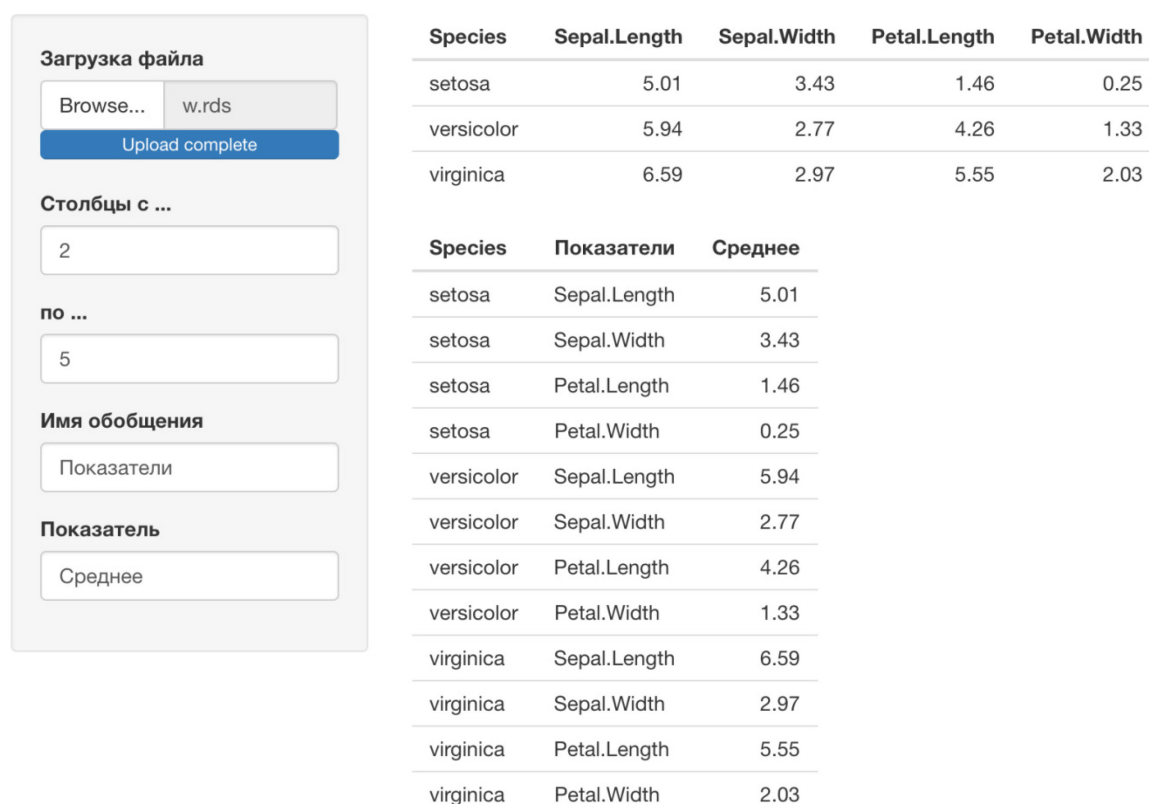


Рис. 2 – Итоговый рендеринг программного продукта для преобразования данных из формата wide в long

Стандартом в области хранения и передачи небольших объемов данных выступает формат CSV, однако, в случае работы на языке программирования R, более удачным, с точки зрения оптимизации, выступает формат RDS. Данный формат и был выбран в качестве стандарта для работы приложения. Для понимания преобразования данных значения прорисовываются на той же вкладке ниже. Как видно из рисунка 2 после обработки были получены значения аналогичные рисунку 1, что свидетельствует о корректности реализации алгоритма.

Заключение

Программный продукт предполагает быстрое преобразование данных из формата wide в формат long, данное действие в значительной степени ускоряет первичную обработку данных и может быть использовано на практике в любой предметной области. Интерактивный формат приложения позволяет отслеживать возможные ошибки в реализации алгоритма и исправлять их во время преобразования данных моментально.

Список литературы

1. Голубничий А.А. Разработка системы автоматизации разведочного анализа данных / А. А. Голубничий, А. Д. Яблонцева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 8. – С. 52-55.
2. Fisher R.A. The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems // Annals of Eugenics : journal. – 1936. – Vol. 7. – P. 179-188.
3. Wickham H. (2014). Tidy Data. Journal of Statistical Software, 59(10), 1–23.
4. R: The R Project for Statistical Computing [Электронный ресурс] URL: <https://www.r-project.org> (дата обращения 04.05.2022).
5. CRAN - Package shiny [Электронный ресурс] URL: <https://CRAN.R-project.org/package=shiny> (дата обращения: 04.05.2022).
6. CRAN - Package tidyverse [Электронный ресурс] URL: <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse> (дата обращения: 04.05.2022).

2.3.5.

Т.А. Деменкова канд. техн. наук, В.А. Ланцевский

МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru

МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ В ПРИЛОЖЕНИЯХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В работе рассматривается один из подходов к тестированию в приложениях информационных систем, имеющих отношение к разработкам в области бизнес-процессов. Выполнен анализ возможных решений в данной предметной области, предложен оригинальный алгоритм тестирования. Разработана методика тестирования бизнес-процессов, смоделированных в отечественном приложении информационной системы Fastkore Business.

Ключевые слова: информационная система, тестирование, бизнес-процесс, приложение, Fastkore Business.

Благодаря развитию информационных технологий многие производственные компании используют автоматизацию своих процессов с помощью информационных систем. Современный рынок информационных систем имеет большое количество различных IT-решений для управления компанией или процессами. Моделирование бизнес-процессов является неотъемлемой частью настройки и внедрения ERP и CRM систем. Несмотря на многофункциональность таких систем, тестирование смоделированного бизнес-процесса остается значительной проблемой. Главными целями при тестировании бизнес-процессов являются эффективность и отказоустойчивость смоделированного бизнес-процесса [1, 2].

В настоящее время существует большой ассортимент приложений, которые позволяют автоматизировать бизнес-процессы и не для всех таких приложений есть готовые решения для тестирования бизнес-процессов [3]. Чаще всего в тестировании участвуют ручные тестеры, которые хорошо знают приложение, в котором был разработан и смоделирован бизнес-процесс. В данной работе рассмотрим одно из таких приложений – Fastkore Business. Это отечественная система, позволяющая управлять процессами в компании. В Fastkore Business есть инструмент для моделирования бизнес-процессов каждого бизнес-компонента (рис.1 и 2).

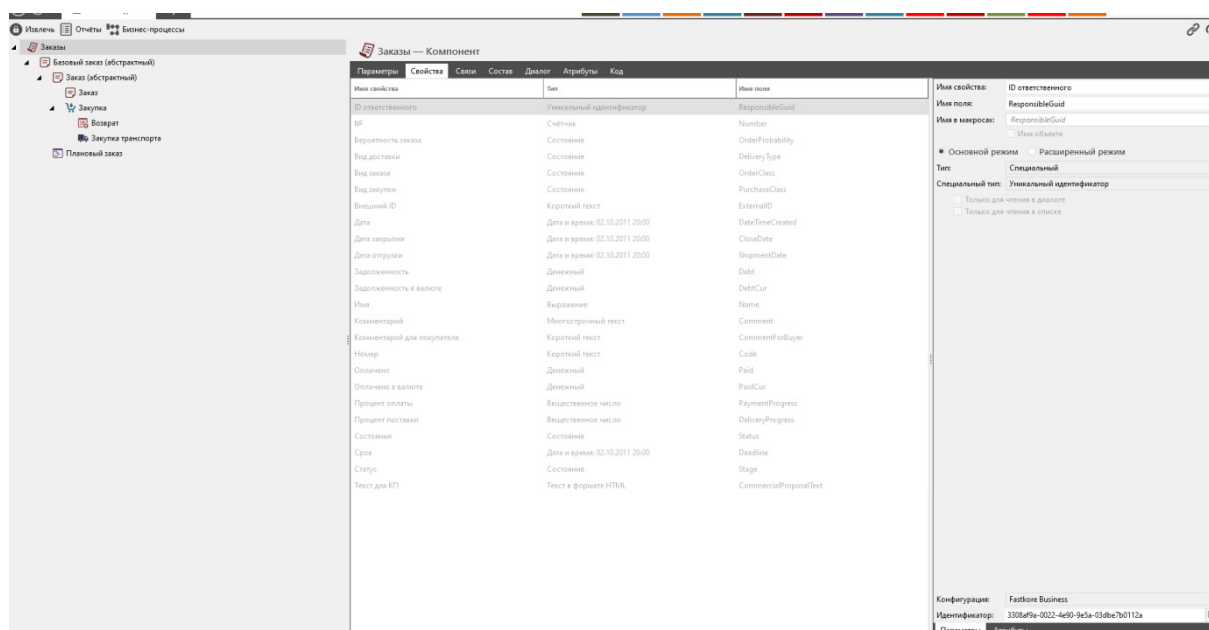


Рис. 1 – Бизнес-компонент «Заказы» в Fastkore Business

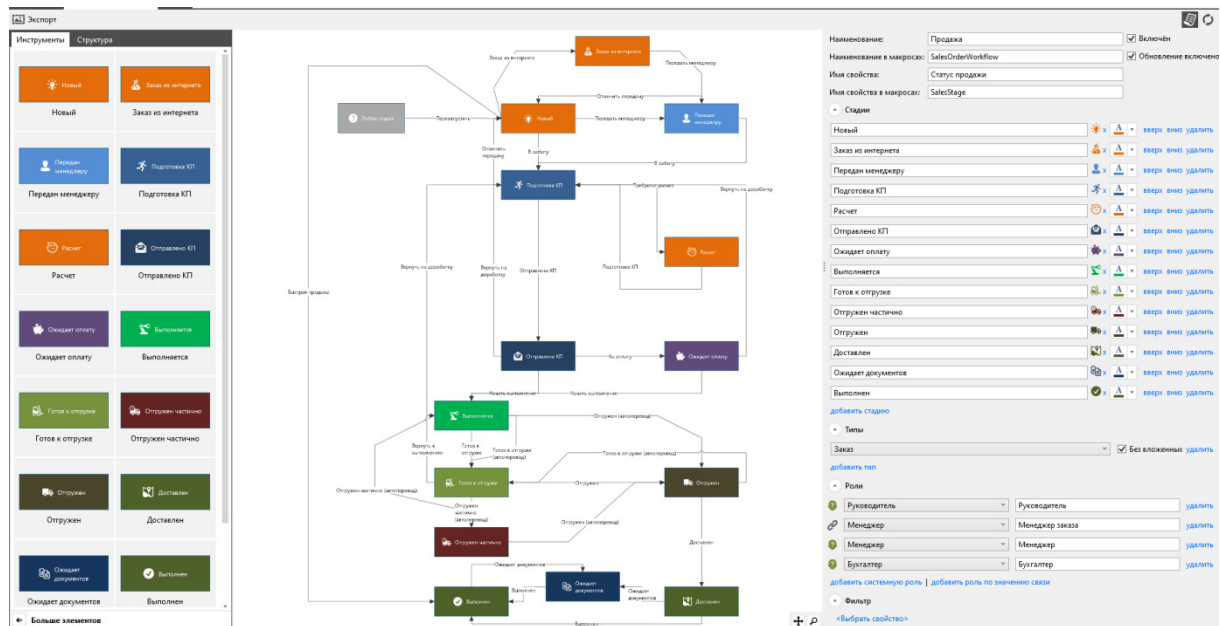


Рис. 2 – Редактор бизнес-процесса «Продажа» в Fastcore Business

Для тестирования разработанного процесса нужно определить:

- участников или их роли, непосредственно участвующих в процессе;
- сценарии исхода событий в системе;
- доступы для пользователей к каждому из свойств или связей сущностей компонентов, участвующих (напрямую или косвенно) в процессе;
 - доступы к системным командам («Создать», «Копировать», «Редактировать», «Удалить» и т. д.);
 - доступы к командам (команды-макросы, формирование печатных форм отчётов);
 - доступы к компонентам на каждой из стадий бизнес-процессов (возможность инициировать переходы по стадиям бизнес-процессов, редактирование объектов в определенных стадиях бизнес-процесса).

Следующим шагом в подготовке к тестированию является создание тестовых учетных записей с каждой из ролей участников бизнес-процесса. Для каждой учётной записи задаётся роль или набор ролей, логин и пароль для входа (рис.3).

Рис. 3 – Создание тестовых учётных записей

Важно, чтобы настройки доступов в системе опирались на роль учётной записи, а не на конкретную учётную запись, иначе результаты тестирования не будут соответствовать реальной картине происходящего.

После подготовки учётных записей можно приступать к тестированию. По каждому из возможных сценариев, создаются объекты таким образом, чтобы затронуть максимально большое количество настроенных доступов к командам, свойствам и связям. Например, создается объект заказа с различным набором позиций заказа (объектов компонента «Позиция сметы»). Позиции могут отличаться по типу объекта компонента «Номенклатура», который привязывается к позиции сметы:

- номенклатура, не требующая запуска в производство;
- номенклатура с типом «Услуга»;
- номенклатура с назначением «Шаблон»;
- номенклатура с привязанным технологическим процессом.

В зависимости от разновидности номенклатуры у позиций сметы система будет вести себя по-разному: будут создаваться или не создаваться производственные позиции; будут создаваться или не создаваться объекты компонента «Приход-Расход», которые влияют на значения остатков номенклатуры на складе; будет копироваться номенклатура из шаблона для создания уникального изделия или нет. Все эти вариации будут влиять на прохождение по бизнес-процессу объектом: соответственно, чем больше вариантов сценариев мы заложим в созданный для тестирования объект, тем меньше времени уйдет на тестирование. На рис.4 представлен процесс создания тестового объекта компонента «Заказы».

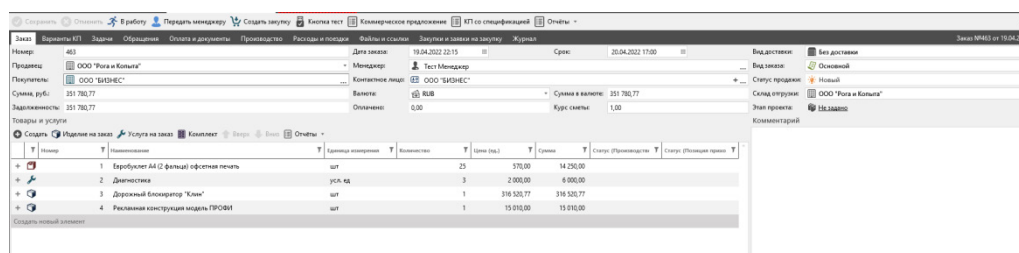


Рис. 4 – Создание тестового объекта компонента «Заказы»

В данном случае тестируется бизнес-процесс «Продажа», поэтому создание объекта компонента «Заказы» должно происходить из тестовой учётной записи с ролью менеджера.

При возникновении несоответствия результата с ожиданием от настройки проверяется проведенная разработчиком настройка. Для проверки нужно:

- зайти в плитку с настройками конфигурации;
- найти в списке компонент, в котором настроен доступ;
- найти саму настройку доступа;
- проверить настройку и исправить, после чего повторить действия, которые должны привести к желаемому результату.

Доступы, команды и условия в данной системе могут настраиваться макросами, которые пишутся на языке C#. В макросе используются имена объектов текущего контекста. Объекты напоминают по структуре классы со своими полями и наследователями. Проблема, которая возникает при отладке сложного макроса, это отсутствие в среде разработки встроенных в систему отладчика или консоли терминала. Поэтому для вывода какой-либо промежуточной информации используется встроенная функция записи в компонент «Журнал событий» (некий журнал логов, в который можно записать строки текста) или функция отображения формы, в которую также можно отобразить текст из макроса (рис. 5, 6, 7).



Рис. 5 – Пример макроса-условия для доступа к команде в компоненте «Заказы»

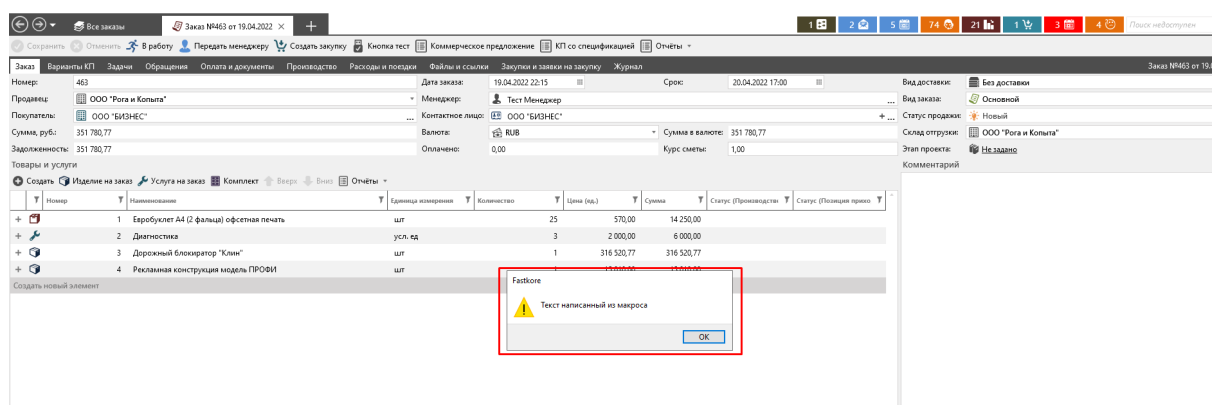


Рис. 6 – Пример вызова формы ошибки из макроса

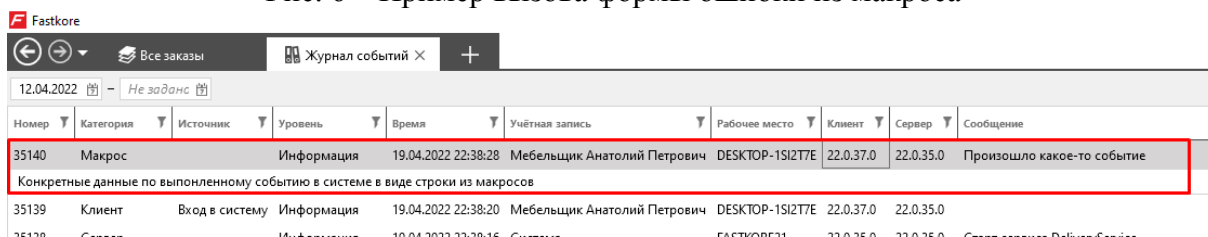


Рис. 7 – Создание записи в журнале событий с текстом из макроса

На основе проведенных исследований были решены поставленные задачи, связанные с разработкой методов тестирования, смоделированных в системе Fastkore Business. Результаты работы могут использоваться разработчиками, аналитиками и тестировщиками, использующими данную систему или схожую с ней по структуре, в части моделирования и тестирования, а также настройки доступов и условий в системе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации (проект №FSFZ-0706-2020-0022) и с применением оборудования Центра коллективного пользования РТУ МИРЭА (соглашение от 01.09.2021 № 075-15-2021-689, уникальный идентификационный номер 2296.61321X0010).

Список литературы

1. Современная российская ERP-система Fastkore. – URL: <https://fastkore.com/> (дата обращения 12.03.2022).
2. Козлов С.В., Суин И.А. О некоторых подходах математического описания и анализа многомерной структуры информационных систем // Системы компьютерной математики и их приложения. – №19, 2018. – С.177-182.
3. Золотухина Е.Б., Макарова Е.А., Беяков А.А. Обзор методов тестирования программного обеспечения// Аллея науки. 2018. Т. 4. № 6 (22). С.10-18.

2.3.5.

¹Д.А. Хвостов, ²В.Э. Шейн

¹Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
²Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
институт экономики и управления, кафедра экономики,
Абакан, daniil.xv@mail.ru, sheyn-v@mail.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА НАДЁЖНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

В работе представлены результаты разработки приложения для анализа надежности и прогнозирования отказов в телекоммуникационной системе. Разработанная система мониторинга состояния телекоммуникационного оборудования осуществляет функции вероятностного моделирования надежности и отказоустойчивости, а также формирует рекомендации по оперативным действиям для предупреждения аварийных ситуаций. Также описываются область применения программного продукта, его основные идеи и стек технологии.

Ключевые слова: *телекоммуникационная система, программный продукт, железнодорожный транспорт, анализ надежности и отказоустойчивости.*

Введение

Обеспечение безопасности перевозочного процесса является одной из самых приоритетных задач железнодорожного транспорта. Для мониторинга уровня безопасности существует ряд параметров, косвенно определяющих его значение. Современные компьютерные технологии позволяют не только вычислить значения этих параметров, но и оценить уровень безопасности при определенных значениях входных параметров системы.

Железнодорожная электросвязь является одной из функциональных подсистем инфраструктуры железнодорожного транспорта, объединяющая технические средства и сооружения связи, обеспечивающие передачу и приём информации, предназначенной для организации и выполнения технологических процессов железнодорожного транспорта.

Система поддержки принятия решений (далее – СППР) – это программный продукт, представленный в виде автоматизированной системы для помощи людям в оперативном принятии решений. Для этого СППР на основе входных данных строит математическую модель анализируемого объекта, на основе модели строит прогноз и предоставляет пользователю набор возможных решений.

В настоящей статье будет рассмотрен программный продукт, использующий СППР и специализирующийся на работе с различными сетевыми устройствами. Система поддержки принятия решений будет производить сбор информации с последующим формированием оценки системы. В случае нахождения отклонения от нормы или выявления аварийного состояния устройств телекоммуникационной сети, произойдёт звуковое оповещение персонала. Для сбора информации с телекоммуникационных устройств используется протокол SNMP, главным преимуществом которого является его унифицированность. В дальнейшем планируется использовать протоколы TELNET и SSH, которые также являются унифицированными, но в меньшей степени.

Стек технологий, используемый для реализации СППР

Для получения информации с конкретного устройства используется SNMP, который с помощью IP-адреса устройства телекоммуникационной сети и идентификаторов его свойств (далее – OIDs) получает информацию о ключевых параметрах устройства.

Для реализации программного продукта используется три языка программирования: Python, C#, SQL. Данную автоматизированную систему было решено разбить на три части: серверная, пользовательская и база данных.

В качестве основы для серверной части используется фреймворк Flask совместно с языком программирования Python. Сервер применяется для управления программой-опросником, который собирает всю информацию с устройств телекоммуникационной сети, формирует отчёт и добавляет его в базу данных.

PostgreSQL используется в качестве системы управления базой данных, в которой располагается четыре таблицы с описанием моделей устройств, телекоммуникационной системой в графовом виде, OIDs устройств, историей опросов.

Когда опрос завершается, программа формирует отчёт из полученных данных, представляя их в JSON формате. Этот формат удобен тем, что можно добавлять модификации и писать программы анализа данных фактически на любом существующем языке программирования.

Пользовательский интерфейс был разработан с использованием языка программирования C# и фреймворка Windows Forms. Данная часть программного продукта предназначена для отображения информации и оповещения пользователя о неисправности в системе либо об отклонении от нормы параметров устройства.

Создание программного продукта

В программном продукте используется графовое представление данных, что позволяет обходиться без полного перебора массивов устройств. Например, для поиска соседних вершин или же нахождения кратчайшего пути можно применить граф.

Под вершинами в данном случае понимается устройство или же комплекс устройств, который расположен в одном пункте. Ребром же является участок дороги между двумя вершинами.

Для моделирования ситуации используются математические модели, которые, в свою очередь, будут оценивать влияние неисправности на отдельные узлы и на систему в целом, находить их и определять вероятность отказов.

В пользовательском интерфейсе имеется разделение на режимы. По умолчанию программный продукт открывается, используя режим просмотр, при котором граф загружается из базы данных и отображается в окне. Для выбора и просмотра параметров конкретной вершины требуется нажать на неё левой кнопкой мыши. Выбранный объект подсвечивается для удобства жёлтым цветом. В правой части экрана в виде таблицы выводится информация о данном устройстве. Пример приведён на рисунке 1.

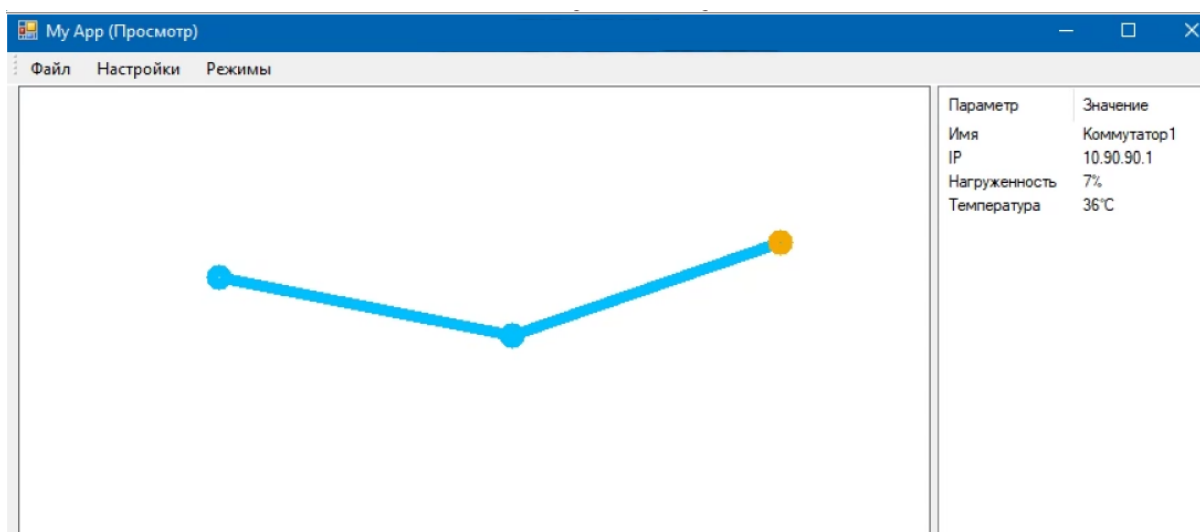


Рис. 1 – Программный продукт

Для удобного добавления устройств создано дополнительное окно, в котором можно задать различные параметры и указать OIDs. Пример представлен на рисунке 2.

Созданы специальные панели инструментов для добавления и удаления точек. Присутствует функция сохранения графа в XML формате, что позволяет перенести телекоммуникационную систему на другие устройства.

На панели присутствуют функции перемещения и масштабирования файла, что позволяет создать граф разных размерностей.

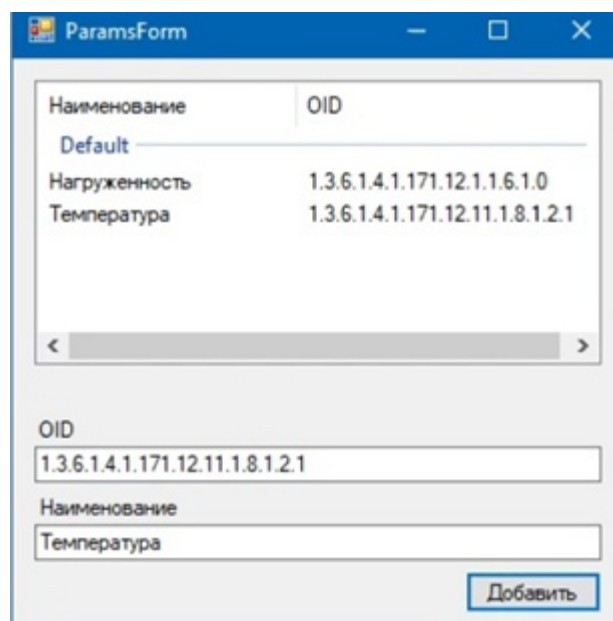


Рис. 2 – Панель добавления параметров

Экономический эффект от внедрения программного продукта

Положительный экономический эффект у пользователя программного продукта можно выразить в виде экономии трудовых, материальных и финансовых ресурсов, получаемой от:

- повышение производительности труда (например, уменьшение среднего времени на ликвидацию аварии и др.), что выражается в снижении трудоемкости по определению отказов в телекоммуникационной системе;
- повышения уровня обслуживания (сокращение времени на предотвращение и устранение инцидентов);
- улучшения показателей основной деятельности предприятия в результате использования программного продукта (сокращение численности сотрудников, повышение производительности труда, экономия ресурсов и т. д.).

Выводы

Таким образом, реализована программа для ЭВМ по динамическому анализу телекоммуникационного оборудования, сопровождающего функционирования железнодорожной системы. Программный продукт получает информацию необходимую для формирования вероятностной модели, на основе которой будут вырабатываться рекомендации по оперативному обслуживанию и замене узлов телекоммуникационной системы.

Список литературы

1. *Гринберг М.* Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python / пер. с англ. А. Н. Киселева. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 272 с.: ил.
2. *Стиллмен Эндрю, Грин Дженнифер.* Head First. Изучаем C#. 4-е изд. / Пер. с англ. Е. Матвеева. — СПб.: Питер, 2022. — 768 с.: ил. — (Серия «Head First O'Reilly»)
3. *Кригель Алекс, Трухнов Борис.* SQL. Библия пользователя, 2-е издание.: Пер. с англ. — М. : ООО “И.Д. Вильямс”, 2010. — 752 с. : ил. — Парал. тит. англ.
4. *Графовые алгоритмы.* Практическая реализация на платформах Apache Spark и Neo4j. / пер. с англ. В. С. Яценкова – М.: ДМК Пресс, 2020. – 258 с.

2.3.5.

С.Д. Шибайкин, Е.Г. Алексеев, Р.А. Жарков,
А.А. Аббакумов, Е.А. Аббакумова

Мордовский государственный университет им Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
Саранск, shibaikinsd@mail.ru, abbakumov_aa@mail.ru

ОЦЕНКА РАБОТЫ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА РЕЧИ

В статье рассматривается задача разработки системы синтеза русского языка на базе нейронных сетей и предлагаются методы оценки качества работы данной системы.

Ключевые слова: *синтез речи, частота ошибок слов, частота фонемных ошибок, нейронная сеть.*

Актуальность. Синтез речи уже сейчас применяется во многих областях науки и техники, так как это наиболее практичный и удобный способ представления информации. Существенные достижения в технологиях синтеза речи стали возможными благодаря увеличению производительности вычислительной техники, а также развитию математических методов и программных продуктов записи, исследования и обработки цифровой звуковой информации [1]. В работе рассматривается применение комплексной системы компьютерного озвучивания естественных языков TTS (Text-to-Speech) на основе нейронных сетей для русского языка. Исследуемая нейросетевая система состоит из рекуррентной сети прогнозирования признаков от последовательности к последовательности, сопоставляющая вложения характеристик с акустическими характеристиками, за которыми следует модифицированная модель WaveNet, действующая как вокодер для синтеза сигналов во временной области из предсказанных акустических характеристик.

Анализ существующих решений. В настоящее время в мире используются следующие нейронные системы TTS: Deep Voice 1, Deep Voice 2, Deep Voice 3, Tacotron, Tacotron 2, Char2Wav, Voiceloop и ClariNet. Deep Voice 1 и Deep Voice 2 сохраняют традиционный конвейер TTS, который имеет отдельные модели синтеза графемы в фонему, длительности фонемы, частоты и формы волны. Tacotron, Deep Voice 3 и Char2Wav используют основанные на механизме внимания (attention) модели Sequence-to-sequence. Эти модели зависят от традиционного вокодера или отдельно обученного нейронного вокодера для преобразования предсказанной спектрограммы в необработанный звук. ClariNet, основанный на Deep Voice 3, является первой нейронной архитектурой преобразования текста в волну для TTS. Tacotron (1, 2) принимает символы в качестве входных данных и создает кадры спектрограмм, которые затем преобразуются в осциллограммы.

В общем виде любая система синтеза речи работает в два этапа: анализ текста (преобразование текста в промежуточное представление), синтез формы сигнала (из промежуточного представления в форму сигнала).

Интерфейс TTS (от входного текста до лингвистической спецификации): обработка текста рассматривает текст как входные данные для синтезатора и переделывает любой "нестандартный" текст в правильный "лингвистический" текст. Он принимает произвольный текст и выполняет задачу классификации письменного сигнала по его семиотическому типу (естественный язык или другой), декодирования письменного сигнала в однозначное, структурированное представление и, в случае неестественного языка, вербализации этого представления для генерации слов. Задачи выполняемые на первом этапе: предварительная обработка, разделение (сплитирование) предложений, токенизация, анализ текста (семиотическая классификация, декодирование / синтаксический анализ, вербализация), разрешение омографа, синтаксический анализ, предсказание просодии.

Декодирование текста (поиск слов в тексте) - это процесс разрешения неоднозначности. Возьмите обозначенное предложение и определите наилучшую последовательность слов. Существует много типов лингвистической двусмысленности: словесная, грамматическая и семантическая идентичность. В TTS необходимо сосредоточиться только на двусмысленности, которая влияет на фактический синтезированный звук. Это относится к вопросительным и восклицательным предложениям, а также омонимам. При нормализации текста удаляются заглавные буквы, прописываются цифры, разделяются знаки препинания [2]. Система TTS должна распознавать сокращения, а затем их расширять до соответствующей фонемы. Для преобразования большинства их в слова можно использовать стандартные правила преобразования, хотя написание таких правил достаточно трудоемкое занятие. В качестве стандартного правила распознавания сокращений являются регулярные выражения (или их эквивалентные замены).

Предлагаемое решение. Рассматриваемая система синтеза речи состоит из рекуррентной сети прогнозирования признаков от последовательности к последовательности, которая отображает вложения символов на спектрограммы мелкомасштабного масштаба, за которыми следует модифицированная модель WaveNet, действующая как вокодер для синтеза сигналов во временной области из этих спектрограмм. Результирующая система синтезирует речь с просодией на уровне Tacotron и качеством звука на уровне WaveNet. Эта система может быть обучена непосредственно на основе данных, не полагаясь на сложную разработку функций, и обеспечивает современное качество звука, близкое к качеству естественной речи. Представление промежуточных объектов реализовано в виде низкоуровневого акустического представления: спектральных диаграмм малой частоты.

WaveNet – это авторегрессионная сеть, генерирующая распределение вероятностей следующей выборки с учетом некоторого сегмента предыдущих выборок. Целая последовательность выборок создается путем подачи ранее сгенерированных выборок обратно в модель. Образцы речи сжимаются в динамическом диапазоне с помощью преобразования по закону μ , а затем квантуются до 8 бит. Для передачи вербальной и просодической информации WaveNet зависит от лингвистических и/или акустических особенностей. Функции кондиционирования повышаются до требуемой частоты и подаются в базовую волновую сеть через сеть кондиционирования.

Одной из особенностей WaveNet является то, что она не зависит от характеристик применяемых данных и может создавать генеративную модель на основе данных. В случае речи можно избежать различных предположений, основанных на предварительных знаниях, специфичных для речи. WaveNet может даже улавливать характеристики неречевых звуков, таких как дыхание и движения рта, что свидетельствует о большей гибкости этой модели. Входными данными является текст, а выходными данными мел-спектрограмма, низкоуровневое представление, полученное с помощью быстрого преобразования Фурье к дискретному аудиосигналу. Полученные спектрограммы все еще нуждаются в нормализации путем сжатия динамического диапазона. Это позволяет уменьшить естественное соотношение между самым громким и самым тихим звуком на записи. На основе вышеупомянутых преобразований звук кодируется в мел-спектрограмму. Текст маркируется и превращается в последовательность целых чисел. Все тексты нормализованы. После предварительной обработки, мы получаем наборы числовых массивов числовых последовательностей и мел-спектрограммы.

Методы оценки синтезированной речи. Спектрография является объективным методом, с помощью которого производится определение важных акустических характеристик голоса, прежде всего частота и амплитуда его основного тона, обертонов, участков высокой и низкой певческих формант, определяющей качественные характеристики голоса.

Методы оценки точности преобразования графемы в фонему бывают субъективные и объективные. Первые больше подходят для оценки генеративных моделей, но они требуют значительных ресурсов и сталкиваются с проблемами надежности, достоверности и воспроизводимости результатов [3]. Наиболее известные методы субъективной оценки:

MOS, MUSHRA.

Методы объективной оценки заключается в основном в количественной оценке модели TTS и синтезированной речи. Различия между сгенерированными образцами и реальными образцами обычно используются для оценки модели. Однако эти оценочные показатели могут лишь в определенной степени отражать способность модели обрабатывать данные и не могут по-настоящему отражать качество сгенерированной речи.

Можно выделить следующие способы объективной оценки просодии и точности синтезированной речи – частота ошибок слов и частота ошибок высказывания. Другим широко используемым методом объективной оценки разницы является мел-кепстральные искажение (MCD).

Частота фонемных ошибок (PER) – это расстояние Левенштейна между предсказанными последовательностями фонем и эталонными последовательностями фонем, деленное на количество фонем в эталонном произношении. Расстояние редактирования (также известное как расстояние Левенштейна) – это минимальное количество вставок, удалений и замен, необходимых для преобразования одной последовательности в другую. В случае нескольких выборок произношения слова в справочных данных используется выборка, имеющая наименьшее расстояние до кандидата.

Частота ошибок слов (WER) – это процент слов, в которых предсказанная последовательность фонем точно не соответствует какому-либо эталонному произношению, количество ошибок слов делится на общее количество уникальных слов в эталоне.

Результаты. Набор данных для русского языка получен из ILSP (5,0 часов, 13 спикеров мужского и женского пола, 16000 Гц, 2154 высказывания). Он содержит различные виды шума (шум, дыхание, откашливание, редко неправильное произношение). Оценка результата работы рассматриваемой системы синтеза речи с помощью теста на прослушивание (MOS), проведенного 50 испытуемыми показала значение близкое к оценке оригинальных записей (таблица 1).

Таблица 1 – MOS оценка точности работы разработанной TTS

SST / Оценка	TTS	Оригинал
MOS	3.8	4

В качестве объективной оценки были рассмотрены WER, PER характеристики этого набора данных, полученные на системах распознавания речи (SST) Google, Sber, Silero, Tinkoff и Yandex (таблица 2).

Таблица 2 – Оценка точности работы разработанной TTS на базе SST

SST/Оценка	Google SST	Sber SST	Silero SST	Tinkoff SST	Yandex SST
WER, %	7	12	16	15	5
PER, %	10	15	18	17	8

В ходе работы с данной TTS необходимо было также определить механизмы выравнивания, внимания и встраивания символов в кодировщик, для улучшения качества синтезированной речи. Разработанная система TTS для русского языка показала возможность применения нейронных сетей не только для анализа текста на русском языке, но и для качественной генерации речи с очень естественной просодией [4]. Оценки WER и PER показали хорошие результаты синтеза речи и распознавания синтезированной речи в системах SST.

Список литературы

1. *Опарин И.П., Хитрова Ю.П., Киселев В.В., Таланов А.О.* Синтез естественной русской речи по тексту // *Инновации*. 2008. № 8(118). С. 109-112.
2. *Ермилов А.В.* Методы, алгоритмы и программы решения задач идентификации языка и диктора. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва, 2014. – 135 с.
3. *Потапова Р.К., Бобров Н.В.* Основные тренды в развитии междисциплинарной концепции «Анализ – Синтез – Анализ речи» // *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*. 2019. №7. С. 124-129.
4. *Сидоров Д.П., Шибайкин С.Д., Аббакумов А.А.* Применение методов машинного обучения для анализа текстов при формировании нормативно-справочной информации. // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2019. №11. С. 96-102.

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

2.3.6.

**Г.А. Гареева канд. педагог. наук, М.Р. Хамидуллин канд. эконом. наук,
И.В. Бубеков, В.С. Кольцов, Р. Артурззаман**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, bubiekov@gmail.com, gagareeva1977@mail.ru, nauka_prom@mail.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В данной статье описывается процесс разработки программы идентификации пользователя для того, чтобы разобраться, как работает система идентификации пользователя. Вся программа была реализована в интегрированной среде разработки Visual Studio на языке программирования C#. Функционал позволяет создать пользователя, установить логин, пароль и ввести свои данные. При попытке посмотреть данные нужно будет авторизоваться.

Ключевые слова: пароль, проверка паролей, проверка пользователей, защита информации, идентификация, аутентификация, авторизация, C#, Visual Studio, логин, просмотр данных пользователя.

В наше время количество киберпреступлений увеличивается, поэтому системы идентификации личности стали особенно актуальны. Каждый зарегистрированный в системе пользователь, хранит о себе какую-либо информацию. Информация может быть публичная и личная. Ее злоумышленник будет стараться получить всеми возможными способами, чтобы потом использовать в корыстных целях. Поэтому, например, данные кредитной карты, паспортные данные, личные переписки, требуют надежной защиты. Для этого и нужны системы идентификации пользователей. Они позволяют защитить личную информацию от недоброжелателей, при этом дают доступ самому пользователю.

Идентификация – это заявление о том, кем является пользователь. Как правило, для идентификации используется логин, но могут также использоваться имя пользователя, номер телефона, данные электронной почты и т. д. [1].

Аутентификация – это предоставление доказательств, что пользователь действительно является тем, кем идентифицировался. Для аутентификации используются пароли [3].

Авторизация – это проверка на то разрешен ли пользователю доступ к запрашиваемому ресурсу [3].

Пароли используются для надежной защиты физической информации, а также цифровых данных, которые могут храниться на жестких дисках, мобильных устройствах, на веб-сайтах [1].

Чтобы разобраться с тем, как работают средства для идентификации пользователя, необходимо перейти к программе. Войдя в Visual Studio, создается проект на C#. Название проекта password.

Для создания пользователя был организован класс «CreateUser». Под новым пользователем будут подразумеваться его личные данные (имя, фамилия, возраст), а также данные для его идентификации (логин, пароль). На рисунке 1 представлен код класс «CreateUser».

Для идентификации пользователя был создан класс «CheckUser». Данные, введенные с клавиатуры, будут сопоставляться с данными, введенными при создании, если данные совпадут, выведутся имя фамилия и возраст пользователя (рис.2).

За оформление программы при выводе в консоль отвечает класс «Front». Этот класс сделан для более удобного восприятия системы пользователем. На рисунке 3 представлен класс «Front».

```
class CreateUser
{
    ссылка: 1
    public string createUsersData()
    {
        //Ввод личных данных пользователя
        Console.WriteLine("Введите данные о себе");
        Console.WriteLine("Ваше Имя");
        string name = Console.ReadLine();
        Console.WriteLine("Ваша Фамилия");
        string surname = Console.ReadLine();
        Console.WriteLine("Ваш возраст");
        int age = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
        //Текст который будет выводиться при вводе логина и пароля
        string full = " Имя: " + name + ", Фамилия: "
            + surname + ", Возраст: " + Convert.ToString(age);
        return full;
    }
    ссылка: 1
    public string createLogin()
    {
        //Создание логина пользователя
        Console.WriteLine("Придумайте Логин");
        string login = Console.ReadLine();
        return login;
    }
    ссылка: 1
    public string createPassword()
    {
        //Создание пароля пользователя
        Console.WriteLine("Придумайте пароль");
        string password = Console.ReadLine();
        return password;
    }
}
```

Рис. 1 – Класс «CreateUser»

```
class UserCheck
{
    public string login;
    public string password;
    ссылка: 1
    public UserCheck(string login, string password)
    {
        this.login = login;
        this.password = password;
    }
    ссылка: 1
    public bool loginAndPasswordCheck(string loginCheck, string passwordCheck)
    {
        //Проверка логина и пароля пользователей
        CreateUser user = new CreateUser();
        if (loginCheck == login)
        {
            if (passwordCheck == password)
            {
                return true;
            }
            else
            {
                return false;
            }
        }
        else
        {
            return false;
        }
    }
    ссылка: 1
    public void userData(bool check, string fullName)
    {
        //Если логин и пароль совпадают вывод данных пользователя
        if (check == true)
        {
            Console.WriteLine("Ваши Данные");
            Console.WriteLine(fullName);
        }
        else
        {
            Console.WriteLine("Был введен неверный пароль либо логин");
        }
    }
}
```

Рис. 2 – Класс «CheckUser»

```
class Front
{
    ссылка: 1
    public static void frontProgram()
    {
        CreateUser create = new CreateUser();
        Console.WriteLine("Регистрация:");
        string log = create.createLogin();
        string pass = create.createPassword();
        string name = create.createUsersData();
        Console.WriteLine("Вы успешно зарегистрировались");
        Console.WriteLine("Теперь чтобы посмотреть данные о себе вы должны войти");
    L:
        Console.WriteLine("Желаете ли вы войти?(Да/Нет)");
        string enter = Console.ReadLine();
        if (enter == "Да" || enter == "да")
        {
            Console.WriteLine("Введите логин");
            string login = Console.ReadLine();
            Console.WriteLine("Введите пароль");
            string password = Console.ReadLine();
            UserCheck check = new(login, password);
            bool passCheck = check.loginAndPasswordCheck(log, pass);
            check.userData(passCheck, name);
            goto L;
        }
        if (enter == "Нет" || enter == "нет")
        {
            Console.WriteLine("Хорошо Всего доброго");
        }
        else
        {
            Console.WriteLine("Не понимаю ваш ответ");
            goto L;
        }
    }
}
```

Рис. 3 – Класс «Front»

Также нужна точка входа в программу, для этого используется класс «Program» с ссылкой на класс «Front». На рисунке 4 представлен класс Program.

```
class Program
{
    Ссылка: 0
    static void Main(string[] args)
    {
        new Front();
        Front.frontProgram();
    }
}
```

Рис. 4 -Класс «Program»

Теперь при запуске будет выведена консоль, в которой сначала надо будет создать пользователя введя его данные, логин и пароль - осуществить регистрацию, а затем, чтобы получить данные надо будет снова ввести логин и пароль - осуществить вход.

Вывод в консоль представлен на рисунке 5.

```
Регистрация:
Придумайте Логин
User1
Придумайте пароль
1234
Введите данные о себе
Ваше Имя
Имя
Ваша Фамилия
Фамилия
Ваш возраст
21
Вы успешно зарегистрировались
Теперь чтобы посмотреть данные о себе вы должны войти
Желаете ли вы войти?(Да/Нет)
Да
Введите логин
User1
Введите пароль
1234
Ваши Данные
Имя: Имя, Фамилия: Фамилия, Возраст: 21
```

Рис. 5 – Вывод в консоль

Естественно, возникает вопрос, с какой целью необходима какая-либо идентификация и аутентификация субъекта и объекта доступа при запросах на доступ к ресурсу. Ведь в любой системе защиты предполагается, что реализуется механизм идентификации и аутентификации пользователя при входе в систему. Результатом этого является однозначная идентификация пользователя, запускаемые им процессы наследуют этот идентификатор, т.е. именно от лица идентифицированного пользователя и обращаются к ресурсу, на чем и строится в своей основе разграничительная политика доступа к ресурсам [4].

В нашем случае идентификация осуществляется для доступа к личным данным пользователя, а именно его фамилии, имени и возраста. Если другой человек попытается получить доступ к этой информации, то у него ничего не получится, пока пользователь сам не передаст ему логин и пароль. Многие люди по незнанию, передают свои идентификационные данные в руки злоумышленников переходя по незнакомым ссылкам в интернете и используя одинаковые пароли на разных сервисах, вследствие чего могут передать вместе с этим также и свои личные данные [2].

В результате описанный процесс разработки программы идентификации пользователя, реализованной в интегрированной среде разработки Visual Studio на языке программирования C#, помогает понять, как работает система идентификации пользователя.

Список литературы

1. Молдовян Д.Н., Молдовян Н.А. Введение в теоретические основы криптосистем с открытым ключом - СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2016. - 68 с.
2. Гареева Г.А., Хамидуллин М.Р., Ибрагимов Д.А., Фазлуллин Л.Ф., Артурзаман Р. Разработка программы криптографического алгоритма RSA // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 1. – С. 94-96.
3. Принципы и тестовые сценарии для тестирования паролей // TestMatick URL: <https://testmatick.com/ru/osobennosti-testirovaniya-parolej/>
4. Идентификация и аутентификация // Информационная Безопасность URL: https://lib.itsec.ru/articles2/Inf_security/id-i-aut

2.3.6.

Л.Г. Гомбоев

Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
филиал Иркутского государственного университета путей сообщения,
факультет Управление и экономика на транспорте,
кафедра Прикладная механика и математика,
Чита, gombleon@mail.ru

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ КЕЙСА В ПРЕПОДАВАНИИ ИНФОРМАТИКИ

В статье представлен кейс по построению простейшей криптографической системы на эллиптической кривой. Выполнение задания призвано развить цифровые компетенции студентов вузов в области информационной безопасности.

Ключевые слова: *Эллиптическая кривая, поле, группа, базовая точка, публичный ключ, подпись, хэш.*

1. Введение

Цель работы заключается в развитии цифровых компетенций студентов вузов в области информационной безопасности посредством выполнения кейс-задания. Студенты разбиваются на пары. Один из них строит криптографическую систему, генерирует секретный ключ, вычисляет публичный ключ и подпись для хэша данных, а другой проверяет подлинность подписи по публичному ключу первого студента. Затем студенты меняются ролями.

В результате выполнения кейс-задания студенты будут:

знать определения поля, группы, эллиптической кривой, назначение эллиптической кривой, понятие базовой точки, ее порядка, эллиптический алгоритм шифрования сообщения, параметры, определяющие протокол биткойна, требования к параметрам шифрования, назначение и выбор секретного ключа, процедуру вычисления публичного ключа, назначение публичного ключа, понятие и назначение хэш-функции, понятие и назначение подписи, процедуру проверки подлинности подписи;

уметь строить простейшую эллиптическую кривую над конечным полем и соответствующую коммутативную группу, выбирать базовую точку, вычислять порядок базовой точки, выбирать секретный ключ, вычислять публичный ключ, проверять подлинность подписи;

владеть навыками построения простейшей эллиптической криптографической системы.

Выполнение задания призвано убедить студента в принципиальной возможности проверки подлинности подписи методом эллиптической криптографии.

Одними из мощных средств развития цифровых компетенций в области информационной безопасности являются кейс-технологии. Суть кейс-технологии заключается в усвоении знаний и формировании навыков посредством активной самостоятельной деятельности учащихся по разрешению противоречий, в результате чего и происходит творческое овладение профессиональными знаниями, навыками, умениями.

Нитин Нория (Nitin Nohria), бывший декан Гарвардской школы бизнеса, написал: «Гарвардская школа бизнеса стала пионером в использовании тематических кейсов в рамках обучения по программе менеджмента в 1921 году. ... Кейсы учат студентов применять теорию на практике и выводить теорию из практики. Метод анализа кейсов развивает способности к критическому анализу, здравому рассуждению и принятию решений, а также умение действовать» [1].

Использование эллиптических кривых для создания криптосистем было независимо друг от друга предложено Нилом Коблицем и Виктором Миллером в 1985 году [2, 3, 4].

Эллиптическая криптография определяется как «...раздел криптографии, который изучает асимметричные криптосистемы, основанные на эллиптических кривых над конечными полями» [5, с. 104].

«Фундаментальной частью биткойна являются криптографические алгоритмы. В частности, алгоритм ECDSA — Elliptic Curve Digital Signature Algorithm, который использует эллиптические кривые (elliptic curve) и конечные поля (finite field) для подписи данных, чтобы третья сторона могла подтвердить аутентичность подписи, исключив возможность её подделки. В ECDSA для подписи и верификации используются разные процедуры, состоящие из нескольких арифметических операций» [6].

2. Условие выполнения кейс-задания

Для реализации кейс-задания возможно использовать либо систему электронных таблиц, либо один из языков программирования, либо воспользоваться встроенными в параграф 6.6 калькуляторами электронного учебника по информатике ([7]).

3. Описание

3.1. Задачи

1. Изучить понятие конечного поля
2. Определить эллиптическую кривую над конечным полем.
3. Изучить алгоритм шифрования сообщений посредством эллиптической криптографии.

3.2. Задания кейса

Прежде всего, участники дают письменные ответы в эл на следующие задания:

1. Постройте конечное поле F_5 , в котором операции сложения и умножения выполняются по модулю 5.
2. Почему в качестве модуля конечного поля F_p требуется задать простое число?
3. Какие алгоритмы поиска простого числа можете перечислить?
4. Какие тесты проверки числа на простоту можете назвать?
5. Продемонстрируйте замкнутость конечного поля F_5 относительно операций сложения и умножения по модулю 5.
6. Как вычислить элемент, обратный к заданному элементу конечного поля по некоторому модулю?
7. Постройте эллиптическую кривую над конечным полем F_5 .
8. Чему равняется сумма двух точек эллиптической кривой над конечным полем F_p с равными абсциссами? Приведите примеры вычислений суммы точек с совпадающими абсциссами эллиптической кривой над конечным полем F_5 .
9. Вычислите удвоения каждой точки эллиптической кривой над конечным полем F_5 .
10. В каких случаях сумма двух точек эллиптической кривой над конечным полем будет равна бесконечно удаленной точке?
11. Вычислите для некоторой точки A эллиптической кривой над конечным полем F_5 скалярные произведения $3A$, $4A$, $5A$.
12. Для эллиптической кривой над конечным полем F_7 продемонстрируйте свойство замкнутости относительно операции сложения точек.
13. Теорема Пуанкаре утверждает, что эллиптическая кривая над конечным полем F_p , дополненная бесконечно удаленной точкой, образует коммутативную группу относительно операции сложения. Что это означает?
14. В эллиптической кривой над полем F_{59} подберите подходящую базовую точку для криптосистемы.
15. Как соотносятся порядок эллиптической кривой над конечным полем F_p и порядок базовой точки из этой эллиптической кривой?
16. Назовите алгоритм нахождения порядка эллиптической кривой.
17. Перечислите параметры, определяющие протокол Биткойна.
18. Каким требованиям должны отвечать параметры, определяющие протокол Биткойна?
19. Что обозначает аббревиатура (акроним) ECDSA?

20. Что обозначает аббревиатура secp256k1 ?
21. Как выбирается секретный ключ клиента Биткойна?
22. Как вычисляется публичный ключ клиента Биткойна?
23. Какие функции выполняет секретный ключ?
24. Для чего служит публичный ключ?
25. Кто создает подпись?
26. Какую функцию выполняет подпись клиента Биткойна?
27. Какие данные нужны для вычисления подписи?
28. Как вычисляется подпись клиента Биткойна?
29. Как проверяется подлинность подписи (достоверность данных)?
30. Что подписывают подписью?
31. Что такое хэш данных?
32. Можно ли вычислить данные по известному хэшу?
33. Какие каналы используются для передачи публичного ключа, подписи.
34. Какое отношение имеет эллиптическая криптография к протоколу биткойна?

3.3. Порядок выполнения заданий:

Студенты разбиваются на пары.

Действия первого студента:

1. Выбрать простое число p .
2. Вычислить эллиптическую кривую над конечным полем по модулю p .
3. Выбрать из эллиптической кривой базовую точку P .
4. Вычислить порядок q базовой точки P .
5. Выбрать в качестве секретного ключа простое число s из интервала от 1 до $q-1$.
6. Вычислить публичный ключ (g_x, g_y) .
7. Пусть для некоторых данных d посредством хэш-функции вычислили хэш z , равный, к примеру, 29. Вычислить подпись для хэша $z=29$.
8. Первый студент высылает второму либо истинную, либо неверную подпись. Второй студент проверяет подлинность подписи и заявляет результат проверки. Затем студенты меняются ролями и выполняют задание повторно.

4. Отчет о проделанной работе

Отчет в электронной форме студент высылает преподавателю.

4.1. Содержание отчета

1. ответы на вопросы;
2. выбор простого числа p ;
3. эллиптическая кривая над конечным полем по модулю p ;
4. базовая точка P ;
5. порядок q базовой точки;
6. секретный ключ s ;
7. публичный ключ g_x, g_y ;
8. хэш z ;
9. подпись для хэша;
10. результат проверки подлинности подписи;
11. вывод.

Далее преподаватель организует дискуссию, подводит итоги и оценивает вклад каждого студента в работу.

5. Выводы

Увеличение кейсов в практике российского образования в настоящее время является актуальной задачей. Практика использования кейсов в преподавании информатики наглядно демонстрирует, что включение кейсов в учебный процесс способствует развитию у студентов навыков исследовательской работы, позволяет оптимально сочетать теорию с практикой, способствует развитию умения анализировать проблему, выбирать из множества решений оптимальный вариант, планировать его осуществление.

Список литературы

1. <https://hbr-russia.ru/biznes-i-obshchestvo/nauka/chemu-na-samom-dele-uchat-keysy-v-garvardskoy-shkole-biznesa/>
2. *Koblitz N.A.* Course in number theory and cryptography — USA: Springer-Verlag, 1994. — 235 с.
3. *Miller V.* Use of elliptic curves in cryptography, Advances in cryptology---CRYPTO 85, Springer Lecture Notes in Computer Science vol 218, 1985.
4. *Jeffrey Hoffstein, Jill Pipher, Joseph H. Silverman.* An introduction to mathematical cryptography. — Springer, 2008. — 524 с. — (Undergraduate Texts in Mathematics). — ISBN 9780387779942.
5. *Ишмухаметов Ш.Т., Рубцова Р.Г.* Математические основы защиты информации: электронное учебное пособие / Казань, КФУ, 2012, 138 с.
6. <https://habr.com/ru/company/bitfury/blog/340378/>
7. https://zabizht.ru/book_inf/6_6.html

2.3.6.

А.А. Рычкова, А.Л. Коннов канд. техн. наук, Е.В. Бурькова канд. педагог. наук

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра вычислительной техники и защиты информации,
Оренбург, rmansy@yandex.ru, andrey_konnov@mail.ru, tulpan63@bk.ru

АНАЛИЗ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗАЩИЩЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

В работе представлен анализ скорости передачи конфиденциальных сообщений и пропускной способности криптографических методов защищенной передачи данных в распределенных системах при реализации современных криптографических алгоритмов.

Ключевые слова: *криптографические методы, защищенная передача, распределенные системы.*

При реализации методов защищенной передачи конфиденциальных данных в распределенной системе одним из ключевых показателей является скорость формирования закодированного сообщения на стороне отправителя и декодирования полученного сообщения на стороне получателя. Данный показатель определяется передачей больших массивов данных, при которых прослеживаются явные преимущества одних алгоритмов по сравнению с другими [1-3].

Скорость кодирования, для криптографических алгоритмов определяется скоростью шифрования информации и размером ключевой информации. При увеличении сеансовых ключей возрастает время передачи конфиденциального сообщения в открытой нераспределенной системе, что характеризуется ростом числа раундовых преобразований или повышением требований к вычислительным ресурсам. Уменьшение величины сеансовых ключей в свою очередь ведет к сокращению времени передачи конфиденциальных сообщений.

В качестве экспериментального определения времени передачи кодированных сообщений между пользователями будет произведена программная имитация защищенного канала, при котором пропускная способность сети считается максимальной. Для просмотра зависимостей скорости передачи от величины сеансовых ключей, будут использованы ключи идентичного размера для каждого метода защищенной передачи данных. В таблице 1 представлены результаты исследования скорости передачи конфиденциальных данных.

Таблица 1 – Анализ скорости передачи конфиденциальных сообщения

Размер ключа	Шифрование		
	Симметричное	Асимметричное	Бесключевое
56 бит	0,008 с	0,243 с	0,023 с
64 бит	0,010 с	0,422 с	0,056 с
80 бит	0,011 с	0,657 с	0,077 с
100 бит	0,013 с	0,919 с	0,089 с
128 бит	0,014 с	1,151 с	0,095 с

Проведенный анализ скорости передачи конфиденциальных сообщений показал, что метод «бесключевого» шифрования информации в значительной степени опережает асимметричные методы в отношении скорости передачи конфиденциальных данных, и лишь немного уступает симметричному алгоритму.

Важную роль, при оценке производительности алгоритмов шифрования информации играет размер блоков данных, на которые разбивается исходное сообщение в ходе преобразования данных. Данный показатель относится к блочным шифрам, скорость поточных шифров не зависит от данного показателя. При этом увеличение значения сеансового ключа напрямую влияет на увеличение размера блока данных. При организации защищенной передачи конфиденциальных данных в открытых распределенных информационно-вычислительных системах зачастую, необходимо выбирать между тремя взаимоисключающими требованиями: безопасностью, стоимостью и производительностью. На практике не составляет труда оптимизировать любые две из трех целей разработки. На рисунке 1 представлено отношение производительности алгоритмов шифрования информации к предоставляемой надежности.



Рис. 1 – Отношение производительность/надежность алгоритмов шифрования

Шифрование конфиденциальных данных при передаче в распределенных информационно-вычислительных системах представляет собой трудоемкий процесс, который может значительно снизить скорость передачи конфиденциальных данных, которое также требовательно к вычислительным ресурсам системы.

По результатам представленного анализа можно заметить, что при наличии ключей малого размера, целесообразно применение технологии «бесключевого» шифрования информации. При использовании данной технологии в значительной степени повышаются показатели надежности и производительности сокрытия конфиденциальных данных при передаче в открытых распределенных информационно вычислительных системах.

Количество тактов в защищенных методах передачи конфиденциальных данных выражается в ее пропускной способности. Защищенный канал передачи конфиденциальных данных имеет очень высокую защищенность, но в то же время и очень низкую пропускную способность. Выбор приоритетного алгоритма шифрования для защищенной системы передачи данных, работающей по реальным каналам связи с ошибками, не дает возможность оптимального повышения ее пропускной способности [2]. Анализ пропускной способности определяет насколько загруженной будет являться компьютерная сеть, при реализации шифрования передаваемых данных.

Симметричный алгоритм требует наличия центра сертификации, который содержит информацию обо всех возможных клиентах и мастер-ключей, которыми шифруются сеансовые ключи. Первая итерация передачи данных состоит из четырех этапов:

- 1 Клиентская машина посылает сгенерированный сеансовый ключ в зашифрованном виде, используя мастер-ключ предоставленный центром сертификации;
- 2 Серверная машина посылает запрос на получение мастер-ключа;
- 3 Центр сертификации отправляет мастер ключ на серверную машину;
- 4 Клиент передает зашифрованное сообщение на сервер.

Последующие операции будут состоять из передачи конфиденциального сообщения, при обновлении ключей процедура передачи состоит из первого и четвертого пункта, описанные выше.

При асимметричном шифровании не требуется наличие третьей стороны, при этом обмен сеансовыми ключами производится в открытой форме, полная процедура передачи информации при которой состоит из следующих этапов:

- 1 Одна из сторон отправляет запрос на передачу конфиденциальных данных;
- 2 Вторая сторона генерирует секретный и открытый сеансовый ключ и отправляет открытый ключ оппоненту;
- 3 Отправитель шифрует информацию по открытому ключу и отправляет ее на сторону получателя.

При отсутствии необходимости обновления сеансового ключа, процедура передачи конфиденциальных данных состоит из третьего пункта. Стоит отметить, что для реализации полноценного информационного обмена необходимо наличия пары сеансовых ключей (2 секретных и 2 открытых ключа), использование одного ключа позволяет передавать сообщения одного пользователя.

Метод «бесключевой» передачи конфиденциальных данных реализует механизм, при котором осуществляется замена сеансовых ключей на каждой итерации передаче информации. Процедура информационного обмена между пользователями при этом имеет следующие пункты:

- 1 Передача криптограммы C_1 , зашифрованная ключом K_1 ;
- 2 Передача криптограммы C_2 , зашифрованная ключом K_2 ;
- 3 Передача криптограммы C_3 , расшифрованная ключом K_1 .

Получение исходного сообщения осуществляется расшифровыванием криптограммы C_3 ключом K_2 . Передача остальных сообщений содержит все пункты описанные выше.

При соблюдении основных условий, которые необходимы для обеспечения требуемого уровня безопасности, справедлив анализ пропорциональности количества тактов шифрования информации, представленный в таблице 2.

Таблица 2 – Анализ пропускной способности методов защищенной передачи конфиденциальных данных

Количество сообщений	Шифрование		
	Симметричное	Асимметричное	Бесключевое
1	4	3	3
5	10	11	15
10	20	22	30
20	37	44	60
50	100	110	150

Представленные результаты демонстрируют ситуацию, при которой реализуется система передачи данных с высоким уровнем информационной безопасности. При этом стоит отметить, что симметричное и асимметричное шифрование организовывало обновление сеансовых ключей для каждого второго сообщения, в то время как «бесключевой» метод передачи формировал ключи для каждого отдельного сообщения. В связи с этим, при использовании «бесключевого» метода передачи информации пропускная способность информационно-вычислительной сети незначительно снизится, обеспечивая высокий уровень защищенности передаваемых данных.

Список литературы

1. Метод внутренней алгоритмизации процесса передачи защищенных данных по телекоммуникационным каналам связи / А.Н. Султанова, В.И. Петренко, В.А. Шарыпова Информатизация в цифровой экономике. 2020. Т. 1. № 2. С. 67-74.
2. *Бабенко Л.К.* Реализация и исследование безопасного криптографического протокола защищенной передачи данных для системы электронного голосования на основе множественного бросания бюллетеней / Бабенко Л.К., Писарев И.А.// Современные компьютерные технологии. Институт компьютерных технологий и информационной безопасности. 2020. С. 71-77.
3. *Усманов Р.И.* Метод «бесключевого» шифрования для защищенной передачи данных в распределенных системах на основе клиент-серверной технологии / Р.И. Усманов, А.А. Рычкова – Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. – С. 103-108.
4. *Шевченко Д.Н.* Методика тестирования и использования генераторов псевдослучайных последовательностей / Д.Н. Шевченко, С.В. Кривенков // Проблемы физики и математики – 2014 – №2 – С.89-95.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, А.В. Репина, Э.И. Галеева,
А.А. Иванова, Р.Х. Шагимуллин
ИНГИБИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАРАФИНООТЛОЖЕНИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИОКОЛОВЫХ ГЕРМЕТИКОВ

Ключевые слова: тиоколовые герметики,
нефтедобыча, полимерные комплексы.

В работе приводятся экспериментальные данные по свойствам промышленных тиоколовых герметиков (ТСО), которые использовались для процессов ингибирования внутренних поверхностей труб при нефтедобыче. Определены эффективные рецептуры герметиков, которые использовались в промышленных условиях при добыче нефти в северных регионах страны Волжско-Камской нефтегазоносной провинции.

Н.В. Андреянов, А.А. Габидуллина,
В.С. Покровский, А.Д. Павлов
АНАЛИЗ СТЕНДА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕТОДОВ
ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЛУЧЕННОЙ МОДЕЛИ НА ГЛУБОКИХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты,
компьютерное зрение, нейронные сети, бортовые системы.

В работе представлен анализ стенда для обнаружения и распознавания объектов на изображении. Представлена сеть DetectNet с примером обучения и результатами. Проведено тестирование полученной модели на мобильном компьютере с использованием CPU и GPU. Описаны выводы.

А.А. Асадова, А.А. Денисюк, М.Н. Пиганов
РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ
НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Ключевые слова: прогнозирование, математическая модель,
электронная компонентная база, исследование моделей.

Рассмотрены вопросы индивидуального прогнозирования надежности электронной компонентной базы (ЭКБ) бортовой аппаратуры. Для прогнозирования были разработаны прогнозные математические модели элементов. При построении моделей использовали методы теории распознавания образов. Построены поля корреляции, проведено исследование математических моделей. Установлено, что предложенные модели обеспечивают высокую эффективность прогнозирования (вероятность ошибочных решений $P_o \leq 0,08$). На основе экспериментальных исследований ЭКБ подтверждено, что метод дискриминантных функций эффективен в тех случаях, когда классы элементов не имеют взаимопересечений.

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, К.Ю. Панькин
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ
РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор, источник тока, прямой ток, прямое напряжение, сопротивление шунта, источник питания, мощность потерь, MOSFET, моделирование. В статье представлены результаты исследования режимов работы управляемого источника тока для испытания силовых полупроводниковых приборов на ток 10 А. Источник тока реализован на операционном усилителе и MOSFET. Результаты исследования получены на основе моделирования с использованием программной среды Multisim. Определены значения сопротивления шунта в цепи обратной связи и напряжения питания, при которых достигаются минимальные потери в элементах силовой цепи.

О.А. Васильева, Г.А. Филиппов
О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: производство,
строительные материалы, математическая модель.

V.S. Minkin, A.V. Repina, E.I. Galeeva,
A.A. Ivanova, R.Kh. Shagimullin
INHIBITION OF PARAFFIN DEPOSITION
PROCESSES USING THIOCOL SEALANTS

Keywords: thiocol sealants, oil production, polymer complexes. The paper presents experimental data on the properties of industrial thiocol sealants (TSO), which were used for the processes of inhibiting the inner surfaces of pipes during oil production. Effective formulations of sealants that were used in industrial conditions during oil production in the northern regions of the Volga-Kama oil and gas province have been determined.

N.V. Andreyanov, A.A. Gabidullina,
V.S. Pokrovsky, A.D. Pavlov
ANALYSIS OF THE ON-BOARD SYSTEM BENCH
FOR DETECTION METHODS BASED
ON DEEP NEURAL NETWORKS.

Keywords: unmanned aerial vehicles,
computer vision, neural networks, onboard systems. The paper presents an analysis of the stand for the detection and recognition of objects in the image. The DetectNet network is presented with training example and results. The obtained model was tested on a mobile computer using CPU and GPU. The conclusions are described.

A.A. Asadova, A.A. Denisyuk, M.N. Piganov
DEVELOPMENT FORECASTING MODELS RELIABILITY
EVALUATION OF ELECTRONIC COMPONENTS

Keywords: forecasting, mathematical model,
electronic component base, model research. The issues of individual forecasting of the reliability of the electronic component base (ECB) of on-board equipment are considered. For forecasting, predictive mathematical models of elements were developed. When constructing models, methods of pattern recognition theory were used. Correlation fields are built, mathematical models are studied. It has been established that the proposed models provide high forecasting efficiency (probability of erroneous decisions $P_o \leq 0,08$). On the basis of ECB experimental studies, it was confirmed that the method of discriminant functions is effective in cases where element classes do not have interpenetrations.

N.N. Bespalov, Yu.V. Goryachkin, K.Yu. Pankin
MODELING AND INVESTIGATION OF CURRENT
SOURCE OPERATION MODES FOR TESTING
SEMICONDUCTOR DEVICES

Keywords: power semiconductor device,
current source, direct current, forward voltage, shunt resistance, power supply, power loss, MOSFET, simulation. The article presents the results of a study of the operating modes of a controlled current source for testing power semiconductor devices for a current of 10 A. The current source is implemented on an operational amplifier and MOSFET. The results of the study were obtained on the basis of simulation using the Multisim software environment. The shunt resistance values in the feedback circuit and the supply voltage are determined, at which the minimum losses in the power circuit elements are achieved.

O.A. Vasil'eva, G.A. Filippov
SIMULATION OF THE PRODUCTION PROCESS OF
BUILDING MATERIALS

Keywords: production,
building materials, mathematical model.

В работе рассмотрен процесс производства строительных материалов, основанный на автокаталитической реакции двух реагентов, проводимой в конечном цилиндре. Приведена математическая модель рассматриваемого процесса. Математическая модель представляет собой начально-краевую задачу для системы двух нелинейных уравнений в частных производных второго порядка. Доказано, что решение задачи удовлетворяет закону сохранения массы. Проведено численное исследование математической модели, делаются выводы о применимости изучаемой модели.

А.А. Габидуллина, Н.В. Андреянов,
В.С. Покровский, А.Д. Павлов

ПРОКЛАДКА МАРШРУТА ГАЗОПРОВОДОВ ДЛЯ УЧЕТА ОБЪЕКТОВ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОММИВОЯЖЕРА

Ключевые слова: точка подключения, управление заявками, технические условия, коммивояжер, прокладка газопровода.

При рассмотрении актуальности проблем предприятий газового хозяйства, была выделена проблема построения оптимального маршрута прокладки газопровода низкого давления до новых конечных потребителей. Данная статья рассматривает решение задачи оптимальной прокладки газопровода низкого давления с использованием задачи коммивояжера методом ветвей и границ, использующий как входные данные географические точки, поданных заявок на выдачу технических условий.

А.Ф. Галимянов, А.И. Галимянова, Нгуен Тиен Дык
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ И ИНТЕГРАЛОВ
ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ И
АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ

Ключевые слова: Интегралы дробного порядка, интегральные уравнения, уравнению Абеля, интеграл Римана-Лиувилля, нейронной сети с прямой связью, линейная функция активации. В статье мы представляем решения для поиска решений для ИУГ. Также мы приводим несколько иллюстративных примеров для метода и сравниваем с результатами анализа. Мы описали общие определения и понятия, относящиеся к интегралам дробного порядка, дробному интегральному уравнению Грюнвальда – Летникова на конечном отрезке и интегральным уравнениям Грюнвальда – Летникова. Была рассмотрена трехслойная модель нейронной сети с прямой связью. Привели четыре примера, иллюстрирующих наши результаты. Программу написали на языке высокого уровня Python. Метод также иллюстрируется примерами и сравнивает результаты с результатами аналитического метода. В нашей статье мы доказали, что алгоритм ИНС имеет вычислительную эффективность и легкость для понимания.

А.Ф. Галимянов, А.И. Галимянова, Нгуен Тиен Дык
МЕТОД ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ С ДРОБНЫМ
ИНТЕГРАЛОМ ГРЮНВАЛЬДА-ЛЕТНИКОВА НА
КОНЕЧНОМ ИНТЕРВАЛЕ

Ключевые слова: Дробный интеграл Грюнвальда–Летникова; дробное интегральное уравнение Грюнвальда–Летникова; искусственная нейронная сеть; нейронная сеть с прямой связью.

В данной статье разработан метод, использующий искусственную нейронную сеть (ИНС) для приближенного нахождения решений дробного интегрального уравнения Грюнвальда–Летникова порядка α (ИУГ). В работе сначала оценивается неизвестная функция на основе нейронной сети с прямой связью, затем аппроксимирующая функция подставляется в функцию ошибки соответствующего ИГИ и сеть с минимальным количеством нейронов обучается для достижения желаемой точности. Приведены некоторые наглядные примеры, демонстрирующие точность и эффективность этого метода. Также было проведено

This paper presents a process for the production of building materials based on an autocatalytic reaction of two reagents carried out in the final cylinder. A mathematical model of the process under consideration is given. The mathematical model is an initial-boundary value problem for a system of two non-linear partial differential equations of the second order. It is proved that the solution of the problem satisfies the mass conservation law. A numerical study of the mathematical model has been carried out, conclusions are drawn about the applicability of the model under study.

A.A. Gabidullina, N.V. Andreyanov,
V.S. Pokrovsky, A.D. Pavlov

ROUTING GAS PIPELIN TO ACCOUNT FOR GAS INDUSTRY FACILITIES BASED ON THE TRAVELING SALESMAN METHOD

Keywords: connection point, bid management, technical conditions, salesman, gas pipeline installation.

When considering the relevance of the problems of gas enterprises, the problem of constructing the optimal route of laying a low-pressure gas pipeline to new end users was highlighted. This article considers the solution of the problem of optimal laying of a low-pressure gas pipeline using the problem of the traveling salesman by the method of branches and borders, using as input data the geodata of points, submitted applications for the issuance of technical specifications.

A.F. Galimyanov, A.I. Galimyanova, Nguyen Tien Duc
APPLICATION OF ARBITRARY DERIVATIVES AND
INTEGRALS TO MODEL FEEDFORWARD NEURAL
NETWORK AND FUNCTION APPROXIMATION USING
FEEDFORWARD NEURAL NETWORK

Keywords: Fractional integrals, integral equations, Abel equation, Riemann-Liouville integral, feedforward neural network, linear activation function.

In the article, we present solutions for finding solutions for IBM. We also provide several illustrative examples for the method and compare with the results of the analysis. We have described general definitions and concepts related to integrals of fractional order, the fractional Grunwald–Letnikov integral equation on a finite interval, and the Grunwald–Letnikov integral equations. A three-layer feed-forward neural network model was considered. Four examples were given to illustrate our results. The program was written in the high-level language Python. The method is also illustrated with examples and compares the results with those of the analytical method. In our article, we proved that the ANN algorithm is computationally efficient and easy to understand.

A.F. Galimyanov, A.I. Galimyanova, Nguyen Tien Duc
METHOD OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR
SOLVING AN INTEGRAL EQUATION WITH A
FRACTIONAL GRUNWALD-LETNIKOV INTEGRAL ON
A FINITE INTERVAL

Keywords: Fractional Grunwald–Letnikov integral; fractional integral Grunwald–Letnikov equation; artificial neural network; feedforward neural network.

In this article, a method has been developed that uses an artificial neural network (ANN) to approximately find solutions to the fractional integral Grunwald–Letnikov equation of order α (FIE). In the work, an unknown function is first estimated based on a feed-forward neural network, then the approximating function is substituted into the error function of the corresponding IGI, and the network with a minimum number of neurons is trained to achieve the desired accuracy. Some illustrative examples are given to demonstrate the accuracy and efficiency of this method. The present results were also compared with other available results using conventional methods.

сравнение настоящих результатов с другими доступными результатами с использованием обычных методов.

Х.М. Гукетлов, А.А. Дугулубгов, Б.А. Беканов, И.З. Сруков
К РАСЧЕТУ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ
С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СВЕТОВЫХ УСТРОЙСТВ В
УСЛОВИЯХ ЯСНОГО НЕБА МКО

Ключевые слова: метод расчета, математическая модель, естественное освещение, световой поток, ясное небо МКО, фонари, световые устройства, световой климат.

Разработан метод расчета естественного освещения помещений с различными типами световых устройств использование, которого позволит повысить точность количественной оценки светового режима помещения в годовом цикле, а также осуществить переход к дифференцированному учету светового климата.

В.О. Каледин, Е.В. Решетникова, А.Д. Ульянов
РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИНТЕГРАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ
АЛГОЗИТ И SALOME

Ключевые слова: визуализация результатов, импорт данных, твердотельное моделирование, функционально-объектная сеть. Предложены способы интеграции прикладных программ для расчетов в среде функционально-объектного программирования «Алгозит» со средствами твердотельного моделирования «Salome» и визуализации «ParaView». Рассмотрены способы преобразования входных и выходных данных расчетных программ в связи с популярными форматами представления структуры конечно-элементных моделей. Приводится реализация рассмотренных подходов с использованием комплекса функционально-объектного программирования «Алгозит».

Л.А. Кондратьева
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ЦИКЛОВ
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПЛОСКОСТИ

Ключевые слова: динамическая система, цикл, аналитическое приближение.

Предлагается итеративная процедура приближённого аналитического нахождения предельных циклов (замкнутых траекторий) двумерных систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Эффективность данного подхода демонстрируется на примерах систем Ван дер Поля, Лотки–Вольтерры и Брюсселятора. Приводится сравнение предлагаемого итеративного процесса с известным методом Поланда.

Ю.Г. Смирнов, И.В. Ивенина
ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ
ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДИКИ
РЕГЕНЕРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА В ЦИКЛЕ
ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ ВОД УСИНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ключевые слова: функция желательности Харрингтона, регенерация наночастиц магнетита, выбор методики.

Рассмотрен математический аппарат на основе обобщенной функции желательности Харрингтона для формирования интегральной оценки методики получения наночастиц магнетита. Использование указанного подхода позволило решить задачу выбора оптимальной методики регенерации магнитных наночастиц в технологической схеме очистки пластовых вод Усинского месторождения от нефтяного загрязнения.

А.И. Хайбуллина, А.Р. Хайруллин, В.К. Ильин, А.А. Синявин
ТЕПЛООБМЕН И ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
ПОРИСТЫХ СРЕД СГЕНЕРИРОВАННЫХ МЕТОДОМ
ДИАГРАММЫ ВОРОНОГО

Ключевые слова: диаграмма Вороного, пористая среда, теплообмен, численное моделирование.

В работе проведено численное моделирование теплообмена и гидродинамики в пористой среде. Построение трехмерной геометрии пористой среды основывалось на методе диаграммы

H.M. Guketlov, A.A. Dugulubgov, B.A. Bekanov, I.Z. Srukov
TO THE CALCULATION OF NATURAL LIGHTING
OF PREMISES WITH DIFFERENT TYPES OF LIGHTING
DEVICES UNDER CLEAR SKY CONDITIONS CIE

Key words: calculation method, mathematical model, natural lighting, luminous flux, clear sky CIE, lanterns, lighting devices, light climate.

A method has been developed for calculating the natural lighting of rooms with various types of lighting devices, the use of which will improve the accuracy of the quantitative assessment of the light regime of a room in the annual cycle, as well as make the transition to a differentiated accounting of the light climate.

V.O. Kaledin, E.V. Rechetnikova, A.D. Ulyanov
DEVELOPMENT OF INTEGRATION TOOLS FOR
APPLICATIONS ALGOZIT AND SALOME

Keywords: visualization of results, data import, solid modeling, functional-object network.

Methods for integrating application programs for calculations in the Algozit functional-object programming environment with Salome solid-state modeling and ParaView visualization tools are proposed. The methods of transformation of the input and output data of computational programs in connection with popular formats for representing the structure of finite element models are considered. The implementation of the considered approaches using the means of functional-object programming "Algozit" is given.

L.A. Kondratieva
ANALYTICAL APPROXIMATION OF CYCLES OF
DYNAMIC SYSTEMS ON THE PLANE

Keywords: dynamical system, limit cycle, analytical approximation.

An iterative procedure for the approximate analytical determination of limit cycles (closed trajectories) of two-dimensional systems of ordinary differential equations is proposed. The effectiveness of this approach is demonstrated by the examples of the Van der Pol, Lotka–Volterra and Brusselator systems. The proposed iterative process is compared with the well-known Poland method.

Yu.G. Smirnov, I.V. Ivenina
APPLICATION OF THE GENERALIZED DESIRABILITY
FUNCTION FOR METHOD SELECTION REGENERATION
OF MAGNETITE NANOPARTICLES IN THE FORMATION
WATER TREATMENT CYCLE OF USINSKY OILFIELD

Keywords: Harrington desirability function, regeneration of magnetite nanoparticles, choice of technique.

A mathematical apparatus based on the generalized Harrington desirability function for the formation of an integral estimate of the method for obtaining magnetite nanoparticles is considered. Using this approach allowed us to solve the problem of choosing the optimal method for the regeneration of magnetic nanoparticles in the technological scheme for treating formation waters from oil pollution.

A.I. Khaibullina, A.R. Khairullin, V.K. Ilyin, A.A. Sinyavin
HEAT TRANSFER AND HYDRAULIC RESISTANCE OF
POROUS MEDIA GENERATED BY THE VORONOI
DIAGRAM METHOD

Keywords: Voronoi diagram, porous media, heat transfer, numerical simulation.

In this paper numerical simulation of heat transfer and hydrodynamics in a porous medium was carried out. The construction of the three-dimensional geometry of a porous

Вороного. Численное исследование проводилось в программном продукте AnsysFluent. Полученные результаты согласуются с данными других авторов. Максимальной интенсивностью теплообмена во всем исследованном диапазоне обладает пористая среда с порозностью 0,743 и числом Рейнольдса 80. Минимальными гидравлическими потерями обладает пористая среда с PPI 10, порозностью 0,743 и числом Рейнольдса 10.

Е.Г. Царькова

МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Ключевые слова: система обеспечения безопасности, материально-техническое обеспечение, управляемая система массового обслуживания, схема Эйлера, оптимальное управление.

В работе на основе теории массового обслуживания строится математическая модель оптимального управления материально-техническими ресурсами системы обеспечения безопасности учреждений. Для рассматриваемой управляемой системы массового обслуживания выбран критерий оптимизации, введены фазовые ограничения и граничные условия, приведена постановка многокритериальной задачи оптимизации в форме задачи оптимального управления.

Н.С. Алексеев

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ ПАСПОРТОВ ВАРИАНТОВ

Ключевые слова: вариант, паспорт варианта, целочисленный вектор, группа классов вычетов.

Статья продолжает анализ проблемы формирования качественной последовательности вариантов учебных заданий, начатый в одной из предыдущих публикаций автора в этом журнале. Предлагается новый алгоритм генерации последовательности целочисленных векторов, являющихся паспортами вариантов. Показано, что генерируемые этим алгоритмом последовательности удовлетворяют всем сформулированным ранее критериям качества.

А.А. Асадова, А.А. Денисюк, М.Н. Пиганов СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

Ключевые слова: отказ, система, космический аппарат, анализ, разукрупнение, структурный метод.

Предложена методика анализа отказов оптико-электронной системы космических аппаратов. Она реализует структурный метод исследования. При этом проводится разукрупнение системы. Первым уровнем разукрупнения выбраны блоки. Вторым уровнем разукрупнения выбраны функциональные узлы, третьим – электронная компонентная база. Проведенный системный анализ не выявил отказов на уровне блоков. На уровне функциональных узлов выявлены отказы ячейки тракта обработки сигналов ТОС, которые вызваны дефектами монтажа микросхем. Проведенные дополнительные испытания не выявили новых отказов.

А.П. Буйносов, О.И. Тутынин,

А.С. Байтов, А.Т. Шарапов, С.А. Балычёв ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУБРИКАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, гребень, износ, снижение, лубрикация, использование, эффект.

Приводятся результаты сравнительного анализа эффективности использования гребнесмазывателей на электровозах ВЛ10 эксплуатационного депо Пенза Куйбышевской дирекции тяги с 2020 по 2021 гг. Показано, что применение лубрикации снижает износ гребней колесных пар до 2,26 раз.

medium was based on the Voronoi diagram method. The numerical study was carried out in the AnsysFluent software product. The results obtained are consistent with the data of other authors. A porous medium with a porosity of 0.743 and a Reynolds number of 80 has the maximum intensity of heat transfer in the entire studied range. A porous medium with a PPI of 10, a porosity of 0.743 and a Reynolds number of 10 has the minimum hydraulic losses.

E.G. Tsarkova

METHODS OF OPTIMAL RESOURCE MANAGEMENT IN THE CONSTRUCTION OF PROTECTED OBJECT PROTECTION SYSTEMS

Keywords: security system, logistics, managed queuing system, Euler scheme, optimal control.

In the work, based on the theory of queuing, a mathematical model of optimal management of material and technical resources of the security system of institutions is built. For the controlled queuing system under consideration, an optimization criterion is selected, phase constraints and boundary conditions are introduced, and a multi-criteria optimization problem is formulated in the form of an optimal control problem

N.S. Alekseyev

IMPROVED ALGORITHM FOR GENERATION OF PASSPORTS OF VARIANTS

Keywords: variant, variant passport, integer vector, group of residue classes.

The article continues the analysis of the problem of forming a qualitative sequence of variants of educational tasks, which was started in one of the author's previous publications in this journal. A new algorithm for generating a sequence of integer vectors, which are the passports of variants, is proposed. It is shown that the sequences generated by this algorithm satisfy all the quality criteria formulated earlier.

A.A. Asadova, A.A. Denisyuk, M.N. Piganov SYSTEM ANALYSIS OF KINDS AND CONSEQUENCES OF FAILURE OF ON-BOARD EQUIPMENT

Keywords: failure, system, spacecraft, analysis, disaggregation, structural method.

A technique for analyzing failures of the optical-electronic system of spacecraft is proposed. It implements a structural research method. At the same time, the system is disaggregated. Blocks are selected as the first level of disaggregation. Functional nodes are selected as the second level of disaggregation, and the electronic component base is the third. The system analysis carried out did not reveal failures at the block level. At the level of functional units, cell failures of the signal processing path (SPP) were revealed, which are caused by defects in the installation of microcircuits. The additional tests carried out did not reveal any new failures.

A.P. Buinosov, O.I. Tutynin,

A.S. Baitov, A.T. Sharapov, S.A. Balychev EFFICIENCY OF USE OF LUBRICATION FOR REDUCING WEAR OF TIRES OF WHEELS PAIRS OF LOCOMOTIVES

Keywords: locomotive, wheelset, bandage, comb, wear, reduction, lubrication, use, effect.

The results of a comparative analysis of the effectiveness of the use of flange lubricators on VL10 electric locomotives of the Penza operational depot of the Kuibyshev Traction Directorate from 2020 to 2021 are presented. It is shown that the use of lubrication reduces the wear of the flanges of wheel sets up to 2.26 times.

А.А. Голубничий, А.М. Благосмыслова
ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ
НА УРОВНЕ СЧИТЫВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ
(НА ПРИМЕРЕ MNIST)

Ключевые слова: прикладное программное обеспечение, подготовка данных, язык R, формат RDS, формат Parquet, MNIST, плоские файлы, табличные файлы, сериализация данных. В статье дается характеристика некоторых наиболее популярных форматов, используемых для хранения данных и организации вычислений в области анализа данных. На основе исходного датасета MNIST, содержащего сведения о рукописных начертаниях десятичных арабских цифр, были сгенерированы данные в форматах RDS и Parquet, а также произведены расчеты по скорости манипулирования исходными файлами с использованием разных техник и технологий. Наилучшие показатели по скорости обработки были получены для данных в формате Parquet, также файл в данном формате занимал меньший объем памяти, в сравнении с CSV и RDS.

Д.С. Горбатенко
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО
ДВИЖЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, улично-дорожная сеть, специальная техника, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности. В статье рассматривается проблематика дорожно-транспортной аварийности при эксплуатации на улицах и автомобильных дорогах специальной техники. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий как с участием специальной техники, так и по вине лиц, управляющих специальной техникой. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике безопасности дорожного движения при эксплуатации специальной техники.

Д.В. Горбачев, М.В. Пискунова,
И.А. Щудро, В.В. Головков
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСЛАБЛЕНИЯ СИГНАЛА
В СИСТЕМЕ «ЗЕМЛЯ-ЛУНА»
С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ключевые слова: ослабление сигнала; спутниковая связь; радиолиния «Земля-Луна»; нейронная сеть; прогнозирование. В статье представлены результаты обучения нейронной сети для прогнозирования ослабления сигнала в свободном пространстве в радиолинии системы «Земля-Луна». Учитывается, что сигнал передается с спутника на геостационарной орбите до лунного спутника в точке либрации L1. Обучение нейросети проведено в платформах Loginom и Deductor.

А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова, В.П. Наумченко
СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЯЗЫКА
ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON ПРИ РАБОТЕ
С БАЗАМИ ДАННЫХ

Ключевые слова: язык программирования Python, базы данных, системы управления базами данных, язык запросов SQL, объектно-реляционное представление ORM. В статье рассматривается язык программирования Python и специфика его применения при работе с базами данных, приводится описание основных специализированных библиотек языка Python, предназначенных для работы с базами данных и указаны основные особенности использования этих библиотек. Также в статье рассмотрены способы организации взаимодействия языка Python со всеми наиболее используемыми системами управления базами данных.

А.В. Караванов, В.Н. Кириченко, Д.И. Ликсонова.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ЯДЕРНОЙ ФУНКЦИИ И
КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМЫТОСТИ ЯДРА НА ТОЧНОСТЬ
НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ РЕГРЕССИИ.

А.А. Golubnichiy, A.M. Blagosmyslova
OPTIMIZATION OF COMPUTATIONS AT THE LEVEL
OF READING AND STORING DATA
(ON THE EXAMPLE OF MNIST)

Keywords: application software, data preparation, R language, RDS format, Parquet format, MNIST, flat files, tabular files data serialization.

The article describes some of the most popular formats used to store data in the field of data analysis. Based on the original MNIST dataset containing information about handwritten decimal Arabic numerals, data was generated in RDS and Parquet formats and calculations were made for the speed of manipulating source files. The best performance in terms of processing speed was obtained for data in the Parquet format, and a file in this format occupied less memory compared to CSV and RDS.

D.S. Gorbatenko
ENSURING ROAD SAFETY DURING OPERATION
OF SPECIAL EQUIPMENT

Keywords: traffic safety, traffic accident, road network, special equipment, traffic violations, accident prevention.

The article deals with the problems of road traffic accidents during the operation of special equipment on the streets and highways. The analysis of the main reasons for the occurrence of road traffic accidents, both with the participation of special equipment, and through the fault of persons operating special equipment, was carried out. Proposed and theoretically substantiated measures for the prevention of road safety in the operation of special equipment.

D.V. Gorbachev, M.V. Piskunova,
I.A. Schudro, V.V. Golovkov
PREDICTION OF SIGNAL ATTENUATION IN THE
EARTH-MOON SYSTEM USING A NEURAL NETWORK
Keywords: signal attenuation; satellite communication; Earth-Moon radio line; neural network; forecasting.

The paper presents the results of training a neural network to predict signal attenuation in free space in the radio line of the Earth-Moon system. It is taken into account that the signal is transmitted from a satellite in geostationary orbit to a lunar satellite at the libration point L1. Neural network training was conducted in the Loginom and Deductor platforms.

A.G. Zhorniyak, T.A. Morozova, V.P. Naumchenko
THE SPECIFICS OF USING THE PYTHON
PROGRAMMING LANGUAGE IN WORKING WITH
DATABASES

Keywords: Python programming language, databases, database management systems, SQL query language, object-relational representation ORM.

The article discusses the Python programming language and the specifics of its use in working with databases. The description of the most popular specialized Python libraries designed to interact with databases is given, the main features of using these libraries are indicated. The article also discusses ways to organize the interaction of the Python language with all the most used database management systems.

A.V. Karavanov, V.N. Kirichenko, D.I. Liksonova
A RESEARCH OF THE INFLUENCE OF KERNEL
FUNCTION TYPE AND KERNEL FUZZINESS COEFFICIENT ON THE ACCURACY OF NON-PARAMETRIC

Ключевые слова: непараметрическая оценка функции регрессии, коэффициент размытости ядра, ядерная функция.

Исследуется влияние вида ядерной функции на точность непараметрической оценки функции регрессии. В ходе исследования были построены несколько моделей с разными ядерными функциями. Далее исследуется влияние коэффициента размытости ядра на точность непараметрической оценки функции регрессии. В ходе исследования были построены несколько моделей с разными коэффициентами размытости ядра.

М.Г. Руденко, М.М. Руденко
**ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ЛАГЕРЕЙ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ**

Ключевые слова: оптимизация, магистральные трубопроводы, строительство.

Организация работ по прокладке магистральных трубопроводов предусматривает потери времени на перемещение временного лагеря и на передвижение от лагеря к месту работы. Разработана математическая модель, позволяющая минимизировать потери времени за счет оптимального расположения передвижных временных лагерей при строительстве магистральных трубопроводов.

Е.С. Юдт, А.С. Папуловский,
С.С. Папуловский, А.А. Францкевич, А.П. Буйносов
**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ «ЭКИПАЖ-ТЯГОВЫЙ
ПРИВОД-ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ»**

Ключевые слова: локомотив, экипаж, привод, тяга, колесо, путь, параметры, расчет.

Приводится методика расчета регулирования передвижением тележек при движении локомотива в криволинейном участке пути с проскальзыванием колеса относительно рельса. При исполнении способа регулирования передвижением локомотива по криволинейному участку пути повышается долговечность пар колесных подвижного состава.

Д. Даххам, Н.Е. Кувшинов,
Л.М. Сарварова, С.В. Смирнов, Г.А. Морозов
**МОДЕЛЬ СВЧ-НАГРЕВА ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ
В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ЕЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И
ОБЕССОЛИВАНИЯ**

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия; концевой делитель фаз; СВЧ-нагрев; обезвоживание; обессоливание; математическая модель.

Обессоливание нефти - процесс удаления из продукции нефтяных скважин минеральных (в основном хлористых) солей. Последние содержатся в растворенном состоянии в пластовой воде, входящей в состав водонефтяной эмульсии, реже в самой нефти — незначительное количество солей в кристаллическом состоянии. В данной статье представлена модель процесса СВЧ-нагрева и разделения водонефтяных эмульсий (ВНЭ) в установке концевой делитель фаз (КДФ) с целью обессоливания нефти. Процесс протекает в трубопроводе КДФ при воздействии системой некогерентных источников ЭМП, распределенных вдоль него, который является основой экспериментальной установки.

Д. Даххам, Н.Е. Кувшинов,
Л.М. Сарварова, С.В. Смирнов, Г.А. Морозов
**СТЕНД ДЛЯ СВЧ-НАГРЕВА ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ
С ЦЕЛЬЮ ИХ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ**

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия; концевой делитель фаз; СВЧ-нагрев; обезвоживание; обессоливание; экспериментальный стенд, блок управления.

СВЧ-технологии с точки зрения отделения нефти от воды с параллельным обессоливанием и дальнейшего использования нефти в промышленных условиях и с точки зрения проведения текущего анализа количественного соотношения указанных частей в эмульсиях являются очень перспективными.

ESTIMATION OF THE REGRESSION FUNCTION.

Keywords: non-parametric estimation of the regression function, kernel coefficient of fuzziness, kernel function.

The effect of kernel function type on the accuracy of non-parametric regression function estimation is investigated. An experiment is conducted in which several models with different kernel functions were constructed. The effect of kernel fuzzy coefficient on the accuracy of non-parametric regression function estimation is investigated. An experiment is conducted in which several models with different kernel fuzzy coefficients were constructed.

М.Г. Руденко, М.М. Руденко
**OPTIMIZATION OF TEMPORARY CAMPS' LOCATION
DURING THE CONSTRUCTION OF MAIN PIPELINES**

Keywords: optimization, main pipelines, construction

The organization of main pipelines construction process entails risks of the loss of time due to the temporary camp moving and getting about from the camp to the work area. In order to minimize time losses there has been developed a mathematical model that allows locating mobile temporary camps during the main pipelines construction in the optimal way.

Е.С. Юдт, А.С. Папуловский,
С.С. Папуловский, А.А. Францкевич, А.П. Буйносов
**CALCULATION OF PARAMETERS "CREW-TRACTION
DRIVE-SUPERSTRUCTURE"**

Keywords: locomotive, crew, drive, traction, wheel, path, parameters, calculation.

A method for calculating the regulation of the movement of bogies when the locomotive moves in a curved section of the track with slippage of the wheel relative to the rail is given. When executing the method of regulating the movement of the locomotive along a curved section of the track, the durability of pairs of wheeled rolling stock increases.

Д. Даххам, Н.Е. Кувшинов,
Л.М. Сарварова, С.В. Смирнов, Г.А. Морозов
**MODEL OF MICROWAVE HEATING OF WATER-OIL
EMULSIONS IN THE INSTALLATION FOR ITS
DEHYDRATION AND DESALTING**

Keywords: water-oil emulsion; end phase divider; microwave heating; dehydration; desalination; mathematical model.

Oil desalination is the process of removing mineral (mainly chloride) salts from oil well production. The latter are contained in a dissolved state in the formation water, which is part of the water-oil emulsion, less often in the oil itself - a small amount of salts in the crystalline state. This article presents a model of the process of microwave heating and separation of water-oil emulsions in the installation of an end phase divider (EPD) for the purpose of oil desalination. The process proceeds in the EPD pipeline under the influence of a system of incoherent electro-magnetic field sources distributed along it, which is the basis of the experimental setup.

Д. Даххам, Н.Е. Кувшинов,
Л.М. Сарварова, С.В. Смирнов, Г.А. Морозов
**STAND FOR MICROWAVE HEATING OF WATER-OIL
EMULSIONS FOR THE PURPOSE OF THEIR
DEHYDRATION AND DESALTING**

Keywords: water-oil emulsion; end phase divider; microwave heating; dehydration; desalination; experimental stand, control unit.

Microwave technologies from the point of view of separating oil from water with parallel desalting and further use of oil in industrial conditions and from the point of view of conducting a current analysis of the quantitative ratio of these parts in

Технология основывается на воздействии СВЧ-излучения на водонефтяную эмульсию, которое позволяет быстро разрушать ее межмолекулярные связи в нефти, воде и солях. Основными преимуществами этих технологий являются сокращение времени переработки, снижение температурного режима процессов, уменьшение площадей (производственных), необходимых для функционирования такого оборудования, экологичность процесса. В статье рассмотрен проект стенда СВЧ-нагрева водонефтяных эмульсий с целью их обезвоживания и обессоливания, а также блока управления им.

В.А. Егоров, Ф.И. Дадашова
СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Ключевые слова: Фотоэлектрическая энергоустановка, слежение за солнцем, структура следящей системы, расчёт и моделирование.

Приведена программа, реализующая простой алгоритм слежения за Солнцем на основе формул небесной механики. Предложена нестандартная структурная организация контуров регулирования следящей системы. Выполнен расчёт и моделирование локального электропривода системы слежения за Солнцем.

В.А. Егоров, Г.В. Королёв
ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ключевые слова: Векторная система управления, асинхронный электродвигатель, структурная модель, виртуальная модель. Предложена виртуальная модель векторной системы управления индукционным электродвигателем переменного тока (АСИМ). Выполнен расчёт и моделирование векторной системы управления АСИМ с использованием структурной и виртуальной моделей. Показано, что структурная и виртуальная модели идентичны.

А.Н. Ивановский, А.А. Зинченко,
И.С. Горячев, И.В. Антипенко, П.А. Дараган
ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА
УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРИРОВАНИЯ СУДОВ

Ключевые слова: перспективы исследований, процесс управления, маневрирование судов.

В проведенных исследованиях установлены перспективы процесса управления маневрирования судном. Выполненный информационный поиск показал, что в обобщенном плане для теории и практики обеспечения навигационной безопасности главную роль играет процесс управления маневрированием.

В.О. Каледин, А.В. Рекунов, Ю.А. Рекунов
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СООСНЫХ
ЦИЛИНДРОВ ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АДДИТИВНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ

Ключевые слова: 3D-печать, соосные цилиндры, зазор, точность.

Рассматривается изготовление соосных вращающихся цилиндров (ротора и статора) с использованием аддитивной технологии – 3D-печати. Ограничение на точность размеров определяется необходимостью гарантированного минимального зазора, обеспечивающего отсутствие контакта между ротором и статором при упругих и температурных деформациях. Дается оценка необходимых номинальных диаметров ротора и статора с учётом разброса исполняемых размеров при 3D-печати.

А.С. Сизинцева, В.В. Бажеряну
АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Ключевые слова: повышение экономичности, кондиционирование, вентиляция, широтно-импульсная модуляция.

emulsions are very promising. The technology is based on the effect of microwave radiation on water-oil emulsion, which allows you to quickly destroy its intermolecular bonds in oil, water and salts. The main advantages of these technologies are the reduction of processing time, the reduction of the temperature regime of the processes, the reduction of the areas (production) required for the operation of such equipment, and the environmental friendliness of the process. The article considers the project of a stand for microwave heating of water-oil emulsions for the purpose of their dehydration and desalination, as well as a control unit for them.

V.A. Egorov, F.I. Dadashova
SUN TRACKING SYSTEM FOR
PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

Keywords: Photovoltaic power plant, sun tracking, servo system structure, calculation and modeling.

A program is presented that implements a simple algorithm for tracking the Sun based on the formulas of celestial mechanics. A non-standard structural organization of control loops of the servo system is proposed. The calculation and modeling of the local electric drive of the solar tracking system is performed.

V.A. Egorov, G.V. Korolev
VIRTUAL MODEL OF VECTOR CONTROL SYSTEM
FOR AC INDUCTION MOTOR

Keywords: Vector control system, ac induction motor, structural model, virtual model.

A virtual model of a vector control system for an AC induction motor (ACIM) is proposed. Calculation and modeling of ACIM vector control system using structural and virtual models is performed. It is shown that the structural and virtual models are identical.

A.N. Ivanovskiy, A.A. Zinchenko,
I.S. Gorychev, I.V. Antipenko, P.A. Daragan
PROSPECTS FOR RESEARCH ON THE PROCESS
OF SHIP MANEUVERING CONTROL

Keywords: research prospects, management process, ship maneuvering.

In the conducted studies, the prospects of the ship maneuvering control process have been established. The performed information search showed that in the generalized plan for the theory and practice of ensuring navigation safety, the maneuvering control process plays a major role.

V.O. Kaledin, Y.A. Rekunov, A.V. Rekunov
ENSURING THE ACCURACY OF THE
MANUFACTURING OF SOAXIAL CYLINDERS USING
AUTOMATED ADDITIVE TECHNOLOGY

Keywords: 3D printing, coaxial cylinders, clearance, accuracy. The article considers the manufacture of coaxial rotating cylinders (rotor and stator) using additive technology - 3D printing. The limitation on dimensional accuracy is determined by the need for a guaranteed minimum gap to ensure that there is no contact between the rotor and the stator during elastic and thermal deformations. An assessment is given of the required nominal diameters of the rotor and stator, taking into account the spread of sizes performed during 3D printing.

A.S. Sizintseva, V.V. Bazheryanu
ANALYSIS OF METHODS FOR AUTOMATED
CONTROL OF THE PERFORMANCE
OF AIR CONDITIONING AND VENTILATION SYSTEMS

Keywords: efficiency increase, air conditioning, ventilation, pulse-width modulation.

Approaches to increasing the efficiency of the process of

Рассмотрены подходы к повышению экономичности процесса автоматизированного регулирования производительности систем кондиционирования и вентиляции за счет применения широтно-импульсной модуляции.

А.О. Мантуров, И.А. Мантурова, Т.В. Данилова, Е.С. Смирнова
БЕСКОНТАКТНЫЙ СЕНСОР ДВИЖЕНИЯ
И ПРИСУТСТВИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-
АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ RTL-SDR

Ключевые слова: программно-определяемые радиосистемы, SDR, обнаружение присутствия и движения, сенсор, пассивная радиолокация.

Задача обнаружения присутствия и движения объектов требует решения в системах автоматического управления транспортными потоками, охраны периметра, в технологиях «умный дом». Представлены результаты экспериментальных исследований пассивного радиочастотного сенсора присутствия и движения, использующего концепцию SDR. Показано, что такой сенсор может быть эффективно реализован на основе программно-аппаратной платформы RTL-SDR.

А.С. Алексейчук
УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ГЕНЕРАТИВНО-
СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ СЛОЕВ
МЕЖКАНАЛЬНОГО ПУЛИНГА

Ключевые слова: нейронные сети, генеративно-состязательные сети, генерирование изображений, сверточные сети.

Статья посвящена методам улучшения и стабилизации генерирования изображений при помощи генеративно-состязательных сетей. Рассмотрены основные методы улучшения качества генерации. Предложен метод улучшения при помощи добавления слоев межканального пулинга с ядром размерностью 1×1 в сочетании с обратными сверточными слоями в генераторе. Продемонстрировано как визуальное улучшение качества генерируемых изображений, так и объективное улучшение метрики качества Frechet Inception Distance (FID) при применении данного метода.

А.А. Голубничий, А.А. Голубничий
РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СМЕНЫ ФОРМАТА
ДАННЫХ WIDE/LONG

Ключевые слова: прикладное программное обеспечение, подготовка данных, wide формат данных, long формат данных, Ирисы Фишера, язык R.

В статье приводится сравнение wide и long форматов для хранения и отображения данных. Описывается процесс создания программного продукта, используемого для быстрого преобразования данных из формата wide в формат long. Обосновывается выбор формата RDS для хранения данных. Описывается механизм преобразования данных и приводится итоговый рендеринг программного продукта, реализованного на языке программирования R при помощи технологии Shiny.

Т.А. Деменкова, В.А. Ланцевский
МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ В ПРИЛОЖЕНИЯХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: информационная система, тестирование, бизнес-процесс, приложение, Fastkore Business.

В работе рассматривается один из подходов к тестированию в приложениях информационных систем, имеющих отношение к разработкам в области бизнес-процессов. Выполнен анализ возможных решений в данной предметной области, предложен оригинальный алгоритм тестирования. Разработана методика тестирования бизнес-процессов, смоделированных в отечественном приложении информационной системы Fastkore Business.

automated regulation of the performance of air conditioning and ventilation systems through the use of pulse-width modulation are considered.

A.O. Manturov, I.A. Manturova, T.V. Danilova, E.S. Smirnova
REMOTE MOTION AND PRESENCE SENSOR BASED
ON RTL-SDR HARDWARE AND SOFTWARE PLATFORM

Keywords: software-defined radio systems, SDR, presence and motion detection, sensor, passive radar.

The problem of detecting the presence and movement of objects requires a solution in automatic traffic control systems, perimeter security, and smart home technologies. The results of experimental studies of a passive RF presence and motion sensor using the SDR concept are presented. It is shown that such a sensor can be effectively implemented on the basis of the RTL-SDR hardware and software platform.

A.S. Alekseychuk
IMPROVING THE PERFORMANCE OF GENERATIVE
ADVERSARIAL NETWORKS WITH CROSS CHANNEL
POOLING LAYERS

Keywords: neural networks, generative adversarial networks, image generating, convolutional neural networks.

The article is devoted to methods for improving and stabilizing image generation using generative adversarial networks. The main methods for improving the generation quality are considered. An improvement method is proposed by adding inter-channel pooling layers with a 1×1 kernel in combination with inverse convolutional layers in the generator. Both a visual improvement in the quality of generated images and an objective improvement in the Frechet Inception Distance (FID) quality metric are demonstrated.

A.A. Golubnichiy, A.A. Golubnichiy
DEVELOPMENT OF INTERACTIVE AUTOMATED
SYSTEM FOR WIDE/LONG DATA FORMAT CHANGE

Keywords: application software, data preparation, wide data format, long data format, Fisher's Irises, R language.

The article compares wide and long formats for storing and displaying data. The process of creating a software product used to quickly convert data from wide to long format is described. The choice of the RDS format for data storage is substantiated. The data conversion mechanism is described and the final rendering of the software product implemented in the R programming language using the Shiny technology is given.

Т.А. Деменкова, В.А. Ланцевский
TESTING METHODS IN INFORMATION SYSTEM
APPLICATIONS

Keywords: information system, testing, business process, application, Fastkore Business.

The paper considers one of the approaches to testing in information systems applications related to developments in the field of business processes. An analysis of possible solutions in this subject area is carried out, an original testing algorithm is proposed. A methodology for testing business processes modeled in the domestic application of the Fastkore Business information system has been developed.

Д.А. Хвостов, В.Э. Шейн
ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ И
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ В
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Ключевые слова: телекоммуникационная система, программный продукт, железнодорожный транспорт, анализ надежности и отказоустойчивости.

В работе представлены результаты разработки приложения для анализа надежности и прогнозирования отказов в телекоммуникационной системе. Разработанная система мониторинга состояния телекоммуникационного оборудования осуществляет функции вероятностного моделирования надежности и отказоустойчивости, а также формирует рекомендации по оперативным действиям для предупреждения аварийных ситуаций. Также описываются область применения программного продукта, его основные идеи и стек технологий.

С.Д. Шибайкин, Е.Г. Алексеев, Р.А. Жарков,
А.А. Аббакумов, Е.А. Аббакумова
ОЦЕНКА РАБОТЫ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА
РЕЧИ

Ключевые слова: синтез речи, частота ошибок слов, частота фонемных ошибок, нейронная сеть.

В статье рассматривается задача разработки системы синтеза русского языка на базе нейронных сетей и предлагаются методы оценки качества работы данной системы.

Г.А. Гареева, М.Р. Хамидуллин,
И.В. Бубек, В.С. Кольцов, Р. Артурзаман
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: пароль, проверка паролей, проверка пользователей, защита информации, идентификация, аутентификация, авторизация, C#, Visual Studio, логин, просмотр данных пользователя.

В данной статье описывается процесс разработки программы идентификации пользователя для того, чтобы разобраться, как работает система идентификации пользователя. Вся программа была реализована в интегрированной среде разработки Visual Studio на языке программирования C#. Функционал позволяет создать пользователя, установить логин, пароль и ввести свои данные. При попытке посмотреть данные нужно будет авторизоваться.

Л.Г. Гомбоев
ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ КЕЙСА В ПРЕПОДАВАНИИ
ИНФОРМАТИКИ

Ключевые слова: Эллиптическая кривая, поле, группа, базовая точка, публичный ключ, подпись. хэш.

В статье представлен кейс по построению простейшей криптографической системы на эллиптической кривой. Выполнение задания призвано развить цифровые компетенции студентов вузов в области информационной безопасности.

А.А. Рычкова, А.Л. Коннов, Е.В. Буркова
АНАЛИЗ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ЗАЩИЩЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: криптографические методы, защищенная передача, распределенные системы

В работе представлен анализ скорости передачи конфиденциальных сообщений и пропускной способности криптографических методов защищенной передачи данных в распределенных системах при реализации современных криптографических алгоритмов.

D.A. Khvostov, V.E. Sheyn
AN APPLICATION FOR RELIABILITY ANALYSIS
AND PREDICTION OF FAILURES
IN A TELECOMMUNICATIONS SYSTEM

Keywords: telecommunication system, software product, railway transport, reliability and fault tolerance analysis.

The paper presents the results of the development of an application for reliability analysis and prediction of failures in a telecommunications system. The developed system for monitoring the state of telecommunication equipment performs the functions of probabilistic modeling of reliability and fault tolerance, and also forms recommendations for operational actions to prevent emergencies. The scope of application of the software product, its main ideas and the technology stack are also described.

S.D. Shibaikin, E.G. Alekseev, R.A. Zharkov,
A.A. Abbakumov, E.A. Abbakumova
EVALUATION OF THE NEURAL NETWORK SPEECH
SYNTHESIS SYSTEM

Keywords: speech synthesis, word error rate, phonemic error rate, neural network.

The article considers the task of developing a Russian language synthesis system based on neural networks and suggests methods for evaluating the quality of this system.

G.A. Gareeva, M.R. Khamidullin,
I.V. Bubekov, V.S. Koltsov, R. Arturzzaman
DEVELOPMENT OF THE RSA CRYPTOGRAPHIC
ALGORITHM PROGRAM

Keywords: password, password checking, user verification, information protection, identification, authentication, authorization, C#, Visual Studio, login, viewing user data.

This article describes the process of developing a user authentication program in order to understand how user authentication works. The entire program was implemented in the Visual Studio integrated development environment in the C# programming language. The functionality allows you to create a user, set a login, password and enter your data. If you try to view the entered data, you will need to log in.

L.G. Gomboev
ABOUT THE EXPERIENCE OF USING CASE
TECHNOLOGY IN TEACHING COMPUTER SCIENCE

Keywords: Elliptic curve, field, group, base point, public key, signature. hash.

The article presents a case of building the simplest cryptographic system on an elliptic curve. The assignment is designed to develop the digital competencies of university students in the field of information security.

A.A. Richkova, A.L. Konnov, E.V. Burkova
ANALYSIS OF CRYPTOGRAPHIC METHODS FOR
SECURE DATA TRANSMISSION IN DISTRIBUTED
SYSTEMS

Keywords: personal data, security threats, security system, decision support system, game-theoretic method, functional model.

The paper presents an analysis of the rate of transmission of confidential messages and the throughput of cryptographic methods for secure data transmission in distributed systems when implementing modern cryptographic algorithms.

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**

№5 2022

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 25.05.2022 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 25.05.2022
9,8 усл.печ.л. 12,1 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 4090.

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»