

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№12 2021

Направления:

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

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

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

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

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

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

**Казань
2021**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №12 2021г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 264 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.ntvprt.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, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Минкин, М.Г. Кузнецов, Р.Х. Шагимуллин, В.В. Харьков, Г.Х. Гумерова</i>	
ПАРО-ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ	11
<i>К.Г. Николаев, Б.Н. Иванов, В.С. Минкин, Е.С. Воробьев, Р.Х. Шагимуллин</i>	
АЛГОРИТМ СОПРЯЖЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВНУТРИПЛАСТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕФТЕЙ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	14
05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Г.Э. Аминова, П.Е. Денисенко</i>	
ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ	23
<i>Г.Н. Власичев, Н.М. Махина</i>	
СТРАТЕГИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩАЯ ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ С ОТСРОЧКОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОБ ОКОНЧАНИИ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА	26
<i>Н.В. Ершов</i>	29
БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В ВУЗЕ	
<i>В.И. Курир</i>	
ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТУРБИН, ПОДВЕРЖЕННЫХ КАВИТАЦИИ	32
<i>Н.А. Максимов, Ю.Б. Склеймин</i>	
ОРИЕНТАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТЫ ВЫСОТ МЕСТНОСТИ	35
<i>Г.В. Меркишин, Б.М. Породин</i>	
УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПРЯМОЙ.	44
<i>И.С. Некрасов, В.С. Тынченко, Я.А. Тынченко, В.В. Бухтояров</i>	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА МЕТОДАМИ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	47
<i>Е.Е. Орехова, А.С. Пермковский</i>	
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МАССОГАБАРИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООБМЕННИКА 3-4 КОНТУРА РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ КЛТ-40	51
<i>И.С. Полякова, Ф.Г. Хисамов</i>	
САМОРЕГУЛИРУЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ В ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТАХ – ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	54
<i>К.В. Прокопьев, И.М. Кузьмина, М.А. Иванова, Т.И. Васильева</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРАНСКРИПЦИЙ МЕРОПРИЯТИЙ	57
<i>О.А. Рак, Д.А. Веденькин</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ РЛС В РОССИЙСКОЙ АРМИИ	62
<i>О.А. Рак, Д.А. Веденькин</i>	
МОДЕРНИЗАЦИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ФОТОНИКИ, РАДИОФОТОНИКИ И СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА	66
<i>С.А. Савелов, Г.Н. Власичев</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ	69
<i>Н.О. Сапоженков, А.А. Панфилов, А.В. Базанов</i>	
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА	72
<i>Н.О. Сапоженков, А.А. Панфилов, В.Д. Ильиных</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ	76
<i>А.М. Станкевич</i>	
ПРЕДПОСЫЛКИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ ЛЁТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ	80
<i>Д.А. Хвостов</i>	
НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА	83

<i>П.С. Шичёв, Ж.В. Овадыкова</i> ПОДХОД К КОРРЕКТИРОВКЕ ПРЕДЕЛОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО СПЕКТРАМ ТОКА ДВИГАТЕЛЯ	87
---	----

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

<i>Г.Э. Аминова, П.Е. Денисенко</i> ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА СОЕДИНЕНИЯ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЕТА	92
<i>Ю.А. Андросов, В.П. Гуляев, Н.П. Александров, С.М. Климов, И.П. Прохоров, В.В. Терентьева</i> ОБОСНОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАСТЕРСКИХ	96
<i>К.А. Башмур, А.А. Городов</i> АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОТАЦИОННЫМ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ	100
<i>М.А. Бирюков</i> СТРУКТУРА РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НЕЙРОИНТЕРФЕСА	103
<i>Ю.Ж. Дондоков, В.П. Друзьянова, О.О. Осмонов, А.П. Павлова, А.Ф. Степанова</i> РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК	107
<i>В.А. Качаева, К.А. Башмур, А.Н. Димов, В.В. Бухтояров</i> ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРИБОРОВ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ	110
<i>В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, Д.И. Рогачев</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ	114
<i>Е.С. Козин, Г.А. Софронов</i> ВНЕДРЕНИЕ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ	118
<i>Т.А. Парникова, А.В. Спиридонова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ БАЛАНСИРОВКИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРИ РЕМОНТЕ ДВИГАТЕЛЕЙ	122
<i>Н.В. Петров, И.И. Дмитриев, Ф.А. Скрыбыкин</i> РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УМП-350	124
<i>Н.В. Петров, Ф.А. Скрыбыкин, А.Н. Матвеев, М.Ю. Прокопьев</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ВПРЫСКА ВОДЫ В ЦИЛИНДР ДВИГАТЕЛЯ НА ЛЕГКОВОМ АВТОМОБИЛЕ «ТОУОТА ПРОВОХ»	128
<i>Н.О. Сапоженков, А.А. Панфилов, В.С. Петров</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ЗИМНИХ ШИПОВАННЫХ ШИН	132
<i>Л.А. Симонова, Д.Н. Демьянов, А.А. Капитонов</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ДВС НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	136
<i>С.В. Степанова, В.П. Друзьянова, О.М. Осмонов, Л.А. Аммосова, Л.Х. Абрамова</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЕПЛИЧНО-ПАРНИКОВОГО ХОЗЯЙСТВА	140
<i>Ш.Т. Юсупов, В.П. Друзьянова, О.М. Осмонов, З.А. Васильева, А.Ю. Никифорова</i> ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	143

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

<i>О.В. Бен, Ю.П. Москалева, З.С. Сейдаметова</i> РЕАЛИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ	146
<i>С.С. Емельянова, Н.Н. Иващенко</i> ИССЛЕДОВАНИЕ DOCKER В ЧАСТИ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ НА УРОВНЕ ОС	149

<i>А.И. Кононова, А.В. Городилов, А.В. Гаращенко</i> УСКОРЕНИЕ РАСЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ OPENMP	152
05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	
<i>А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева, В.А. Мясоедова</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ ТУВИНСКОГО АЛФАВИТА	156
<i>А.В. Картузов, Т.В. Картузова, С.В. Храпцов</i> ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЙ СЕТИ LSTM ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ	159
<i>Г.О. Мареев, О.В. Мареев, Е.П. Шеришуков</i> РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ГАПТИК — УСТРОЙСТВА С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ ПОДВИЖНОСТИ	163
05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ	
<i>Ю.А. Анищенко, Д.В. Рогова, Д.С. Гляделов, М.А. Рагозина</i> МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	168
<i>П.В. Антонова, А.С. Титовцев</i> ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СМЕШАННОГО ТИПА С ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В ОЧЕРЕДИ	171
<i>А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, В.М. Нигметзянова, Р. Х. Тахавиев, Ш.С. Хуснетдинов, А.М. Фролов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ТОРСИОННОЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ	174
<i>А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Р.Р. Биктякова</i> АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И ОЦЕНКА ИХ ХАРАКТЕРИСТИК	177
<i>А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Т.А. Захватова</i> АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ	180
<i>А.Ф. Галимянов, Ф.А. Галимянов, Нгуен Тиен Дык</i> ВЫЧИСЛЕНИЕ ДРОБНЫХ ИНТЕГРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	183
<i>Д.А. Груздков, А.А. Рачишкин</i> АЛГОРИТМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ МАШИН ТРЕНИЯ	186
<i>А.А. Дубанов, А.Э. Севээн, А.В. Урбаханов, Б.В. Монгуш</i> КОРРЕКЦИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПРЕСЛЕДОВАТЕЛЯ ПРИ МЕТОДЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СБЛИЖЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ В ПРОСТРАНСТВЕ	189
<i>А.Н. Кожевников</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА	192
<i>А.Н. Кожевников, Т.В. Бурнышева</i> ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРУГОГО БЕТОННОГО ОСНОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ	195
<i>В.Ю. Колесников, И.Н. Сидоров</i> ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КООКСИАЛЬНОГО СО ₂ - ЛАЗЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ	198
<i>И.В. Кудрявцева, С.В. Рыков, В.А. Рыков</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЖИДКИХ ГИДРОФТОРОЛЕФИНОВ	205
<i>Д.С. Лобарёв, Д.В. Толбухин</i> ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ РYТНОН В ОБЛАЧНОЙ СРЕДЕ GOOGLE COLAB	208
<i>И.С. Некрасов, В.С. Тынченко, Я.А. Тынченко, Т.А. Панфилова</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ В СИСТЕМЕ ASPEN HYSYS	214

<i>Е.В. Поезжаева, С.Э. Шаклеина, Д.Н. Кучев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДА УКРЕПЛЕНИЯ ПЛОСКИХ КРЫШЕК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АППАРАТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТИПА ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	217
<i>А.А. Рачишкин, Д.А. Груздков</i> ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	222
<i>А.В. Рязанов, А.А. Добров, Д.В. Доронков, А.Н. Пронин, Т.Д. Демкина, М.Ю. Шуваева, А.С. Снегирева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПЕТЛЕВЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОПУСКНОЙ КАМЕРЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА	225
<i>И.Н. Сидоров, А.В. Горелов, А.И. Энская</i> ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	229
<i>И.В. Федотова</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ КООРДИНАТ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	238

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

<i>А.А. Шашков, В.А. Атрощенко</i> ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	242
<i>А.А. Шашков, В.А. Атрощенко</i> СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОБХОДИМЫХ И ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ РАЗВЕДЗАЩИЩЕННОСТИ ПСП СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ	245

АННОТАЦИИ	248
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, M.G. Kuznetsov, R.Kh. Shagimullin, V.V. Kharkov, G.H. Gumerova STEAM-GAS DYNAMIC GENERATORS OF ACOUSTIC VIBRATIONS 11
K.G. Nikolaev, B.N. Ivanov, V.S. Minkin, E.S. Vorobiev, R.Kh. Shagimullin THE ALGORITHM OF CONJUGATION OF RATIONAL TECHNOLOGIES OF INTRA-RESERVOIR TRANSFORMATION OF OILS AND HYDROGEN ENERGY 14

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

G.E. Aminova, P.E. Denisenko OVERVIEW OF WIRELESS APPLICATIONS IN THE RAILWAY INDUSTRY 23
G.N. Vlasichev, N.M. Makhina SPENT NUCLEAR FUEL MANAGEMENT STRATEGY FOR LONG-TERM STORAGE WITH A FUTURE DECISION-MAKING DECISION TO END THE FUEL CYCLE 26
N.V. Ershov LEAN MANUFACTURING AT THE UNIVERSITY 29
V.I. Kurir EXTENDING THE SERVICE LIFE OF HYDRO TURBINES SUBJECTED TO CAVITATION 32
N.A. Maksimov, Yu.B. Skleymin ORIENTATION OF UNMANNED AIRCRAFT (UAV) USING A TERRAIN HEIGHT MAP 35
G.V. Merkishin, B.M. Porodin SIMPLIFIED ALGORITHM FOR ESTIMATING THE SPATIAL POSITION OF A STRAIGHT LINE 44
I.S. Nekrasov, V.S. Tynchenko, Ya.A. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov PREDICTION OF HYDROCRACKING PROCESS UNIT FAILURES USING NEURAL NETWORK MODELING METHODS 47
E.E. Orekhova, A.S. Permovskiy INFLUENCE OF CONSTRUCTION MATERIALS ON THE MASS-DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF THE HEAT EXCHANGER OF THE 3-4 CONTOURS OF THE KLT-40 UNIT 51
I.S. Polyakova, F.G. Khisamov SELF-REGULATING ORGANIZATION IN COMMISSIONING – PROBLEMS OF FUNCTIONING 54
K.V. Prokopiev, I.M. Kuzmina, M.A. Ivanova, T.I. Vasilyeva APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO CREATE TRANSCRIPTIONS OF ACTIVITIES 57
O.A. Rak, D.A. Vedenkin MODERN RADAR STATIONS IN THE RUSSIAN ARMY 62
O.A. Rak, D.A. Vedenkin MODERNIZATION OF MILITARY AVIATION EQUIPMENT WITH THE USE OF PHOTONICS, RADIOPHOTONICS AND ULTRA-WIDEBAND SIGNAL ELEMENTS 66
S.A. Savelov, G.N. Vlasichev MODERN WATER TREATMENT TECHNOLOGIES IN THE NUCLEAR POWER INDUSTRY 69
N.O. Sapozhenkov, A.A. Panfilov, A.V. Bazanov PROCEDURE FOR EVALUATING THE RESIDUAL LIFE OF ELECTRICAL STARTER SYSTEM ELEMENTS 72
N.O. Sapozhenkov, A.A. Panfilov, V.D. Ilinykh SIMULATION OF THE PROCESSES OF CAR BATTERIES TEMPERATURE CHANGING 76
A.M. Stankevich BACKGROUND TO THE DIGITAL TRANSFORMATION OF AIRCRAFT MAINTENANCE ORGANIZATIONS 80
D.A. Khvostov NEURAL NETWORK FOR TEXT TONALITY ANALYSIS 83
P.S. Shichev, Zh.V. Ovadykova AN APPROACH TO ADJUSTMENT THE LIMITS OF DIAGNOSTIC PARAMETERS DURING IMPLEMENTATION MONITORING THE CONDITION OF EQUIPMENT EQUIPMENT WITH AN ELECTRIC MOTOR BY CURRENT SPECTRA 87

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

<i>G.E. Aminova, P.E. Denisenko</i> HYBRID SYSTEM OF THE ANTI-ICING SYSTEM OF AIRCRAFT	92
<i>Yu.A. Androsov, V.P. Gulyaev, N.P. Alexandrov, S.M. Klimov, I.P. Prokhorov, V.V. Terentyeva</i> JUSTIFICATION OF UNIVERSAL TEST BENCHES FOR NON-SPECIALIZED WORKSHOPS	96
<i>K.A. Bashmur, A.A. Gorodov</i> ADAPTIVE ROTARY CUTTING TOOL CONTROL	100
<i>M.A. Biryukov</i> REGULATOR'S STRUCTURE FOR NEUROINTERFACE	103
<i>Yu.Zh. Dondokov, V.P. Druzyanova, O.O. Osmonov, A.P. Pavlova, A.F. Stepanova</i> DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF AGROTECHNICAL SERVICE IN APK	107
<i>V.A. Kachaeva, K.A. Bashmur, A.N. Dimov, V.V. Bukhtoyarov</i> POWER SUPPLY OF DEVICES AT THE INSTALLATIONS FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS USING AN INTEGRATED LINEAR POWER GENERATION SYSTEM	110
<i>V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, D.I. Rogachev</i> AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE LOGGING MACHINE	114
<i>E.S. Kozin, G.A. Sofronov</i> IMPLEMENTATION OF A MECHATRONIC STEERING SYSTEM FOR A LAND VEHICLE OF HIGH CROSS-COUNTRY ABILITY	118
<i>T.A. Parnikova, A.V. Spiridonov</i> STUDY OF THE PROBLEM OF BALANCING SHAFTS WHEN REPAIRING ENGINES	122
<i>N.V. Petrov, I.I. Dmitriev, F.A. Skrybykin</i> DEVELOPMENT OF A SPECIAL AUXILIARY DEVICE FOR UMP-350	124
<i>N.V. Petrov, F.A. Skrybykin, A.N. Matveev, M.Yu. Prokopiev</i> EXPERIMENTAL STAND FOR WATER INJECTION INTO ENGINE CYLINDER ON THE PASSENGER CAR «TOYOTA PROBOX»	128
<i>N.O. Sapozhenkov, A.A. Panfilov, V.S. Petrov</i> DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED DIAGNOSTIC TECHNIQUE FOR WINTER STUDDED TIRES	132
<i>L.A. Simonova, D.N. Demyanov, A.A. Kapitonov</i> METHODOLOGY FOR ESTIMATING OF THE RESIDUAL RESOURCE OF THE IC ENGINE MAIN UNITS BASED ON FUZZY LOGIC	136
<i>S.V. Stepanova, V.P. Druzhinova, O.M. Osmonov, L.A. Ammosova, L.H. Abramova</i> AUTOMATION OF THE OPERATION OF THE GREENHOUSE AND GREENHOUSE	140
<i>Sh.T. Yusupov, V.P. Druzhinova, O.M. Osmonov, Z.A. Vasilyeva, A.Yu. Nikiforova</i> ENGINEERING SUPPORT OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX	143

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

<i>O.V. Ben, Y.P. Moskaleva, Z.S. Seidametova</i> THE IMPLEMENTATION OF DATABASE FOR VIRTUAL EVENTS APPLICATION	146
<i>S.S. Emelyanova, N.N. Ivaschenko</i> DOKER STUDY IN CONTAINERING APPLICATIONS	149
<i>A.I. Kononova, A.V. Gorodilov, A.V. Garashchenko</i> ACCELERATING THE CALCULATION OF GRAPH CHARACTERISTICS USING OPENMP	152

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

<i>A.A. Golubnichiy, A.D. Yablontseva, V.A. Myasoedova</i> DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF OPTICAL RECOGNITION OF TUVINIAN ALPHABET CHARACTERS	156
---	-----

<i>A.V. Kartuzov, T.V. Kartuzova, S.V. Khramtsov</i> LSTM NEURAL NETWORK PROGRAMMING MODEL FOR TIME SERIES PREDICTION	159
<i>G.O. Mareev, O.V. Mareev, E.P. Shershukov</i> DESIGN PROTOTYPE HAPTIC-DEVICE WITH ONE DEGREE OF FREEDOM	163

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

<i>Yu.A. Anischenko, D.V. Rogova, D.S. Glyadelov, M.A. Ragozina</i> METHODS FOR ASSESSING THE RISKS OF ENTERPRISE INNOVATION	168
<i>P.V. Antonova, A.S. Titovtsev</i> CHARACTERISTICS OF THE NON-STATIONARY MIXED TYPE QUEUEING SYSTEMS WITH THE BOUNDED AVERAGE TIME IN A QUEUE	171
<i>A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, V.M. Nigmatzyanova, R.Kh. Takhaviev, Sh.S. Husnetdinov, A.M. Frolov</i> SIMULATION OF THE OPERATING MODE OF THE TORSION CAR SUSPENSION	174
<i>A.V. Volkov, S.N. Ivliev, R.R. Biktyakova</i> ANALYSIS OF RANDOM PROCESSES AND ASSESSMENT OF THEIR CHARACTERISTICS	177
<i>A.V. Volkov, S.N. Ivliev, T.A. Zahvatova</i> ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA BASED ON THE METHOD OF MATRIX OPERATORS	180
<i>A.F. Galimyanov, F.A. Galimyanov, N.T. Dik</i> CALCULATION OF FRACTIONAL INTEGRALS USING A NEURAL NETWORK	183
<i>D.A. Gruzdkov, A.A. Rachishkin</i> ALGORITHM OF MICROCONTROLLER OPERATION FOR STEP MOTOR OF FRICTION MACHINES	186
<i>A.A. Dubanov, A.E. Seveen, A.V. Urbahanov, B.V. Mongush</i> CORRECTION OF THE DIRECTION OF MOVEMENT OF THE PURSUER WITH THE METHOD OF PARALLEL APPROACH TO THE TARGET IN SPACE	189
<i>A.N. Kozhevnikov</i> MODELLING AS APPROACH TO IDENTIFY DYNAMIC CHARACTERISTICS OF PUBLIC TRANSPORT OVERHEAD LINE PYLONS	192
<i>A.N. Kozhevnikov, T.V. Burnysheva</i> OVERHEAD LINE METAL PYLONS CONCRETE FUNDAMENT MODELLING FEATURES	195
<i>V.Yu. Kolesnikov, I.N. Sidorov</i> THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE ELECTRIC DISCHARGE CHAMBER ON THE OUTPUT CHARACTERISTICS OF THE COAXIAL CO ₂ - LASER OF CONTINUOUS ACTION	198
<i>I.V. Kudryavtseva, S.V. Rykov, V.A. Rykov</i> MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL CONDUCTIVITY OF LIQUID HYDROFLUOROLEFINS	205
<i>D.S. Lobaryov, D.V. Tolbukhin</i> SEARCH FOR THE OPTIMAL SOLUTION IN THE DIFFERENTIAL LINEAR-QUADRATIC PROBLEM OF PYTHON FUNCTIONS IN THE GOOGLE COLAB CLOUD	208
<i>I.S. Nekrasov, V.S. Tynchenko, Ya.A. Tynchenko, T.A. Panfilova</i> MODELING OF THE PROCESS OF HYDROCRACKING PRODUCING DIESEL FUELS IN THE ASPEN HYSYS SYSTEM	214
<i>E.V. Poezhaeva, S.E. Shakleina, D.N. Kuchev</i> RESEARCH AND SELECTION OF A METHOD FOR STRENGTHENING FLAT COVERS WHEN DESIGNING CYLINDRICAL-TYPE DEVICES FOR CHEMICAL AND OIL AND GAS ENGINEERING	217
<i>A.A. Rachishkin, D.A. Gruzdkov</i> DISCRETE-EVENT SIMULATION OF TECHNICAL SURFACES CONTACT	222
<i>A.V. Ryazanov, A.A. Dobrov, D.V. Doronkov, A.N. Pronin, T.D. Demkina, M. Yu. Shuvaeva, A.S. Snegireva</i> INVESTIGATION PROCESSES OF COOLANT FLOW MIXING IN THE VESSEL CHAMBER OF A NUCLEAR REACTOR	225

<i>I.N. Sidorov, A.V. Gorelov, A.I. Enskaya</i> CALCULATION OF EFFECTIVE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF DISPERSEDLY REINFORCED POLYMER COMPOSITE MATERIAL BY THE BOUNDARY ELEMENT METHOD	229
<i>I.V. Fedotova</i> MODELING ADAPTIVE COORDINATE OBSERVERS FOR AUTOMATED ELECTRIC DRIVE	238

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

<i>A.A. Shashkov, V.A. Atroshchenko</i> PROBLEMS OF STABILITY OF FUNCTIONING OF TRADITIONAL METHODS OF INFORMATION PROTECTION IN CONDITIONS OF DESTRUCTIVE INFLUENCES	242
<i>A.A. Shashkov, V.A. Atroshchenko</i> STRUCTURAL MODELLING OF THE NECESSARY AND SUFFICIENT CONDITIONS FOR ENSURING THE HIGH INTELLIGENCE OF PSEUDO-CASE SEQUENCE SPECIAL COMMUNICATIONS SYSTEMS	245
ABSTRACTS	248

05.13.06

¹В.С. Минкин д-р хим. наук, ^{2,4}М.Г. Кузнецов канд. техн. наук,
³Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук, ²В.В. Харьков канд. техн. наук,
²Г.Х. Гумерова канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
¹факультет наноматериалов и нанотехнологий,
кафедра Физики,
²факультет пищевой инженерии,
кафедра Оборудования пищевых производств,
³главный редактор журнала Научно-технический вестник Поволжья,
⁴Казанский государственный аграрный университет,
Институт экономики,
кафедра Экономики и информационных технологий,
Казань, yegus@yandex.ru, max-kuzz@ya.ru, shagimullin@ntvprt.ru, v.v.kharkov@gmail.com

ПАРО-ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Рассмотрены устройство и принцип действия паро-газодинамического реактивного движителя. Новая технология сжигания горючей смеси в паро-газодинамическом реактивном движителе обеспечивает перемещение средства передвижения не только над водой и по воде, но и под водой.

Ключевые слова: генератор акустической энергии, акустический нагнетатель, газовая струя.

В последние годы возрос интерес к устройству и работе генераторов акустической энергии и возможности их использования в технике, в том числе в качестве паро-газодинамических реактивных движителей [1].

Действительно, в работах [2-4] рассмотрены устройство и работа генераторов акустической энергии и их способность выбрасывать на большие расстояния реактивные струи. Максимальная производительность таких генераторов будет достигнута только в резонансном режиме работы [1]. К недостаткам таких генераторов относят сравнительно невысокую эффективность работы, узкую область использования и относительно небольшой срок службы. Эти недостатки особенно отчетливо просматриваются в водно-воздушных средствах передвижения [1, 2].

Отсутствие в настоящее время более современной технологии, позволяющей увеличить скорость движения объекта, заставляет искать новые возможности повышения эффективности работы паро-газодинамических реактивных движителей.

При расположении паро-газодинамического реактивного движителя на водно-воздушном средстве передвижения в надводном положении делается невозможным использование средства передвижения под водой, что ограничивает область его использования [1].

Теоретические и экспериментальные исследования генерации резонансных акустических колебаний изложены в работе [1].

На рисунке 1 показан паро-газодинамический реактивный движитель с новой технологией сжигания горючей смеси, обеспечивающей перемещение средства передвижения не только над водой и по воде, но и под водой.

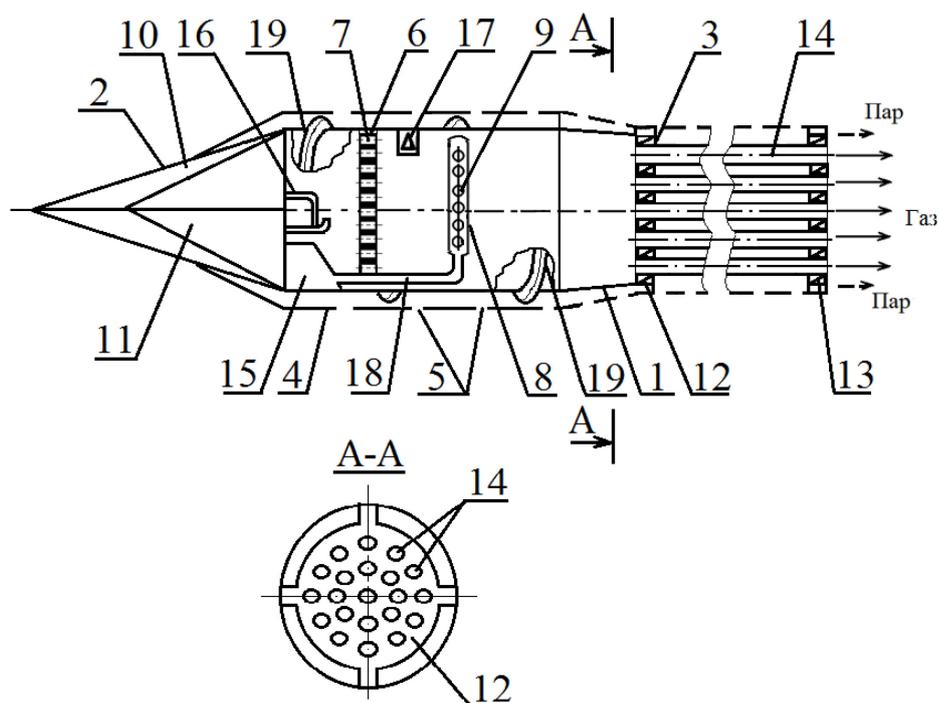


Рис. 1 – Паро-газодинамический реактивный движитель:

- 1 – корпус; 2 – обтекатель; 3 – теплообменник; 4 – кожух; 5 – перфорация кожуха;
 6 – перегородка; 7 – перфорация перегородки; 8 – полое кольцо;
 9 – отверстия полого кольца; 10 – отсек с окислителем, 11 – отсек с топливом;
 12, 13 – трубные решетки, 14 – пучок труб; 15 – емкость со сжатым воздухом;
 16 – трубопровод; 17 – свеча зажигания; 18 – трубопровод; 19 – спиральная лента

Запуск движителя в работу производится в его безводном положении и после достижения их нормального режима (резонанса) он создает реактивную тягу на водно-воздушном средстве передвижения.

Принцип работы паро-газодинамического реактивного движителя заключается в следующем: окислитель из отсека 10 и топливо из отсека 11 поступают в общий трубопровод 16, в котором он интенсивно перемешивается, и образующаяся горючая смесь под давлением выбрасывается в пространство корпуса 1 перед перфорированной перегородкой 6. Через перфорации 7 в перегородке 6 горючая смесь поступает отдельными равномерно распределенными по сечению корпуса струями в рабочее пространство корпуса. От свечи зажигания 17 горючая смесь воспламеняется.

Горение горючей смеси в пространстве корпуса между перегородкой и полым кольцом приводит к самовозбуждению колебаний газового потока. Это пространство корпуса работает, как генератор колебаний газа с максимально достижимой температурой и еще недостаточно сильным проявлением пульсационного теплопереноса. При прохождении полого кольца горящий горючий газ смешивается со свежей порцией воздуха, поступающего в полое кольцо по трубопроводу 18 из емкости 15 и выходящего через отверстие 9 в полое кольцо, равномерно распределенными струями от периферии к центру. Такая аэродинамическая обстановка обеспечивает сильную турбулизацию взаимодействующих газовых потоков и интенсивное перемешивание воздуха с горящим горючим газом.

В пространстве корпуса за полым кольцом температура горячей газовой смеси и амплитуда пульсаций скорости газового потока резко возрастает, что приводит к повышению теплопереноса и существенному увеличению скорости теплоотдачи в трубах 14. Из труб продукты сгорания газовой смеси выбрасываются из движителя, заставляя водно-воздушное средство передвижения двигаться в противоположном направлении.

Одновременно в движитель через кольцевой зазор 4 между корпусом и кожухом и через перфорации 5 поступает из водного пространства вода. Далее вода при прохождении

спиральной ленты 19 приобретает вращательно-поступательное движение, сильно турбулизируется и интенсивно нагревается от горячих стенок корпуса и труб. Образующийся при интенсивном кипении воды пар выбрасывается из труб наружу движителя. Часть пара уходит через перфорации в кожухе, создавая снаружи движителя паровую рубашку. Перемещение осуществляется в паровой рубашке, что приводит к резкому снижению аэрогидравлического сопротивления.

Эффективность от использования паро-газодинамического движителя достигается за счет существенного увеличения скорости паро-газовоздушных средств передвижения.

Список литературы

1. *Кузнецов М.Г., Коротков Ю.Ф., Ларионов В.М.* Генераторы акустических колебаний. – Казань: Казанский ГАУ, 2016. -100 с.
2. *Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Сальманов Р.С.* Генерация резонансных акустических колебаний и их использование. Научно-технический вестник Поволжья. №7 2020г. — Казань: ООО "Рашин Сайнс", 2020. с. 7-10.
3. *Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Вахитов М.Р., Галеева Э.И.* Акустические нагнетатели газожидкостных сред. Научно-технический вестник Поволжья. №1 2021г. - Казань: ООО "Рашин Сайнс", 2021. - с. 6-8.
4. *Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Сальманов Р.С., Харьков В.В.* Парогазодинамический реактивный движитель. Научно-технический вестник Поволжья. № 5 2021. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», С. 7-9.

05.13.18

¹К.Г. Николаев, Б.Н. Иванов д-р техн. наук, ²В.С. Минкин д-р хим. наук,
³Е.С. Воробьев канд. техн. наук, ⁴Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук

¹АО «Центральный научно-исследовательский институт геологии
нерудных полезных ископаемых»,
Казанский научно-исследовательский технологический университет,
²факультет наноматериалов и нанотехнологий,
кафедра физики,
³кафедра «Автоматизированных систем сбора и обработки информации»,
⁴главный редактор журнала Научно-технический вестник Поволжья,
Казань, k8966808@gmail.com, ivanovbn@rambler.ru, yerus@yandex.ru,
vorobiev@kstu.ru, shagimullin@ntvprt.ru

АЛГОРИТМ СОПРЯЖЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВНУТРИПЛАСТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕФТЕЙ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Статья является развитием наших работ, посвященным рациональным технологиям обработки нефтесодержащих систем [2-9].

В основе данных технологий лежит коренной принцип всеобщей аналогии материальных образований и их взаимодействий, который целесообразно применять и при рационализации технологий водородной энергетики [17-22].

Ключевые слова: *сопряжение, рациональные технологии, моделирование.*

Сопряжение – это не только сочетание (тем более, комбинация), а *органическая рациональная связь*, базирующаяся на фундаментальных законах мироздания и предопределенная функциональным назначением, природой (т.е. составом и строением) и условиями её осуществления.

Кроме того, обязателен учет *сопряжения экологичности и экономичности* технологий, поскольку и *экология*, и *экономика* – категории *нравственные*. Без их рационального сопряжения невозможно не только качественное развитие Человечества, но и *само его существование*.

Под *рациональностью* технологий, в первую очередь понимается сумма затрат *материальных, информационных, интеллектуальных ресурсов*, степень *безопасности труда* и степень *загрязнения* окружающей среды.

Как уже нами неоднократно отмечалось (см., например, [17-22]), задача разработки *оптимальных* технологий бессмысленна. Поскольку термин «оптимальный» означает наилучший результат при наилучших для данного способа, действия или события условиях. Естественно, проверить все возможные сочетания условий на практике невозможно. Речь может идти о *рациональных* технологиях.

Просто рациональные технологии, как правило, разрабатываются и применяются для конкретных способов. *Прорывные рациональные технологии можно и нужно* разрабатывать для целого ряда схожих процессов. Они являются эффективными и универсальными, кроме того, представляют собой сопряжения целевых и сопутствующих технологий, ведущих к увеличению эффективности: производительности, экономичности, безопасности и экологичности – целевых процессов. Причем, сопряженность технологий, как уже отмечалось, это не механическая совмещенность процессов и способов их осуществления.

Прорывным рациональным технологиям необходимы своя классификация и методология.

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

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

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

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

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

Различные способы могут иметь прямую или опосредованную связь. Причем ее важнейшим свойством является противоречивость.

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

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

Понимание этой разницы способствует обеспечению более рациональных переходов одних видов движения в другие, облегчает раскрытие принципиальных теоретических и практических аспектов многопрофильных и многофункциональных природных и техногенных процессов.

К сожалению, многие ученые не понимают и не признают важность этой разницы. В частности, А. Эйнштейн так до конца жизни и не осознал почему «попытки создать единый континуум массы, пространства, энергии и времени не увенчались успехом» [13, 14]. Более того, это не единственная ошибка А. Эйнштейна, что будет отражено в следующей статье.

Из закона сохранения (который по сути является единственным законом, поскольку проявляется всегда и везде) и скачкообразности количественно-качественных переходов, определенный структурный элемент старого качества (его уровень организации и размера предопределен типом и условиями взаимодействий) переходит в новое качество. В частности, часть атомов исходного вещества может переходить в процессе химического превращения в новую молекулу.

Как нами уже много лет многократно отмечалось [1-9, 12], основа всего сущего в материальном мире почти раскрыта благодаря корпускулярно-волновой теории М.В. Ломоносова. Для подчеркивания универсальности открытия М.В. Ломоносова нами предложено использовать следующий термин: *вещественно-волновая природа*.

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

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

Вещественно-волновая природа гораздо многогранней ее распространенной трактовки. В частности, последняя не полностью объясняет одновременное проявление *неразрывности* и *сплошности* движения, принципа дифференциации и интеграции явлений, и некоторых других положений и факторов [5-7, 9, 12].

Нам представляется целесообразным дополнительный учет внутреннего и внешнего ассоциирования ↔ диссоциирования материальных образований и их взаимодействий (причем, во всех агрегатных состояниях).

Б.Н Иванов и А.К. Мезиков [12] обосновали ассоциирование↔диссоциирование как коренную (присущую всем материальным образованиям) характеристику и назвали это явление *законом о формах существования и взаимных переходов материальных образований*. Кроме того, они, в соответствии с вышеизложенным, считают, что твердые аморфные вещества нужно относить к сверхмикрористаллическими веществам с деформированными сингониями. Данное обстоятельство необходимо учитывать при рассмотрении путей преобразования нерудных полезных ископаемых и коллекторов нефтяного пласта. При этом, в определенной степени, можно руководствоваться подходами нанотехнологий. Однако, под *наночастицами* следует понимать не микрочастицы размером 1-10 нм и тем более 50 нм (что уже нанокластер), а микрочастицы (или их ингредиенты) на уровне 0,01-0,1 нм. В этом случае дискретность размеров ведет к дисперсности тепловых, электрических, магнитных, гравитационных, химических свойств (за исключением состояния полного подобия, в котором уже исчезает грань между физическим и химическим видами движения).

Исследования показали, что получаемые наночастицы одной природы могут иметь различные свойства, что обусловлено способами их получения. При этом, поскольку большинство конденсированных и жидкофазных систем являются кристаллоподобными, и диспергирование, и укрупнение частиц начинается на дефектных поверхностях.

Замеченные различие свойств наночастиц одной природы, объясняется, по-видимому, в основном их *поверхностным фактором*: силой трения и удельной и общей поверхностями контакта. Вследствие чего меняется степень ассоциирования *нестехиометрических* соединений. Причем логично предположить, что различие свойств наночастиц (и нанокластеров) одной природы проявляется в определенных интервалах их размеров согласно Гауссовому распределению.

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

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

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

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

Некоторые положения и приемы «нанотехнологий» целесообразно применять при разработке трудноизвлекаемых запасов нефти (в настоящее время в РФ доля тяжелых нефтей достигает 60 %; в РТ >80 %). В частности, при рациональном внутрислоеобразовании высоковязких и битуминозных нефтей (запасы которых в Республике Татарстан оцениваются от 2 до 11 млрд. т).

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

Фундаментом рационального химико-физического внутрислоеобразовании нефти является единая вещественно-волновая ассоциативно-диссоциативная природа (ВВП) с учетом степени аналогии различных явлений. Причем возможен перевод всех перерабатываемых материальных образований в состояние полного подобия (когда стирается грань между химическим и физическим взаимодействиями) [17, 20].

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

пласт (включая состав и структуру нефте-водосодержащих систем коллекторов) рассматривается как единый *континуум* конденсатора, индуктора, резистора и резонатора, происходящих в нем явлений[7].

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

Рациональным практическим подходом представляется оценка и использование сочетания тепловых и электрических свойств. Поскольку эти важнейшие явления – генетические «родственники», основа которых *трение*.

По литературным данным электропроводность и теплопроводность с увеличением температуры растут. Причем зависимость электропроводности проявляется ярче.

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

Заряд в нашем понимании – это *некомпенсированное* количество движения (*избыток* или *недостаток*) на внутренних и внешних поверхностях микро- и «псевдоэлементарных» частиц, обусловленное дисбалансом количества последних.

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

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

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

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

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

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

Ввиду исключительной сложности исследуемых нами материальных систем и их взаимодействий, нами применялось сопряженное качественно-количественное моделирование, сочетающее мощь качественного анализа с информацией количественного [2, 6, 7, 9-11, 19-21].

При кинетических расчетах, ввиду принципиальной невозможности корректного использования для исследуемых систем уравнения Аррениуса (вследствии наличия в нем универсальной газовой постоянной), применялось авторское характеристическое уравнение (ХВУ) Б.Н. Иванова и Р.Н. Костромина

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

учитывающее распространение волны в пространстве [7, 9-11].

ХВУ может являться переходной связью между качественным и количественным моделированием и способствует сохранению физического смысла приближенной количественной оценки процессов в пласте. В том числе, постадийного инициирования в нем каталитических процессов.

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

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

В качестве катализаторов целесообразно использовать некоторые оксиды и соли, находящиеся в нефти, воде и коллекторе; а также оксиды, образующиеся в процессе преобразования. *«Каталитической заправкой»* могут служить известные катализаторы, применяемые в процессе переработки нефти. Например, в процессах каталитического крекинга.

Необходимый тепловой режим должен в значительной степени обеспечиваться горением неорганической части флюидов. Модель необходимого устройства уже апробирована [18, 19, 21].

2. *Сопряженное применение «мягкого» направления с активированной водой.*

Широко известный процесс активации воды (в т.ч. и в быту) целесообразно применять совместно с обработкой водосодержащих систем электронно-лучевыми технологиями (ЭЛТ).

Основным аппаратом в оборудовании ЭЛТ является ускоритель электронов. В нем схематично осуществляется следующее: из инжектора электроны поступают в ускорительные устройства; далее направляются в фокусирующий электромагнит; из последнего – в «развертывающие» устройства; затем в вакуумный насос и «вакуумное окно». Преобразование электрической мощности в мощность электромагнитного пучка составляет 90%. Пучок имеет заданное направление и локализуется в определенном объеме объекта.

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

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

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

3. *Перевод обрабатываемых систем в состояние полного подобия в режиме глобального химического резонанса.*

Реализация данного направления позволит обеспечивать полное преобразование нефте- и водосодержащих систем [17, 20].

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

Заключение

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

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

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

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

Разработку технологий рационального внутрислоевого преобразования тяжелых и битуминозных нефтей целесообразно осуществлять с сопряженной разработкой подземных процессов *водородной технологии*.

Причем *водород* будет образовываться и из органических соединений (в первую очередь в результате *каткрекинга*), и из водной части – в результате *диссоциации* воды.

Авторы настоящей статьи специально не приводят уравнения возможных химических реакций и расчетов их балансов. Поскольку в условиях подземной переработки *нельзя использовать стехиометрические схемы*. Тем более для *нестехиометрических соединений*, которыми в большинстве своём являются *ингредиенты* нефтесодержащих и водосодержащих систем.

Однако, формализованная схема Алгоритма предусматривает блок составления системы дифференциальных кинетических уравнений, проверки её на совместимость и расчетов.

Поэтому целесообразны пилотные испытания, которые позволят получить данные для использования статистических соотношений и *ХВУ* при математическом описании и определении *целевых функций* в зависимости от *варьируемых факторов*.

С учетом функционального назначения продуктов переработки преобразуемой нефти, следует ожидать, что образующийся водород будет *насыщать* бензин, керосин, дизельное топливо, существенно повышая энергетику последних.

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

Упрощенная формализованная схема алгоритма *использования сопряженных рациональных технологий* внутрислоевого преобразования тяжелых нефтей и водородных технологий приведена на рис.1.

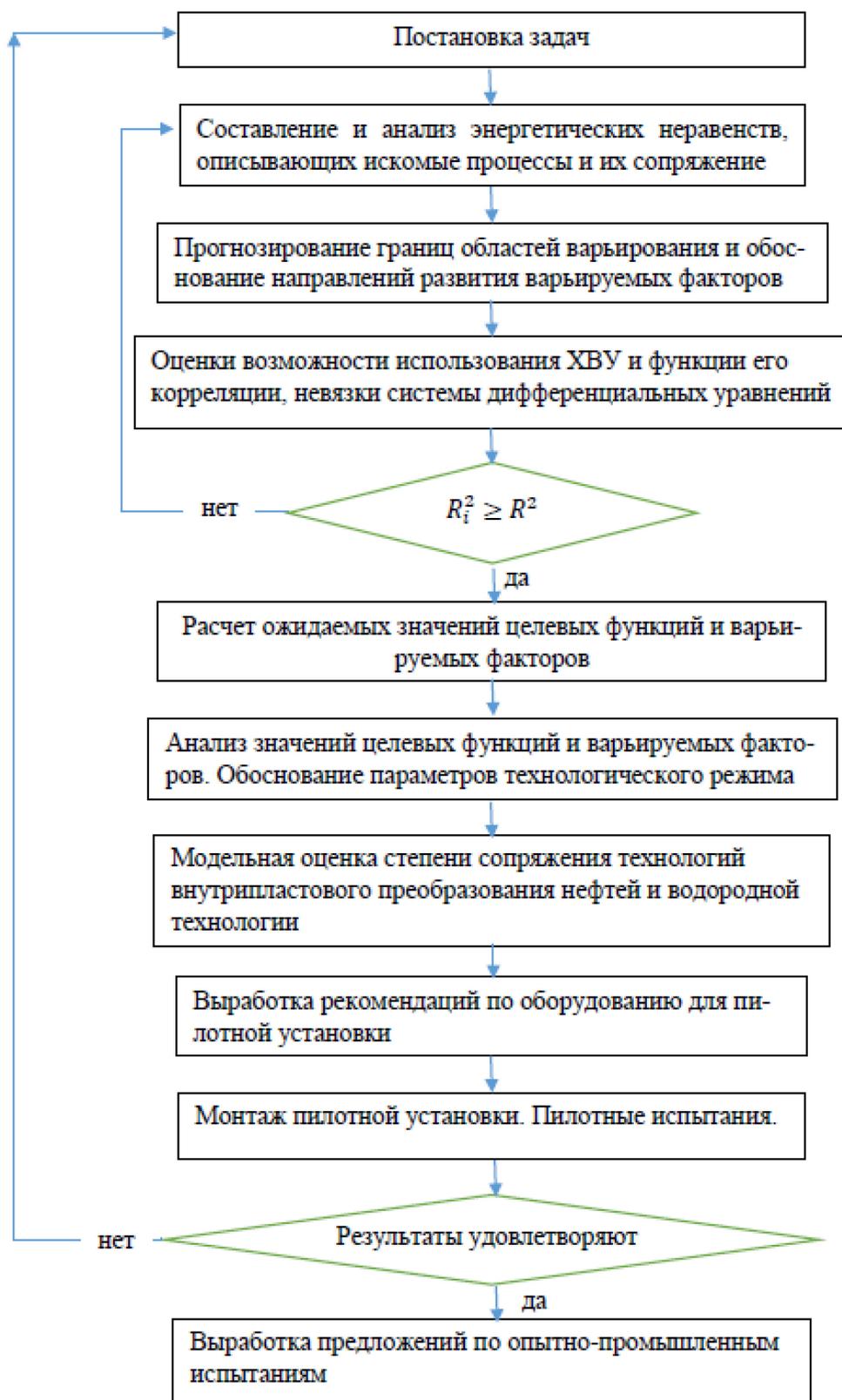


Рис. 1 – Формализованная схема алгоритма сопряжения технологий внутрипластового преобразования нефтей и водородной энергетики

Список литературы

1. Качественный подход к оценке реакционной способности материальных образований. / Сообщение 1. Исходные посылки // ВИНТИ, № 2338-В87.- 1987; Сообщение 2. Иллюстрационная модель // ВИНТИ, № 2337-В87.- 1987; Сообщение 3. Применение принципа масштабирования // ВИНТИ, № 2336-В87.- 1987.
2. Энергетическая модель процессов в каналах нефтяного пласта / Б.Н. Иванов, В.П. Барабанов, И.М. Старшов, В.С. Минкин / Нефтяное хозяйство. – 1989. – № 12. – С. 69.
3. К вопросу об энергоаналитической оценке процессов нефтепереработки. Интенсификация химических процессов переработки компонентов / Б.Н. Иванов // Межвуз. Сб.- Казань.- 1991,- с. 74-79.
4. Иванов Б.Н., Садыков А.Р., Суханов А.П., Суханов П.П. Структурополагающие основы ассоциативных процессов нефтепереработки. Сообщение 1 // Нефтепереработка и нефтехимия. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2004.-№6.-С. 23-27; Сообщение 2 // 2004.-№9.- С. 17-19.
5. Онтология теоретических основ химической технологии / Б.Н. Иванов // Казань: КГТУ, 2006. – 72 с.
6. Исследование ассоциативной природы сложных жидкофазных органических систем тепловизионными методами / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, А.К. Мезиков, С.Ю. Горбунов, А.В. Дацков // Вестник казанского технологического университета – Казань: Отечество, 2007. - №3-4 – с.135-142.
7. Волновая природа процессов генезиса, добычи и подготовки нефти. Части 1-3 / Б.Н. Иванов // Вестник казанского технологического университета – Казань: Отечество, 2008. - №3 – с.97-115; №4 – с.100-120; №5 – с.138-157.
8. Общий базис процессов и средств стимуляции добычи и подготовки нефти / Б.Н. Иванов, Н.А. Лебедев, Е.Л. Древницкая / Нефтепереработка и нефтехимия. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2008.-№11.-С. 8-13.
9. Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти / Б.Н. Иванов, А.И. Гурьянов, А.М. Гумеров / АН РТ, Казань: ФЭН, 2009. – 400 с.
10. Универсальное характеристическое уравнение нефтесодержащих систем. Некоторые аспекты практического приложения / Б.Н. Иванов, Е.Л. Древницкая, Р.Н. Костромин / Энергетика Татарстана. – Казань, 2012. – № 3. – С.64-69.
11. Conjugated Qualitative and Quantitative Approximation of Water, Salt, Sulfur, Asphaltene and mechanical Ingredients of Oil-Containing Systems interrelation / Roman N. Kostromin, Boris N. Ivanov, Marina S. Petrovina, and Marsel I. Safiullin / Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - Volume 6, Issue 6, 2015.- 250, Pp 1612-1616.
12. Четвертая материальная форма проявления закона сохранения / Б.Н. Иванов, А.К. Мезиков // Энергетика Татарстана. – Казань, 2016. - № 2. – с. 62-67.
13. Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельд // М.: Наука, 1965 – 202 с.
14. Собрание научных трудов/ А. Эйнштейн, // М.: Наука, 1966 – Т.1-3
15. Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах / Гулый Г.А., Малюшевский П.П. // Наукова думка, Киев, 1977.
16. Электрические разряды в поле / Наугольных, К.А., Рой Н.А. // Изд-во: М.: Наука, 1971 – 155 с.
17. Химический и физический резонанс в химических процессах и технологиях. Сообщение 1. Особенности и перспективы применения / К.Г. Николаев, Б.Н. Иванов, Э.Р. Магдеев, Р.Х. Шагимуллин, В.С. Минкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019, №1 – с. 8-11.
18. Алгоритм рационального преобразования высоковязких и битуминозных нефтей. Сообщение 1. Обоснование и постановка задач / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, Р.Х. Шагимуллин, В.С. Минкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019, №8 – с. 12-17.

19. Алгоритм рационального преобразования высоковязких и битуминозных нефтей. Сопряженное качественно-количественное моделирование / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, Р.Х. Шагимуллин, В.С. Минкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019, №12 – с. 11-15.
20. Химический и физический резонанс в химических процессах и технологиях. Сообщение 2. Трибологические процессы механохимической технологии / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, Р.Х. Шагимуллин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020, №6 – с. 7-12.
21. Методология и перспективы прорывных рациональных технологий преобразования и добычи высоковязких и битумных нефтей / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, Е.С. Воробьев, А.К. Мезиков, Р.Х. Шагимуллин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020, №12 – с. 11-16.
22. Аналогия явлений – коренной признак природных и техногенных процессов и рациональных технологий / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, К.Г. Николаев, В.С. Минкин, Р.Х. Шагимуллин, Е.С. Воробьев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021, №7 – с. 7-14.

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

05.13.01

Г.Э. Аминова, П.Е. Денисенко

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

**ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ
В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ**

В работе рассмотрены беспроводные системы обеспечения работоспособности железнодорожных транспортных систем и перспективы ее развития. Актуальность темы обусловлена растущим интересом к использованию беспроводной связи для критических и некритических коммуникаций в железнодорожных транспортных системах, а также необходимостью повышения производительности, безопасности и комфорта пассажиров. Указанные улучшения, особенно повышение производительности и безопасность, сопровождаются огромными объемами трафика данных, которые должны обрабатываться системами беспроводной связи. Следовательно, беспроводная связь внутри и снаружи железнодорожных транспортных систем является ключевой технологией для достижения этих целей.

Ключевые слова: *железнодорожные транспортные системы, беспроводная система, сеть GSM-R, сеть LTE, сеть 5G, smart railways.*

Введение. В области железнодорожных транспортных систем наблюдается растущий интерес к использованию беспроводной связи. В настоящее время беспроводная связь в железнодорожных системах применяется для обеспечения связи между поездами и точки «поезд-наземная инфраструктура». Беспроводные технологии позволяют обеспечить безопасное управление поездом, избежать столкновения поездов, а также предоставлять услуги пассажирам и обеспечить доступ в интернет.

Преимущества последнего поколения систем широкополосной связи (например, LTE, 5G, IEEE 802.11ad) и появление беспроводных сенсорных сетей (WSN) для железнодорожной среды объясняются необходимостью обеспечения перехода к сетям GSM-R. Существует множество исследований, анализирующих современное состояние технологий в железнодорожной отрасли и позволяющих оценить перспективы их развития.

В зарубежной науке появилось понятие «умные железные дороги» (smart railways), которое представляет собой сочетание взаимосвязанных технологических решений и компонентов, современной транспортной инфраструктуры, включающей автоматические системы продажи билетов, цифровые дисплеи и интеллектуальные счетчики [1-3].

Подобного рода архитектура сетей и систем требует соответствующего беспроводного оборудования с высокой скоростью передачи данных и интегрированного программного обеспечения. В целом, железнодорожные линии можно разделить на четыре класса: городские, городские/междугородные, междугородные и высокоскоростные. Для каждого класса линий существуют отдельные требования их обеспечения. На основании этого рассмотрена архитектура связей поезда с наземной инфраструктурой и межвагонное соединение.

Основная часть. Создание умных железных дорог началось с эволюции глобальной системы мобильной связи. Сегодня беспроводная коммуникационная платформа повышенной надёжности для железных дорог реализована на основе стандарта радиосвязи Европейской системы управления движением поездов – GSM (GSM-R). GSM-R, в основном, нашли применение в области оперативной передачи видео и голосовой связи. Для наземного соединения необходимо два типа канала: точки доступа, расположенные в железнодорожной и наземной сетевой инфраструктурах. Эти ссылки должны быть двунаправленными, с высокими скоростями передачи данных и задержки менее 100 м/с при движении со скоростью до 350 км/ч и выше. Как правило, системы «поезд-наземная инфраструктура» построены на приборах, использующими GSM-R или IEEE 802.11.

Связь между вагонами может обеспечиваться оптическими кабелями, но использование оптоволоконной связи является дорогостоящим и при повторном подключении требуется постоянная настройка связи. Бесперебойная связь должна обладать высокой скоростью передачи данных и низким уровнем затухания, ввиду этого точки доступа находятся в каждом вагоне.

В настоящее время основными технологиями, применяющимся для межвагонного соединения являются Wireless Fidelity (Wi-Fi), специализированная связь малого покрытия (DSRC) и технология широкополосного доступа в микроволновом диапазоне (WiMAX). Перспективным направлением является сверхширокополосная сеть (UWB) стандарта IEEE 802.15.4a. UWB линии более устойчивы к частотно-избирательному затуханию. Стандарт IEEE 802.11p также может быть одним из технологий применения, при условии невысокой скорости передачи данных. Кроме этого, новыми технологиями считаются технологии на частоте 60 ГГц, такие как mmWave, IEEE 802.11ad и межмашинная связи (M2M). Сравнительные характеристики представлены в Таблице 1.

Основной недостаток GSM-R – ограниченность передачи данных из-за отсутствия передач с коммутацией пакетов. Например, чтобы доставить низкоскоростные данные ETCS, соединения должны постоянно потреблять сетевые ресурсы, даже если они не используются. Максимальная скорость передачи GSM-R на соединение составляет 9,6 кбит/с, а задержка пакета находится в диапазоне 400 м/с, что подходит только для приложений с низкими требованиями.

Возможные решения для повышения его ограниченной пропускной способности (то есть ETCS – Европейская система управления движением поездов, в зонах с интенсивным движением) включают развертывание микроячейки LTE или использование полосы ER-GSM (включает стандартную и расширенную GSM полосу 900) и переход на ETCS для данных с коммутацией пакетов с использованием GPRS, усовершенствованной общей службы пакетной радиопередачи (EGPRS) или усовершенствованной службы фазы 2 (EGPRS2).

Будущие беспроводные системы для железных дорог должны решать многие вопросы, такие как стоимость, распределение частот и совместимость. GSM-R система, при таких условиях, не всегда совместима с другими видами связей. С другой стороны, LTE стандарта 3GPP (Проект партнерства по системам 3-го поколения) затратны и зависимы от мобильных операторов.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики GSM-R и LTE

№ п/п	Параметр	GSM-R	LTE
1	All-IP в основном режиме	Да	Нет
2	Частота	DL: 921-925 МГц, UL: 876-880 МГц	450 МГц, 800 МГц, 1,4 ГГц и 1,8 ГГц
3	Пропускная способность	0,2 МГц	1,4-20 МГц
4	Модуляция	GMSK	QPSK и 16-QAM
5	Пиковая скорость передачи данных	DL/UL: 172 Кбит/с	DL:50 Мбит/с, UL:10 Мбит/с
6	Пиковая спектральная эффективность	0,33 бит/с/Гц	2,55 бит/с/Гц

7	Диапазон ячеек	8 км	4-12 км
8	Конфигурация соты	Единый сектор	Единый сектор
9	Передача информации	Голосовой вызов	Коммутация пакетов, данные UDP
10	Повторная передача пакетов	Нет (серийные данные)	Уменьшено (пакеты UDP)
11	Многоканальный вход – многоканальный выход (MIMO)	Нет	2x2
12	Мобильный доступ	500 км/ч	500 км/ч
13	Абонентское соединение	≥ 99.5%	≥ 99.9%
14	Тип передачи	Жесткий (с кратковременным прерыванием соединения)	Мягкий (без потери данных)

Будущие беспроводные системы для железных дорог должны решать многие вопросы, такие как стоимость, распределение частот, совместимость и, главное, скорость передачи трафика и обработки информации. В таких условиях с учетом недостатков рассмотренных выше сетей оптимальный выбор – сети 5G. При этом основное значение приобретает их интегрирование с волоконно-оптическими транспортными доменами доступа, требования к которым и структуру построения можно найти в [4-6].

Заключение. Таким образом, в работе показана актуальность темы и рассмотрены беспроводные связи для критических и некритических коммуникаций в железнодорожных транспортных системах, обусловленные необходимостью повышения производительности, безопасности и комфорта пассажиров. Как наиболее перспективный, выбран путь использования развертывания микроячеек LTE и их переход, в ближайшие пять лет, к технологиям 5G.

Список литературы

1. Paula Fraga-Lamas, Towards the Internet of Smart Trains: A Review on Industrial IoT-Connected Railways / Paula Fraga-Lamas, Tiago M. Fernández-Caramés, Luis Castedo // Sensors – 2017. – 17 – 44 p.
2. HORIZON 2020 Work Programme 2016–2017 11. Smart, Green and Integrated Transport, EC Decision C(2016)4614, July 2016. Available online: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-transport_en.pdf (accessed on 1 April 2017).
3. Masson E., Berbineau M. Broadband Wireless Communications for Railway Applications: For Onboard Internet Access and Other Applications, 1st ed.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2016.
4. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О., Гарипов Н.И., Мисбахов Р.Ш., Мисбахов Р.Ш., Сахабутдинов А.Ж., Морозов О.Г., Морозов Г.А., Ильин Г.И. Инициализация центральной длины волны восходящего потока транспортного WDM-PON домена радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 2 (46). С. 70-86.
5. Макаров И.А., Алюшина С.Г., Анучин В.О., Гарипов Н.И., Мисбахов Р.Ш., Мисбахов Р.Ш., Сахабутдинов А.Ж., Морозов О.Г., Морозов Г.А., Ильин Г.И. Рефлектометрические методы настройки длины волны лазера восходящего канала в транспортном WDM-PON домене радиосетей доступа мобильной связи 5G // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 3 (47). С. 66-84.
6. Morozov O.G., Makarov I.A., Vasilets A.A., Sarvarova L.M., Alushina S.G. Two-frequency reflectometric initialization of the upstream central wavelength in transport WDM-PON domain for 5G mobile radio access networks // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. P. 9416055.

05.13.01

Г.Н. Власичев д-р техн. наук, Н.М. Махина

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

СТРАТЕГИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩАЯ ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ С ОТСРОЧКОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОБ ОКОНЧАНИИ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

В работе рассмотрены стратегии обращения с отработавшим ядерным топливом. Сделаны выводы об экономической и энергетической целесообразности проектирования и строительства контейнерных хранилищ ОЯТ с возможностью долгосрочного хранения.

Ключевые слова: *отработавшее ядерное топливо, хранение, переработка, радиационная безопасность.*

Обращение с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) – одна из главных проблем ядерной отрасли. Это может быть переработка, продление срока хранения или захоронение в геологических формациях.

Для атомной энергетики существуют два вида ядерного топливного цикла (ЯТЦ)— открытый (разомкнутый) и закрытый (замкнутый). В открытом варианте ЯТЦ отработавшее топливо исключают из последующего использования вместе с остаточными делящимися изотопами. После бассейна выдержки его помещают в специально оборудованные хранилища, где выдерживают несколько десятилетий, затем перерабатывают в форму, предотвращающую хищение радионуклидов и подготавливают к окончательному захоронению в геологических формациях. Такой цикл имеет ряд преимуществ: отсутствие основного источника загрязнения окружающей среды радионуклидами — радиохимического завода, то есть отсутствие в наибольшей степени радиационно-опасного производства, которое нуждается в обслуживании и последующем выводе из эксплуатации. Основными недостатками цикла являются: неполное использование потенциала ядерного топлива, а также быстрое увеличение территории геологических захоронений ОЯТ. Есть вероятность возникновения трудностей при создании надежной изоляции ТВС от биосферы на долгое время (есть риск освобождения радионуклидов в случае повреждения твэлов при их долговременном хранении).

В закрытом варианте ЯТЦ ОЯТ транспортируется на радиохимический завод, где перерабатывается с целью извлечения делящихся ядерных материалов и возврата их в цикл. Преимущества данного цикла:

– Переработка ОЯТ может быть экономически выгодна за счет восстановления неиспользованного урана, который был произведен в реакторе, так как она экономит часть средств на добычу и обогащение природного урана, также экономит его, как природное ископаемое (в энергетических единицах экономия составляет около 30 %)[1];

– ОЯТ содержит около 1 % плутония. После переработки топливо может быть соединено с обедненным ураном (смешанное оксидное топливо или МОХ-топливо) и затем станет топливом для реакторов на быстрых нейтронах. Такие реакторы обладают способностью «дожигать» долгоживущие (с периодом полураспада до тысяч и сотен тысяч лет) радиоактивные продукты деления, преобразовывая их в короткоживущие с периодом полураспада в 200—300 лет. В дальнейшем они могут быть захоронены с соблюдением соответствующих норм и не окажут влияние на естественный радиационный фон Земли;

– Переработка топлива уменьшает количество высокорadioактивных отходов, которые следует хранить соответствующим образом.

Недостатками закрытого цикла являются возможность загрязнения окружающей среды радионуклидами при переработке, а также большие финансовые затраты на ввод и вывод из эксплуатации радиохимического завода. Однако при условии создания эффективных технологий замыкания, такой цикл позволит избавиться от большого количества ОЯТ.

В России процесс переработки ограничен мощностью производства ПО «Маяк» и технологическими особенностями ОЯТ разных видов. Перерабатывающий комплекс РТ-1 имеет мощность переработки 400 т тяжелого металла в год. [2] В настоящее время на заводе осуществляется переработка ОЯТ: энергетических реакторов (БН-350, ВВЭР-440, БН-600, РБМК-1000, ВВЭР-1000; БН-МОКС); исследовательских реакторов российских и зарубежных научных центров; транспортных энергетических установок.

Таблица 1 – Объем (тыс. тонн) ОЯТ, выгружаемого из реакторов АЭС России. [2]

Тип реактора	2000г.	2010г.	2025г.
РБМК - 1000	10	15.3	22.5
ВВЭР – 440	0.3	1.0	2.0
ВВЭР - 1000	2.5	3.1	8.4

Исходя из вышесказанного, сопоставив мощность комплекса РТ-1 и данные таблицы 1, стоит сделать вывод, что на данный момент в России и в мире существует недостаточно предприятий по переработке ОЯТ, это связано с нехваткой технологий, позволяющих сделать процесс наиболее экономически и энергетически выгодным и безопасным для окружающей среды. Разработка технологий замыкания ЯТЦ требует больших временных затрат. Для переработки всего объема ОЯТ уйдет более 60 лет.[3] Вариант без переработки ОЯТ оказывает более существенное воздействие на окружающую среду, так как в этом случае увеличивается площадь окончательных захоронений. В настоящий момент многие страны избирают в качестве национальной политики обращения с ОЯТ его долговременное хранение с отсрочкой на будущее принятия решения об окончании топливного цикла – стратегию «отложенного решения». Отработавшее топливо в силу наличия целого ряда преимуществ, хранят, как правило, на территории АЭС. Такая политика позволяет на десятилетия отсрочить выбор стратегии обращения с отработавшим топливом после его нахождения в приреакторном бассейне выдержки, давая временной ресурс на постройку новых перерабатывающих предприятий и усовершенствования проектов хранилищ. По истечении срока хранения есть вероятность появления новых технологий переработки, дальнейшего использования или наиболее безопасного захоронения ОЯТ. Также не стоит исключать возможность возникновения альтернативных видов энергии.

Наиболее технологичным вариантом пристанционного хранилища отработанного ядерного топлива (ХОЯТ) является сухое хранилище с использованием универсальных контейнеров – для долгосрочного хранения и транспортировки. Такой вариант имеет ряд преимуществ: уменьшение эксплуатационных затрат, модульная конструкция – возможность расширения, уменьшение количества операций по перегрузке. [4] Конструкционная надежность и материалы контейнеров дают возможность хранить ОЯТ в течение 50 и более лет. Отвод тепла от ОЯТ производится за счет естественной вентиляции без применения принудительных систем.

Ядерная безопасность при контейнерном хранении обеспечивается за счет применения дистанцирующих и поглощающих элементов внутри контейнера, с помощью размещения отработавших тепловыделяющих сборок в пеналах, что обеспечивает их изоляцию друг от друга вне зависимости от времени и при практически любых проектных и запроектных внешних воздействиях.

Долговременное хранение ОЯТ на территории АЭС имеет ряд важных преимуществ экономического характера, по соображениям безопасности, охраны окружающей среды, общественного восприятия экологических проблем, лицензирования. К наиболее существенным преимуществам, выявленным в ходе анализа [5], относятся:

- использование готовых транспортных коммуникаций, сокращение расстояний для перевозок и упрощение систем физической защиты;
- частичное объединение инфраструктуры станции и хранилища;
- в случае предаварийных ситуаций либо аварий будет обеспечено вмешательство квалифицированного персонала станции;
- упрощение процедуры лицензирования – уменьшаются стоимость и длительность процесса лицензирования, так как уже известны месторасположение объекта, его характеристики, технические аспекты;
- отсутствие необходимости в геотехнических исследованиях в полном объеме, так как зона расположения исследована при выборе площадки АЭС.

К настоящему времени накоплен значительный опыт реализации проектов сооружения контейнерных хранилищ ОЯТ российских реакторов ВВЭР, эксплуатируемых за рубежом. Введены или находятся в стадии сооружения контейнерные хранилища на чешских АЭС «Дукованы» с реактором ВВЭР-440 и «Темелин» с ВВЭР-1000, болгарской АЭС «Козлодуй» с ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Также разрабатываются универсальные транспортно-упаковочные комплекты для АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и АЭС-2006/2009 нового поколения «3+».

Выводы. На данном этапе развития технологий переработки и захоронения ОЯТ долговременное промежуточное хранение является целесообразным способом обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды. А также дает временные ресурсы для поиска новых решений задачи обращения с ОЯТ, которые позволят облегчить эту задачу для будущих поколений.

Список литературы

1. *Никитин А.*, Доклад объединения Bellona. 2011. Об экономике российской ядерной энергетики. - Текст : электронный // : [сайт]. - URL: https://bellona.org/assets/sites/4/fil_economy_05_BW_obl.pdf
2. *Бекман Н.И.* Послереакторная часть уранового топливного цикла / Н.И.Бекман // Ядерная индустрия. – 2005. – с.1-19.
3. *Девос Л.*, Преимущества переработки и рециклирования ОЯТ. Атомэко, 2015. – Текст : электронный // : [сайт]. URL: <http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2015/Materials/Devos.pdf>
4. *Макарчук Т.Ф., Афонютин М.Ю.*, Программа развития контейнерных технологий обращения с ОТВС российских АЭС, как инструмент унификации решений по длительному хранению ОЯТ. АО ФЦЯРБ АТОМЭКСПО-2015. – Текст : электронный // : [сайт]. URL: <http://2015.atomexpo.ru/mediafiles/u/files/materials/6/Afonutin.pdf>
5. *Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М.* Хранение отработавшего ядерного топлива на АЭС / Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М – Текст : непосредственный // Информационный бюллетень ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны». - 2012. Серия: атомная энергетика.

05.13.01

Н.В. Ершов канд. техн. наук

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В ВУЗЕ

В работе рассмотрено применение инструментов бережливого производства к системе не материального производства. Рассмотрен конкретный пример в работе такой системы, обнаружены проблемные места и предложены мероприятия по устранению потерь.

Ключевые слова: *управление, оптимизация ресурсов, потери.*

Бережливое производство — это концепция управления предприятием, основанная на постоянном стремлении к устранению всех видов потерь. В различных источниках [1], [2] для предприятий, различают 7-8 видов потерь суть которых сводится к следующим:

1. Перепроизводство – производство товара в большем количестве, чем требуется. В результате происходит перерасход ресурсов на производство товара.

2. Лишние движения – перемещение сотрудников, обусловленные не «идеальной» организацией производства (переход из одного места в другое, поиск предмета, информации, человека). Ряд таких движений может быть обоснован технологией производства, но на практике чаще это является «необязательными» движениями, приводящими к потерям рабочего времени.

3. Транспортировка – перемещение материалов, не добавляющие ценности товару с точки зрения заказчика (прием и перемещение сырья со склада, перемещение полуфабрикатов между операциями, перемещение готовых изделий в отдел контроля, перемещение оборудования со склада или на склад). Зачастую это необходимые перемещения, но они требуют затрат.

4. Излишние запасы – любые материалы или готовые товары, имеющиеся в большем количестве, чем требуется (хранение комплектующих и готовой продукции, которые не востребованы).

5. Избыточная обработка – выполнение действий (операций), не добавляющие ценности товару с точки зрения заказчика (излишние проверки, тестирование товара, многослойная упаковка, непродуманные конструктивные решения).

6. Ожидание – простаивание сотрудников и (или) оборудования (отсутствие компонентов, не пришла деталь с предыдущей операции, поломка оборудования).

7. Дефекты – изготовление товара, не соответствующей требованиям заказчика. Дефекты приводят к потерям времени и ресурсов на переделку и брак продукции.

8. Потери человеческого потенциала – выполнение высококвалифицированным сотрудником рутинной работы, для выполнения которой достаточно работника низкой квалификации. При этом специалист «деградирует», т.е. теряет ценность.

Перечисленные виды потерь расписаны для производственного предприятия, т.е. материального производства. ВУЗ производит услугу (обучает), т.е. оно относится к интеллектуальному производству. С учетом этой специфики потери при производстве услуг ВУЗа имеют вид:

1. Перепроизводство – составление ненужных отчетов, лишних копий документов.

2. Лишние движения – поиск необходимых документов, сверка данных из различных систем учета, плохая организация рабочего места (принтер далеко от компьютера и приходится за каждым документом ходить).

3. Транспортировка – ненужная электронная переписка, скачивание и загрузка файлов с компьютера, передача документов по отделам и службам.

4. Излишние запасы – показатели, которые считают, но не используют (например, оценка за контрольные недели), отчеты, которые не используют.

5. Избыточная обработка – многочисленные согласования документов, дублирующие проверки документов, отчетов.

6. Ожидание – ожидание студентов, опаздывающих на занятие, сотрудников, опаздывающих на заседание кафедры, ожидание у оргтехники, печатающей документы.

7. Дефекты – редактирование и правка документов, ошибки при внесении данных, повторное изготовление утерянных или испорченных документов.

8. Потеря человеческого потенциала – загрузка работников высокой квалификации рутинной работой, отсутствие внутреннего обучения, поиск внешних кандидатов на должности вместо формирования собственного резерва кадров, отсутствие системы рационализаторства.

Рассмотрим эти виды потерь на конкретном примере – работе приемной комиссии ВУЗа. При подаче абитуриентом документов на поступление используется алгоритм:

1. Подать документы в приемную комиссию интересующего института, которые расположены в одном большом помещении (зале). На этом этапе проверяют документы и определяют по какому направлению может обучаться абитуриент исходя из его желания и возможностей (документ о имеющемся образовании). У абитуриента заполняют заявку и направляют его заполнять электронный вариант.

2. Заполнение электронного варианта происходит в отдельном кабинете (назовем его вычислительный центр - ВЦ), расположенном метрах в 50 от зала. В ВЦ сидят операторы, у которых имеются компьютеры и принтеры. Абитуриент приходит из зала с бумажным вариантом документов, который переносят в электронный вид и распечатывают.

Из описанного алгоритма налицо лишние движения – перемещения абитуриента из зала в ВЦ [3]. Эти лишние движения приводят к другим видам потерь:

1. Перепроизводство. Если бы компьютеры и принтеры стояли в зале в каждой приемной комиссии института, информация сразу бы заносилась в электронном виде и часть бумажных документов не заполнялась.

2. Транспортировка – перемещение заявок из зала в ВЦ.

3. Ожидание. Когда идет большой поток абитуриентов, на ВЦ образуется очередь, т.к. заявки заполняются быстрее, чем электронные документы. Абитуриенты стоят в очереди и теряют время.

4. Потеря имиджа ВУЗа. Лишние передвижения вызывают негативные реакции как абитуриентов, так и родителей их сопровождающих. В результате первое знакомство с ВУЗом производит не очень хорошее впечатление.

Выше были рассмотрены потери со стороны внешнего клиента – абитуриента. Теперь рассмотрим потери с точки зрения внутреннего клиента – сотрудников ВУЗа, работающих в составе приемной комиссии [4].

Приемная комиссия отдельного института включает в себя:

1. ответственного секретаря;
2. заместителя ответственного секретаря;
3. двух преподавателей, оформляющих заявки и проверяющих документы;
4. двух операторов на ВЦ;
5. трех-четырех студентов, выполняющих вспомогательные работы.

Рассмотрим какие здесь имеют место виды потерь:

1. Избыточные запасы. Рассматривая сотрудников как трудовой ресурс получаем, что при такой организации работы каждая приемная комиссия состоит из 9-10 человек. При этом имеет место превышение нормы подчиненных у ответственного секретаря. Считается, что оптимальной нормой при управлении для руководителя является до 5 подчиненных. Помимо этого, студенты работают две недели, а потом приходят новые студенты, которых приходится обучать с нуля.

2. Ожидание. Работа приемной комиссии длится три месяца, при этом поток абитуриентов не равномерен. Бывают дни, когда поток большой, а бывает, что не приходит ни один абитуриент. Такие дни являются днями простоя сотрудников и оборудования.

3. Потери человеческого потенциала. Работа в приемной комиссии является необходимой, но рутинной. Такая работа не требует привлечения специалистов высокой квалификации, достаточно наличия аккуратных и исполнительных сотрудников. В качестве ответственного секретаря и его заместителя необходимы представители дирекции по каждому институту, для грамотной консультации по вопросам, возникающим у абитуриентов.

Подводя итог анализа работы приемной комиссии можно предложить:

1. Изменить организацию рабочего места. Для каждой приемной комиссии института достаточно поставить в зал по 2 ноутбука и по одному принтеру, соединённому с ними по wi-fi.

2. Изменить состав приемной комиссии института. В составе приемной комиссии института достаточно иметь ответственного секретаря, его зама и 3 сотрудников на оформление документов сразу за ноутбуками. При этом сотрудники будут обучены и смогут выполнять роль оператора. Количество 3 сотрудника на 2 ноутбука закладываем для формирования резерва, в связи с возможной болезнью одного из них. В качестве таких сотрудников можно использовать молодых специалистов: магистров, ассистентов, аспирантов.

Такие изменения позволят исключить некоторые виды из перечисленных потерь.

Список литературы

1. Голдратт Э., Кокс Д. Цель. Процесс непрерывного совершенствования / Э. Голдратт, Д. Кокс. Москва: Альпина Паблишер, 2014. - 439 с.
2. Вэйдер М. Инструменты бережливого производства. Мини-руководство по внедрению методик бережливого производства / М. Вейдер. – Москва: Альпина Паблишер, 2017. – 125 с.
3. Ершов В.Н., Ершов Н.В., Козлов О.А., Михайлов Ю.Ф. К вопросу оценки качества преподавания в Вузе в условиях цифровой трансформации образования. Научный журнал «Наука о человеке: Гуманитарные исследования» том 14, №4, Омская гуманитарная академия, 2020, с. 76-81
4. Ершов Н.В., Ершова С.В. Связь профессиональных компетенций педагогической и предпринимательской деятельности. Материалы Всероссийской научно – методической конференции «Инновационные технологии в образовательной деятельности», Н. Новгород, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2019, с. 190-193

05.13.01

В.И. Курир

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ,
институт автоматики и электронного приборостроения,
кафедра электрооборудования,
Казань, kurir_valerian@mail.ru

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТУРБИН, ПОДВЕРЖЕННЫХ КАВИТАЦИИ

Представлен анализ работ по созданию оптимальной защиты гидротурбин от кавитационного разрушения и гидроабразивного износа.

Ключевые слова: *гидротурбина, кавитационная защита, защитные нанопокрyтия.*

Анализ работы гидротурбин показывает, что детали её проточной части подвергаются гидроэрозии и сравнительно быстро выходят из строя. Процесс гидроэрозии металла сопровождается электрохимической коррозией.

Укажем типы ремонтных работ, связанных с коррозией и производимых над лопастями гидротурбин. Это шлифовка, заварка, наплавка, облицовка. Капитальный ремонт турбин должен производиться 1 раз в 5 – 7 лет. В связи с гидроэрозией на лопасти турбин и направляющих аппаратов наносятся специальные защитные покрытия, позволяющие увеличить их срок службы. Приведём наиболее эффективные современные защитные покрытия гидротурбин.

В 2011 – 2012 гг. при восстановлении и реконструкции Баксанской ГЭС на гидротурбины были нанесены эффективные новейшие защитные нанопокрyтия. Специалистам компании предстояло решить сложную задачу: защитить элементы гидротурбин от интенсивного износа при эксплуатации [1].

Износ происходит в результате гидроабразивных процессов при работе деталей в условиях рек северного Кавказа. Особенность воды в данных реках – это высокое содержание взвеси в виде речного песка. В феврале 2017 года произвели очередную оценку состояния защитного покрытия деталей проточной части турбины, отработавших четыре года без восстановительного ремонта. Наиболее подверженная гидроабразивному воздействию деталь – рабочее колесо гидротурбины. Выявлено, что нанопокрyтие на основе карбида вольфрама, нанесенное газотермическим методом, в условиях эксплуатации продолжает успешно защищать детали гидроагрегата от износа.

Вследствие того, что наночастицы имеют очень малые размеры (нанометровые), а их огромное количество, то покрытие аналогично по прочности керамике и металлическим сплавам. Покрытие демонстрирует отличную ударную вязкость. Из-за их большой удельной поверхности и высокой активности наночастицы могут очень легко плавиться равномерно, создавая покрытия с очень низкой пористостью. Автор [2] сообщает о результатах исследовательского проекта по нанесению покрытия в виде наночастиц композита WC/Co – карбида вольфрама и кобальта на рабочее колесо гидротурбины Каплана. В данном WC – твердая фаза (матрица), а Co – фаза металлического связующего. Метод нанесения – HVOF (сверхзвуковое газопламенное напыление). Нанопокрyтие обеспечивает достаточно высокую жесткость, лучше сопротивляется взрывной функции и обеспечивает лучшую устойчивость к кавитации среди металлов.

Специалисты по новейшим покрытиям [3] предлагают материалы для нанесения твердых, прочных покрытий, используемых на новом оборудовании и для ремонта поврежденных компонентов гидротурбин, увеличивающие срок службы элементов гидротурбин в 20 – 30 раз по сравнению с элементами без защитных покрытий:

1. Покрытия для турбин Kaplan: части или целиком лопасти Kaplan были напылены карбидом кобальт-хромовым материалом (WC-CoCr) с использованием процесса распыления высокоскоростного кислородного топлива (HVOF), в результате чего были получены очень плотные, устойчивые к истиранию и эрозии покрытия.

2. Покрытия для турбин Francis: компоненты турбин Francis – направляющие лопатки, ступицы, ободы турбин и рабочие колеса с лопастями, также покрываются карбидом кобальт-хромовым материалом с использованием процесса распыления высокоскоростного кислородного топлива (HVOF) распылительными аппаратами WokaJet™ и WokaStar™, что приводит к очень плотному покрытию, устойчивому к истиранию и гидроэрозии. Покрытия для рабочих колес импульсного типа, такие как Pelton, предотвращают износ ковша и снижение эффективности.

3. Универсальные газотопливные HVOF (HVOF-GF) способы нанесения, применяемые с помощью распылителей Diamond-Jet™, позволяют создавать нанослои для сложных геометрических форм с хорошим радиусом действия и высокой износостойкостью.

4. Специалисты по новейшим покрытиям [4] предлагают технологию и оборудование для нанесения защитного покрытия посредством воздушно-пламенного напыления – APS на элементы гидротурбин, работающих при значительных температурах (паровые турбины).

5. Нанесение защитных покрытий посредством распыления частиц горячей проволоки (CW), предназначенных для подшипников, валов, наконечников – для размерного ремонта и снижения трения в процессе эксплуатации.

Представим технологию [5], сварочные материалы которой марки CaviTec имеют более высокие характеристики сопротивляемости кавитации по сравнению с традиционными материалами. Электрод специально разработан для нанесения покрытий, стойких к кавитации и коррозии. Данный материал с высоким содержанием кобальта специально предназначен для наплавки на рабочие поверхности оборудования гидросистем. Идеально подобранное содержание кобальта, хрома, никеля в сплаве Cavitес, позволяет помимо повышенных антикоррозионных свойств получить микроструктуру наплавленного слоя, отличающуюся минимальным дефектом кристаллической решетки, что способствует эффективному гашению энергии, вызываемой кавитацией [6]. Сталь 308 на рисунке 1 – аналог отечественной стали 10X18H10T [6].

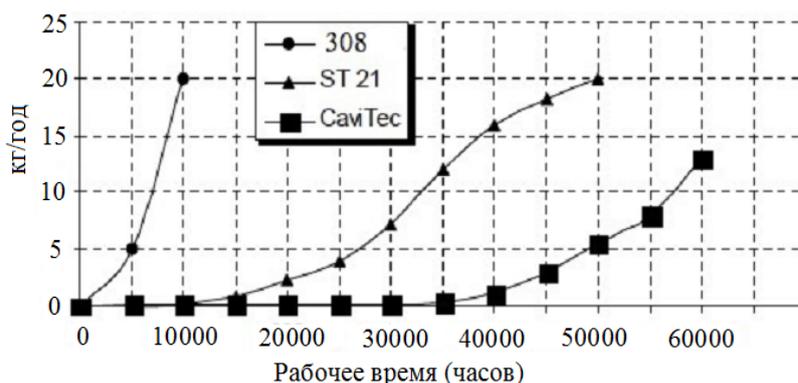


Рис. 1 – Сравнительная диаграмма потерь веса проволоки CaviTec относительно известных материалов

Специальное основное покрытие облегчает процесс сварки, позволяет получать ровную гладкую поверхность наплавленного слоя.

Нововведения в последние годы затронули конструкции направляющих аппаратов гидротурбин и направляющих подшипников вращающихся валов гидротурбин, омываемых водой.

Направляющий подшипник гидротурбины – резиновый на водяной смазке, предназначен для фиксации положения вала турбины. В процессе работы он воспринимает радиальные нагрузки, возникающие от механического, гидравлического и электрического дисбаланса ротора.

Направляющий подшипник, как правило, выполнен с обрешиненными вкладышами, заключенными в кольцевой корпус подшипника. Уплотнение подшипника осуществляется с помощью сальника.

С целью увеличения сроков работы направляющих подшипников валов гидротурбин, а также направляющих аппаратов гидротурбин, разработаны [7] и производятся изделия из антифрикционных углепластиков марок на основе эпоксидных и фенольных терморезистивных полимерных матриц и углеродных тканей – УГЭТ и ФУТ: сегменты опорных подшипников валов гидротурбин; сектора торцевых и радиальных уплотнений валов гидротурбин; подшипники цапф лопаток направляющего аппарата гидротурбин; втулки рычагов, упорные и опорные планки механизма поворота лопаток направляющего аппарата гидротурбин; втулки сервомоторов гидротурбин.

Выводы

Нанесение новейших защитных слоев на рабочее колесо гидротурбины и направляющие аппараты турбин в современном ремонтном цеху ГЭС многократно повысит сроки ремонтных работ и капитального ремонта турбины. Для этого ГЭС должна обладать собственным новейшим оборудованием для нанесения защитных покрытий и подготовленными специалистами ГЭС. Данная операция должна уменьшить время простоев ГЭС, отдельного гидроагрегата, связанных с прежними регулярными ремонтными работами, привести к замене регулярных ремонтных работ регулярными осмотрами. Создаётся реальная возможность совмещать по времени капитальные работы по гидрогенератору и гидротурбине.

Следует проводить специальное дополнительное обследование внутренних поверхностей корпусов спиральной камеры и отсасывающей трубы (в период капитального ремонта гидрогенератора, либо ремонтных работ по гидроагрегату), реставрировать соответствующие защитные покрытия на данных поверхностях.

Список литературы

1. Покрытия «Плакарт» защитили одну из старейших ГЭС России. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.rusnano.com/about/presscentre/news/20170227-rosnano-pokrytiya-plakart-zashchitili-odnu-iz-stareyshikh-ges-rossii/html>.
2. Li Y., Ma J., Yu W. Application of Nanotechnology on Hydraulic Turbine Abrasion and Erosion // In: 2010 International Conference on Power System Technology, 24 – 28 Oct. 2010. – Hangzhou, China. – 3 p.
3. Coating Service Solutions Metco TURB Extend hydro turbine life, maintain efficiency and safety / Oerlikon Metco. – 2018 – 2 p. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://www.oerlikon.com/metco/FLY0050.3_Metco_TURB_EN.pdf.
4. Воздушно-плазменное напыление (APS). Повышение износостойкости вашего оборудования/Sulzer. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.sulzer.com/ru/russia/shared/services/atmospheric-plasma-spraying-aps/html>.
5. Электроды CaviTec SMA для защиты от кавитации и коррозии / Top-Technology. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://toptechno.ru/ru/shop/svarochnoe/rashodnye-materialy/electrody/iznosostoykie-materialy/electrody-cavitec-sma-zaschity-ot-kavitasii.html>.
6. Габайдулин Д.Ю., Гречнева М.В. Возможности восстановления лопастей гидротурбин, подверженных кавитацией // ВЕСТНИК ИРГТУ 2012, №12 (71), с. 40 – 43.
7. Антифрикционные углепластики марок УГЭТ, ФУТ и теплостойкие углепластики марки УПФС / Прометей. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.crismprometey.ru/science/nonmetallic/ugleplastik-uget-fut.aspx>.

05.13.01

Н.А. Максимов, Ю.Б. Склеймин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Институт № 3 - «Системы управления, информатика и электроэнергетика»,
кафедра «Цифровые системы и информационные технологии»,
Москва, n-a-maximov47@yandex.ru

ОРИЕНТАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТЫ ВЫСОТ МЕСТНОСТИ

В статье разрабатывается алгоритм определения текущего местоположения БПЛА, оснащенного монокулярной камерой, по фотографиям местности под ним. Показана возможность сведения решаемой задачи к задаче определения диспаритета (сдвига) по двум последовательным пересекающимся изображениям, для множества наиболее ярких точек, что позволило определить их высоты. Таким образом производится построение карты высот. Предлагается алгоритм поиска связанных точек изображения с данными модели высот данной местности (DTED), хранящейся в памяти бортового компьютера. На основе предложенного алгоритма производится оперативное определение координат БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, матрица высот местности, определение координат, выделение контуров, яркие точки, диспаритет, навигация.

Все более актуальным направлением в развитии авиации становится использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они используются как в военных, так и гражданских сферах. Одним из важнейших вопросов, связанных с эффективностью функционирования БПЛА является их навигационное обеспечение. Сегодня известны и используются три основные навигационные системы: спутниковой навигационная система (СНС)[1], системы инерциальной навигации (ИНС)[2] и системы визуальной навигации [3]. Зачастую, применяются интегрированные инерциально-спутниковые навигационные системы, состоящие из систем спутниковой и инерциальной навигации. Каждая из перечисленных систем имеет свои положительные и отрицательные стороны, которые достаточно подробно освещены в литературе [4].

В данной статье рассматривается визуальная навигация. Преимуществом визуальной навигации является, в первую очередь, ее дешевизна, поскольку она требует только наличие монокулярной камеры и носитель данных с картой территории. Кроме того, системы визуальной навигации имеют те же преимущества, что и ИНС: помехозащищенность и автономность, что позволяет применять их вместо ИНС.

К недостаткам данного метода можно отнести возможную неоднозначность определения местоположения БПЛА в случае, если текстура земной поверхности под БПЛА содержит много повторяющихся объектов (города с монотонной застройкой) или не содержит никаких объектов вообще (водная гладь, поля, пустыни). В таком случае применять системы визуальной навигации целесообразно в качестве дополнения для ИНС — это позволит корректировать данные о местоположении, полученные от ИНС, в условиях невозможности применения СНС для этих целей. Кроме того, при использовании данного метода, ориентация БПЛА станет невозможной при его выходе за пределы территории, сохраненной в базе.

Следовательно, из вышеуказанных достоинств и недостатков визуальных навигационных систем можно сделать вывод, что такие системы хорошо сочетаются с часто применяемыми ИНС и СНС, поскольку преимущества всех трех систем практически идеально перекрывают недостатки друг друга.

Постановка задачи и подходы к ее решению

Пусть имеется карт высот местности. Карта высот представляет собой функцию двух переменных, принимающую координаты точки местности и возвращающую высоту в этой точке. Для генерации карты высот местности необходима последовательность фотографий местности, где каждые две смежные фотографии имеют совпадающую область, составляющую не менее 50% (см. рис. 1).

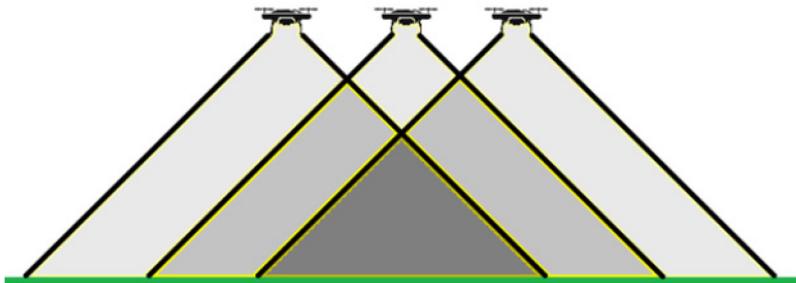


Рис. 1 – Схема совпадающих областей смежных фотографий

В каждой такой паре фотографий совпадающая область снята с двух ракурсов, что позволяет определить высоты точек на этой области по сдвигу точек соответствующих объектов. В большинстве случаев построить полную карту высот, задающую высоты для абсолютно всех точек совпадающей области, оказывается очень затруднительно в силу того, что найти соответствующие точки не всегда возможно. Поэтому каждой паре смежных фотографий ставится в соответствие набор связанных точек, на которых удалось определить высоту.

Для определения местоположения БПЛА в модели высот данной местности (DTED) высоты с таким взаимным расположением, чтобы они совпадали с взаимным расположением и высотами найденных по фотографиям связанных точек. Искомые координаты БПЛА будут соответствовать найденным высотам в DTEM.

Таким образом, задача будет состоять в определении высот точек местности по двум пересекающимся снимкам (на основе определения диспаратета), сделанным с БПЛА и последующего нахождения их соответствия с точками модели DTEM для данной местности, загруженной в память бортового компьютера.

Построение карты высот

На вход поступают два изображения с совпадающей областью. Для определения высоты какой-либо точки на совпадающей области необходимо найти соответствующую точку (принадлежащую тому же объекту, что и исходная) на втором изображении. Тогда, зная фокусное расстояние камеры, стереобазу (расстояние между точками, откуда совершались снимки), диспаратет и расстояние на изображении, соответствующее одному пикселю, можно найти глубину точки, т.е. расстояние от этой точки до камеры.

Поиск пикселя на втором изображении, соответствующего пикселю на первом изображении, осуществляется по окрестности пикселя. Под окрестностью понимается окно 3 x 3 пикселя, в центральной ячейке которого находится сам пиксель. Чтобы найти окрестность, похожую на окрестность с первого изображения, необходимо проверить окрестности всех пикселей на втором изображении и выбрать из них самые похожие. Сравнение окрестностей происходит следующим образом:

1. Для каждой пары соответствующих пикселей считается среднеарифметическое отклонений по трем RGB-каналам;

2. Полученное значение сравнивается с заданным пороговым значением, и, если оно меньше порогового — окрестность можно считать похожей, а пиксель — соответствующим.

Такой поиск может оказаться довольно продолжительным, однако его можно ускорить, уменьшив количество пикселей, которые необходимо перебрать. Это можно сделать следующими способами:

- сжать изображение, уменьшив общее количество пикселей в нем;
- найти приблизительный сдвиг изображений друг относительно друга и искать только в области вокруг этого сдвига.

Кроме того, искать соответствующие пиксели для всех пикселей изображения нецелесообразно, поскольку во многих случаях похожих окрестностей будет находиться достаточно, чтобы выбрать из них единственную верную было невозможно. Это произойдет в случае поиска, например, пикселя на участке с однородной текстурой(газон) (рис. 2).



Рис. 2 – Поиск пикселя на газоне (указан красной стрелкой)

Для выбранного на рисунке 2 пикселя найдено более 10000 соответствий, что, конечно, не дает никакой информации о соответствующем пикселе на втором изображении. Если же искать соответствие для пикселя, находящегося на границах объектов и содержащего в своей окрестности непохожие друг на друга пиксели, то найти соответствие для такого «особенного» пикселя будет намного сложнее, следовательно, количество соответствий будет достаточно малым и шанс выбрать неверный пиксель резко снижается.

Таким образом, необходимо искать соответствия для тех пикселей, которые находятся на границах объектов. Выделить границы объектов на изображении можно с помощью фильтра Собеля [5].



Рис. 3 – Найденный соответствующий пиксель оказался верным

Согласно определению с сайта wikipedia.org: «Оператор Собеля — дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближённое значение градиента яркости изображения». Оператор Собеля производит свертку изображения с матрицами 3 x 3, в результате чего находятся приближенные значения производных по вертикали и по горизонтали для каждого пикселя изображения». Обозначим значения производных G_x и G_y . Оператор Собеля применяется к изображению в оттенках серого.

Чтобы получить изображение в оттенках серого, необходимо каждый пиксель этого изображения заменить на пиксель, у которого интенсивность каждого цветового канала равна среднему арифметическому интенсивностей цветовых каналов исходного пикселя. Затем вычисляются приближенные значения величины градиента в каждой точке изображения. Модуль градиента вычисляется по формуле:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

На рисунке 4 продемонстрирован результат обработки изображений фильтром Собеля:



Рис. 4 – Результат обработки исходного изображения фильтром Собеля

На рисунке 4 светлые линии — границы объектов на изображении, причем, чем более резкий перепад яркости, тем светлее будет линия.

Поиск соответствующих пикселей со светлых линий будет давать намного более точный результат. Скорость и точность поиска можно значительно повысить, найдя сдвиг изображений друг относительно друга и

сузив область поиска до окрестностей сдвига. Например, сдвиг для пары с рисунка 10 будет равен (15, -60). Это значит, что левое изображение относительно правого сдвинуто примерно на 15 пикселей вправо и 60 пикселей вверх (см. рис. 5).

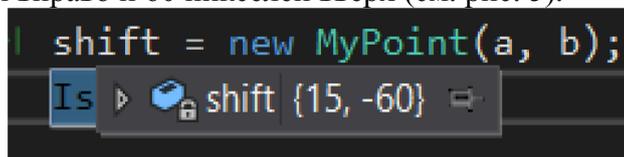


Рис. 5 – Сдвиг изображений

Определив сдвиг изображения, можно серьезно сузить область поиска соответствующей точки на втором изображении. В алгоритме поиска сдвига очень важно минимизировать вероятность ошибки, насколько это возможно, так как ошибка в определении сдвига сильно затруднит дальнейший поиск соответствующих точек.

Проведенное исследование показало, что наиболее целесообразно использовать следующий алгоритм выделения высококонтрастных точек для определения сдвига:

- 1) отсортировать пиксели в порядке убывания контрастности;
- 2) выбрать первый пиксель из сортированной последовательности и внести его в итоговую последовательность;
- 3) исключить из сортированной последовательности все пиксели, находящиеся рядом с выбранным (высший порог близости задается пропорционально размерам изображения);
- 4) повторить с п. 2, пока в итоговой последовательности не будет нужного количества пикселей.

В результате этих действий будет получен набор наиболее контрастных пикселей, лежащих на изображении не кучно. Допустим, извлекаются 5 наиболее контрастных пикселей. Для рисунка 6, если не исключать лежащие рядом пиксели, все 5 пикселей будут лежать в области, выделенной красным эллипсом. На рисунке 7 продемонстрирован результат работы алгоритма с такой модификацией.



Рис. 6 – Пример высококонтрастного объекта, лежащего на области, не являющейся общей у изображений

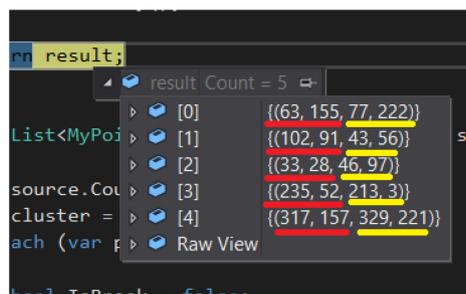


Рис. 7 – Результат извлечения высококонтрастных точек

На рисунке 7 можно заметить, что найденные высококонтрастные пиксели (их координаты подчеркнуты красными линиями) лежат разбросанно по всему изображению. Для каждого такого пикселя можно найти соответствующие пиксели на другом изображении (координаты найденных пикселей на рисунке 7 подчеркнуты желтыми линиями). Если вычесть из координат найденных пикселей координаты исходных пикселей, то получится набор возможных сдвигов. Найдя среднее арифметическое по такому набору можно получить примерный сдвиг изображений. Ошибка в определении сдвига возможна и в этом случае. Избежать, ее можно, если выполнить кластеризацию (выделить множество кучно лежащих точек и удалить далеко лежащие точки) набора возможных сдвигов.

Таким образом, если верными оказались хотя бы два возможных сдвига из всех найденных, а все остальные лежат разбросанно, то приблизительный сдвиг будет успешно найден. В случаях, когда все возможные сдвиги лежат далеко друг от друга, можно перезапустить процесс поиска сдвигов и извлечь больше контрастных точек.

Получение сдвига значительно ускорит поиск соответствующих пикселей на изображениях, что позволит быстро строить карты высот. Для построения карты высот, в первую очередь, необходимо, выделить наиболее контрастные пиксели, лежащие на изображении разбросанно. Для каждого полученного пикселя выполняется поиск соответствующего пикселя с другого изображения. Сама карта высот будет представлять собой словарь, где ключом является пара соответствующих пикселей, а значением - глубина этой точки.

Разработанный алгоритм построения карты высот можно представить последовательностью следующих операций:

- 1) взять два смежных исходных изображения;
- 2) преобразовать исходные изображения в оттенки серого;
- 3) применить к изображениям в оттенках серого фильтр Собеля;
- 4) извлечь из одного из изображений, обработанных фильтром Собеля, небольшое количество наиболее ярких точек, не лежащих кучно;
- 5) найти сдвиг изображений друг относительно друга;
- 6) повторить п. 4 для большего количества точек;
- 7) построить карту высот.

На следующих двух рисунках (рис. 8 и рис. 9) продемонстрированы результаты работы алгоритма.

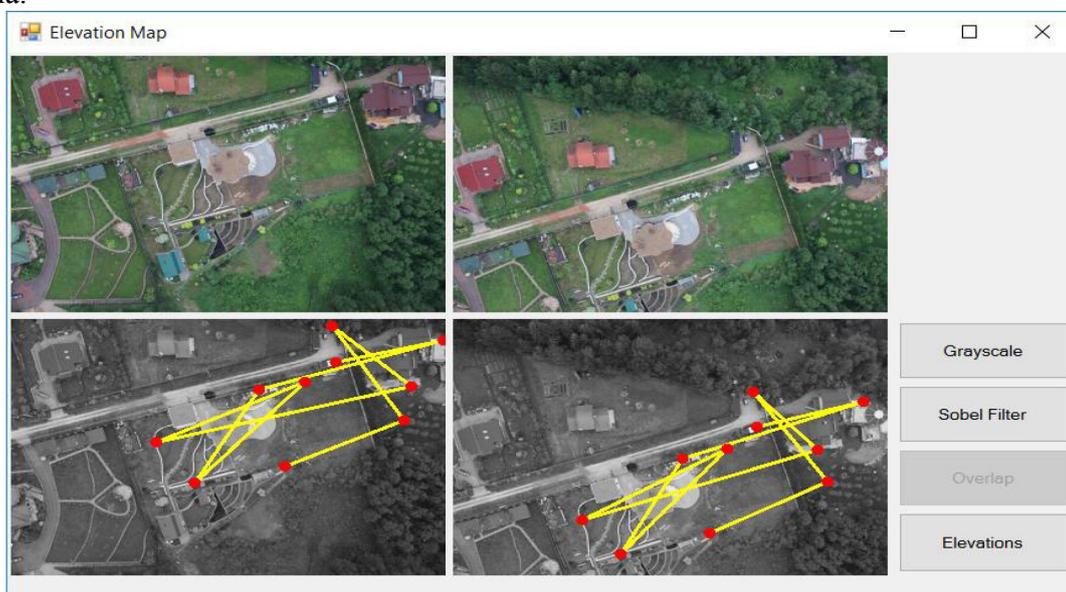


Рис. 8 – Результаты работы алгоритма

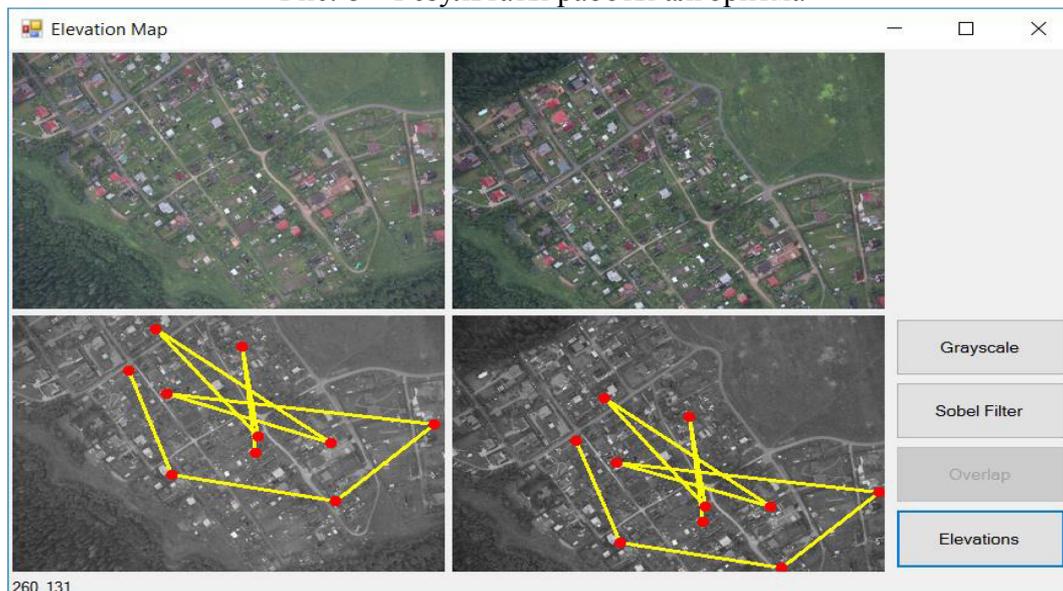


Рис. 9 – Результаты работы алгоритма

Алгоритм поиска карты высот в DTED

DTED представляет собой такую функцию двух переменных, как и карта высот, только имеет значения для четкой сетки координат и задана для гораздо большей области. Значениям координат ставятся в соответствие высоты точек местности. Таким образом, каждому значению координат может соответствовать единственная высота, но не наоборот. Высоты или даже наборы высот могут повторяться в разных местах. Задача же требует найти по набору высот их местоположение и, исходя из вышесказанного, решений может быть несколько. В таком случае необходимо выбрать те координаты, которые находятся ближе всего к предыдущим определенным.

Главную сложность в определении координат представляет то, что изображение может быть повернуто на неизвестный угол (см. рис. 11 и 12). По этой причине карта высот представлена в виде набора связанных точек (см.рис. 10) — в таком виде ее искать проще.

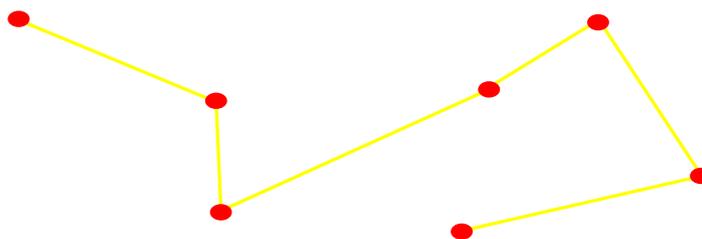


Рис. 10 – Связные точки

На рисунке 10 изображен пример карты высот в виде связанных точек. Каждой красной точке соответствует какая-то высота. На этом примере будет рассмотрен алгоритм поиска связанных точек в DTED. Для удобства представления можно задать вершинам порядковые номера, соответствующие их порядку представления в словаре.

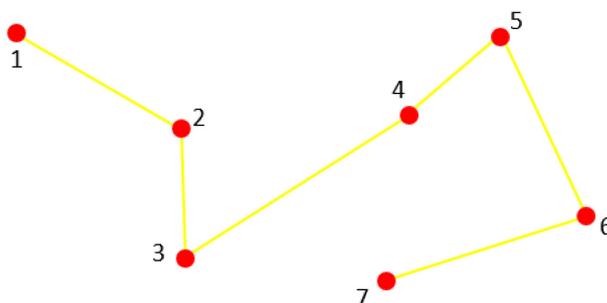


Рис. 11 – Связные точки с порядковыми номерами

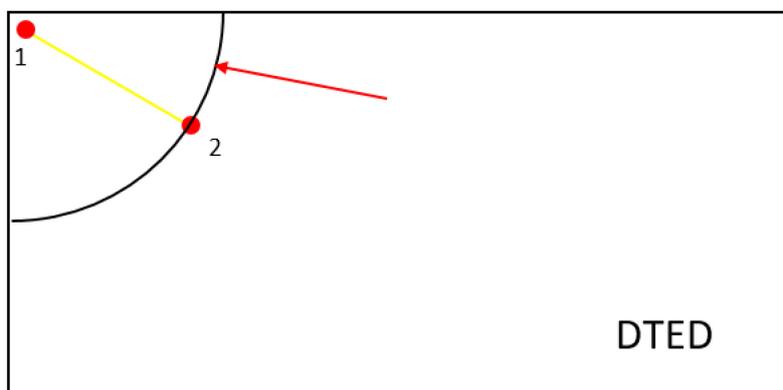


Рис. 12 – Поиск в DTED с неизвестным углом поворота (красной стрелкой обозначена дуга, по окрестностям которой идет поиск второй связанной точки)

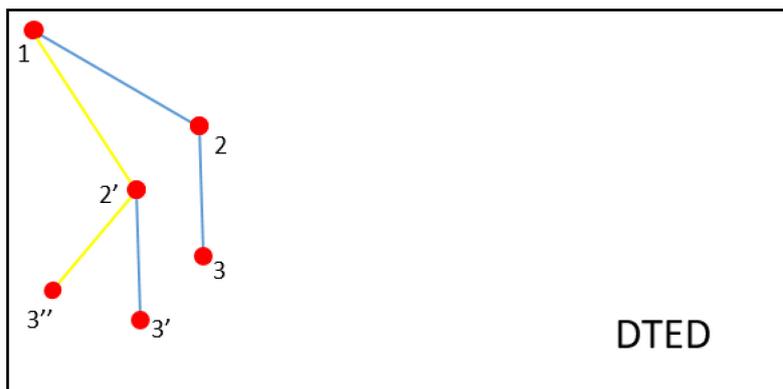


Рис. 13 – Поиск в DTED с найденным углом

На рис. 14 представлена блок-схема данного алгоритма.

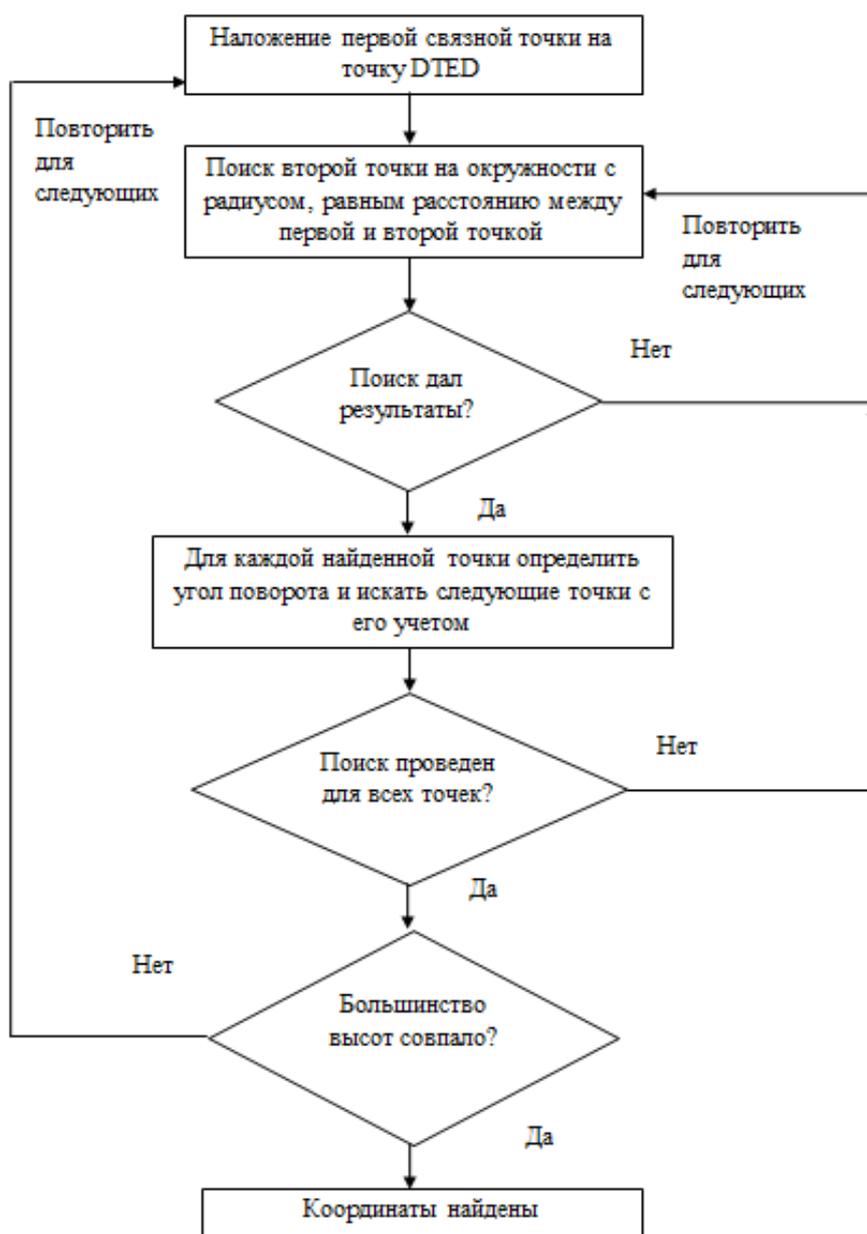


Рис. 14 – Блок-схема алгоритма поиска карты высот в DTED

Выводы и направления дальнейших исследований

Рассмотренный метод нахождения координат имеет сравнительно небольшую трудоемкость и может быть реализован средствами бортового вычислителя БПЛА. Точность определения координат зависит от величины шага сетки DTED и характера местности, над которой совершается полет.

В дальнейшем планируется исследовать зависимость точности определения координат БПЛА от шага сетки DTED, а также сформировать рекомендации по выбору подходящей карты для разных типов рельефа. Дополнительно, располагая картой высот местности, можно рассматривать совокупность самых высоких точек местности как некоторые звездные узоры и применить методы, используемые при ориентации космических аппаратов [7].

Список литературы

1. Википедия. Статья "Satellite navigation" [Электронный ресурс] Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation \ - (Дата обращения: 20.05.2021).
2. Инерциальные навигационные системы (ИНС)[Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.teknol.ru/analytics/ins-> (Дата обращения: 20.10.2021).
3. *Иноземцев Д.П.* – Беспилотные летательные аппараты: теория и практика. / Д.П. Иноземцев // АТИП. – 2013. – № 2(49) – С. 50-52.
4. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратах. Под ред. Себрякова Г.Г и Красильщикова М.Н.: Физматлит, 2009. — 556 с. — ISBN: 978-5-9221-1168-3.
5. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision. — М.: ДМК Пресс, 2007. — 464 с. — ISBN 5-94074-404-4.
6. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное, Москва: Техносфера, 2012. – 1104 с.
7. *Иванов А.В., Пашенцев Д.Ю., Тишкин Р.В.* Алгоритмы идентификации звездных узоров в задаче уточнения элементов внутреннего ориентирования. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета No 4 (35) 2012 г, стр. 80-87.

05.13.01

Г.В. Меркишин, Б.М. Породин

«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
институт №4 «Радиоэлектроника, инфокоммуникации и информационная безопасность»,
кафедра «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование»,
Москва, vinmax98@gmail.com

УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПРЯМОЙ

В работе рассматривается алгоритм оценки пространственного положения прямой с помощью при помощи матриц, а также упрощение алгоритма оценки положения прямой.

Ключевые слова: Алгоритм, положение, прямая, проекция, расположение.

В [1] был рассмотрен алгоритм описания пространственного положения прямой на основе разложения ее изображения на матрице из двух квадратных окон (апертур фотоприемников).

Этот алгоритм рассматривает множество прямых ld в плоскости $xу$ (рис. 1), проходящих через два разнесенных квадрата равных размеров Δ , стороны которых параллельны координатным осям. Такая задача часто встречается при обнаружении кильватерных следов надводных судов на радиолокационных изображениях [2]. В зависимости от положения прямой относительно границ квадратов (апертур фотоприемников ФП1 и ФП2) это положение обозначается соответствующими символами. Например, взаимное положение прямой ld и окон ФП1 и ФП2, изображенное на рис. 1, можно записать сочетанием двух символов (A, A) , где первый символ будем относить к ФП1, второй – к ФП2.

В координатах S_1, S_2 (S_i - величина засвеченной площади (сигнала) в i -м окне) определяются области существования Λ сочетаний символов, что позволяет по измеренным значениям S_1, S_2 оценить положение прямой ld .

С целью реализации упрощенного алгоритма, дающего приближенные параметры пространственного положения прямой ld , запишем выражения для проекции Λ на координатные оси S_1 и S_2 , например

$$\Lambda_{S_1}(A, AD) = \{0 \leq S_1 \leq (S_1)_{B_2D_2}^{A_1B_1}\} \quad (1)$$

$$\Lambda_{S_2}(A, AD) = \{(S_2)_{A_1D_2}^{A_2B_2} \leq S_2 \leq (S_2)_{A_1B_2}^{C_2D_2}\} \quad (2)$$

Аналогичные соотношения для остальных Λ представлены в таблице:

Таблица 1 – Соотношения координат с Λ

Координаты	Λ_{S_1}	Λ_{S_2}
(A, AD)	$\{0 \leq S_1 \leq (S_1)_{B_2D_2}^{A_1B_1}\}$	$\{(S_2)_{A_1D_2}^{A_2B_2} \leq S_2 \leq (S_2)_{A_1B_2}^{C_2D_2}\}$
(A, A)	$\{0 \leq S_1 \leq (S_1)_{B_1B_2}^{A_2D_2}\}$	$\{0 \leq S_2 \leq (S_2)_{A_1B_2}^{A_2D_2}\}$
(AB, A)	$\{(S_1)_{B_1A_2}^{A_1D_1} \leq S_1 \leq (S_1)_{D_1A_2}^{B_1C_1}\}$	$\{0 \leq S_2 \leq (S_2)_{A_1B_2}^{A_2D_2}\}$
(C, A)	$\{(S_1)_{D_1B_2}^{B_1C_1} \leq S_1 \leq \Delta^2\}$	$\{0 \leq S_2 \leq (S_2)_{D_1B_2}^{A_2D_2}\}$
(A, AB)	$\{0 \leq S_1 \leq (S_1)_{D_2B_1}^{B_2C_2}\}$	$\{(S_2)_{B_1B_2}^{A_2D_2} \leq S_2 \leq (S_2)_{B_1D_2}^{B_2C_2}\}$
(AB, AB)	$\{(S_1)_{B_1B_2}^{A_2D_2} \leq S_1 \leq (S_1)_{D_1B_2}^{A_2D_2}\}$	$\{(S_2)_{D_1B_2}^{A_2D_2} \leq S_2 \leq (S_2)_{B_1D_2}^{B_2C_2}\}$
(C, AB)	$\{(S_1)_{D_1D_2}^{B_2C_2} \leq S_1 \leq \Delta^2\}$	$\{(S_2)_{C_1B_2}^{A_2D_2} \leq S_2 \leq (S_2)_{C_1D_2}^{B_2C_2}\}$
(AD, C)	$\{(S_1)_{D_1C_2}^{A_1B_1} \leq S_1 \leq (S_1)_{B_1C_2}^{C_1D_1}\}$	$\{(S_2)_{B_1D_1}^{B_2C_2} \leq S_2 \leq \Delta^2\}$
(A, C)	$\left\{0 \leq S_1 \leq \min\left[(S_1)_{B_1C_2}^{A_1D_1}, \frac{\Delta^2}{2}\right]\right\}$	$\left\{\max\left[(S_2)_{B_1D_2}^{B_2C_2}, \frac{\Delta^2}{2}\right] \leq S_2 \leq \Delta^2\right\}$
(AB, C)	$\{(S_1)_{B_1D_2}^{A_1D_1} \leq S_1 \leq (S_1)_{D_1D_2}^{B_2C_2}\}$	$\{(S_2)_{B_1D_2}^{B_2C_2} \leq S_2 \leq \min[(S_2)_{B_1D_1}^{B_2C_2}, \Delta^2]\}$
(C, C)	$\left\{\max\left[(S_1)_{D_1C_2}^{B_1C_1}, \frac{\Delta^2}{2}\right] \leq S_1 \leq \Delta^2\right\}$	$\{(S_2)_{D_1D_2}^{B_2C_2} \leq S_2 \leq \Delta^2\}$

Таблица 2 – Формулы для расчета $(S_i)_{x,y}^{zu}$:

$(S_1)_{x,y}^{zu}$	S_1	$(S_2)_{x,y}^{zu}$	S_2
$(S_1)_{B1A2}^{A1D1}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_x}{l_y + \Delta}$	$(S_2)_{A1D2}^{A2B2}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_y}{l_x + \Delta}$
$(S_1)_{D2B2}^{A1B1}$	$(S_1)_{D2B2}^{A1D1} = \frac{(l_x + \Delta - l_y)^2}{2}$	$(S_2)_{A1B2}^{A2D2}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_x}{l_y - \Delta}$
$(S_1)_{B1B2}^{AiDi}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_x}{l_y}$	$(S_2)_{B1B2}^{A2D2}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_x}{l_y}$
$(S_1)_{B1D2}^{A1D1}$	$(S_1)_{B1D2}^{B2C2} = \frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_x}{l_y}$	$(S_2)_{D1B2}^{A2D2}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_x - \Delta}{l_y - \Delta}$
$(S_1)_{D1C2}^{B1C1}$	$\Delta^2(1 - \frac{l_x}{2(l_y - \Delta)})$	$(S_2)_{B1D2}^{B2C2}$	$\Delta^2(1 - \frac{1}{2} \frac{l_x + \Delta}{l_y + \Delta})$
$(S_1)_{D1D2}^{BiCi}$	$\Delta^2(1 - \frac{l_x}{l_y})$	$(S_2)_{D1D2}^{B2C2}$	$\Delta^2(1 - \frac{1}{2} \frac{l_x}{l_y})$
$(S_1)_{B2D1}^{A2D2}$	$(S_1)_{B2D1}^{B1C1} = \Delta^2(1 - \frac{1}{2} \frac{l_x - \Delta}{l_y - \Delta})$	$(S_2)_{C1B2}^{A2D2}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_x - \Delta}{l_y}$
$(S_1)_{D1A2}^{B1C1}$	$\Delta^2(1 - \frac{l_x - \Delta}{2l_y})$	$(S_2)_{C1D2}^{B2C2}$	$\Delta^2(1 - \frac{1}{2} \frac{l_x}{l_y + \Delta})$
$(S_1)_{B1C2}^{C1D1}$	$\Delta^2(1 - \frac{1}{2} \frac{l_y}{l_x + \Delta})$	$(S_2)_{B1D1}^{B2C2}$	$\Delta^2 - \frac{1}{2}(\Delta + l_x - l_y)^2$
$(S_1)_{B1C2}^{A1D1}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_x + \Delta}{l_y}$	$(S_2)_{A1D2}^{B2C2}$	$\Delta^2(1 - \frac{1}{2} \frac{l_x + \Delta}{l_y})$
$(S_1)_{D1C2}^{A1B1}$	$\frac{1}{2}\Delta^2 \frac{l_y - \Delta}{l_x}$	$(S_2)_{A1B2}^{C2D2}$	$\Delta^2 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{l_y - \Delta}{l_x}\right)$

В качестве примера на рис. 2 для случая $l_x = 2\Delta$, $l_y = 3\Delta$ в координатах S_1, S_2 показаны области существования Λ сочетаний символов. Отметим, что контур L симметричен относительно прямой, проходящей через точки $R (S_1 = \Delta^2; S_2 = 0)$ и $Q(S_1 = 0; S_2 = \Delta^2)$:

$$\Lambda(A, A) = r^{(RQ)}(\Lambda(C, C)); \tag{3}$$

$$\Lambda(A, AB) = r^{(RQ)}(\Lambda(AB, C)); \tag{4}$$

$$\Lambda(AB, A) = r^{(RQ)}(\Lambda(C, AB)); \tag{5}$$

$$\Lambda(A, AD) = r^{(RQ)}(\Lambda(AD, C)) \tag{6}$$

Области $\Lambda(A, C)$, $\Lambda(AB, AB)$, $\Lambda(C, A)$ делятся прямой RQ на две части, которые являются отражением друг друга в прямой RQ . При данных l_x, l_y области $\Lambda(A, AD)$ и $\Lambda(AD, C)$ вырождаются в точки с координатами соответственно $S_1 = 0, S_2 = \frac{\Delta^2}{2}$ и $S_1 = \frac{\Delta^2}{2}, S_2 = \Delta^2$.

На рис. 3 области Λ показаны ориентировочно на основе проекций Λ_{S1} и Λ_{S2} для тех же значений l_x и l_y . В отличие от рис. 3, на котором точное определение Λ требует вычисления параметров контура L , использование всего двух интервалов Λ_{S1} и Λ_{S2} (вместо L) позволяет быстро оценить примерное расположение прямой ld .

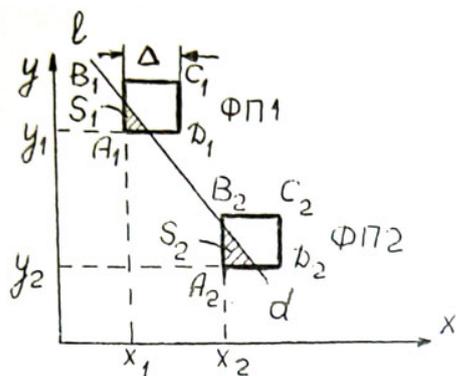


Рис. 1 – Положение прямой линии на разнесенных квадратах

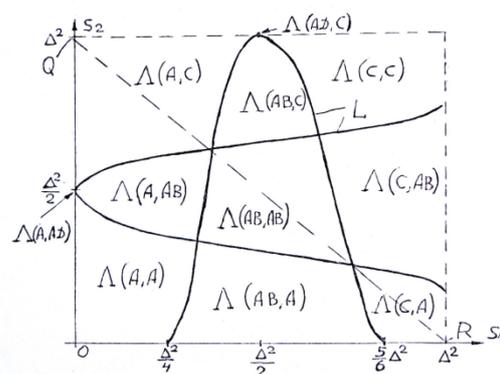


Рис. 2 – Область существования сочетаний сигналов

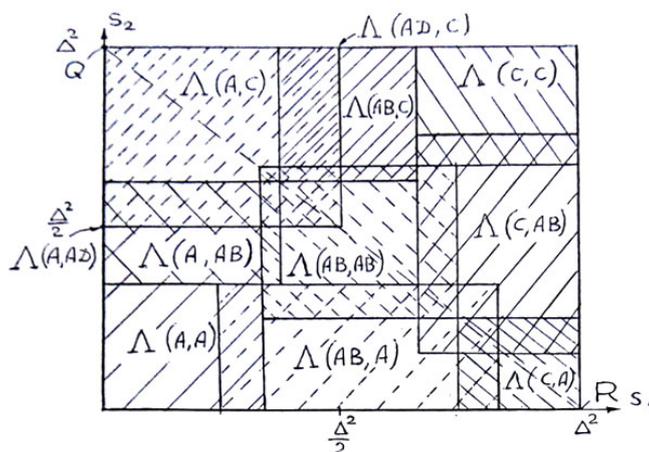


Рис. 3 – Быстрая оценка

Предложенный метод упрощения алгоритма оценки пространственного положения прямой может применяться в различных областях, например в методах оценки положения прямых на радиолокационных изображениях или в системе оценки положения ВПП и расчета векторов захода на посадку для автоматизации посадки вертолетов и БЛЛА [3].

Список литературы

1. Меркишин Г.В. Разложение изображения прямой на матрице квадратных окон / Г. В. Меркишин, Б. М. Породин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 11. – С. 38-41
2. Елизаветина С.И. Оценка эффективности автоматического обнаружения кильватерных следов надводных судов на радиолокационных изображениях / С. И. Елизаветина, М. С. Виноградов // XLVII Гагаринские чтения 2021 : Сборник тезисов работ XLVII Международной молодежной научной конференции, Москва, 20–23 апреля 2021 года. – Москва: Издательство "Перо", 2021. – С. 533-534.
3. Виноградов М.С. Система автоматической посадки вертолета в различных метеорологических условиях / М. С. Виноградов // Материалы XIII Международной конференции по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАГ'2020), Алушта, 06–13 сентября 2020 года. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – С. 474-475.

05.13.01

¹И.С. Некрасов, ^{1,2}В.С. Тынченко, ^{1,2}Я.А. Тынченко, ^{1,2}В.В. Бухтояров

¹Сибирский федеральный университет,
кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
лаборатория биотопливных композиций,
Красноярск, nekrasov-is@ya.ru,

²Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,
кафедра информационно-управляющих систем,
Красноярск, vadimond@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА МЕТОДАМИ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В работе рассматриваются особенности прогнозирования отказов оборудования методами нейросетевого моделирования. В качестве примера рассмотрена технологическая установка гидрокрекинга. Детальное внимание уделено обоснованию методов и разработке алгоритма нейросетевого оценивания параметров гидрокрекинга. Также обозначен порядок выбора и обучения нейронной сети.

Ключевые слова: *отказ оборудования, нейросетевое моделирование, модель, обучение, гидрокрекинг.*

Введение

Проблемы прогнозирования надежности оборудования актуальны практически для всех современных технических систем. В данном контексте очень важным является как можно более точно определить момент отказа оборудования или изменения поведения определяющих параметров. Заблаговременное снятие с эксплуатации оборудования приводит к экономическим потерям, но и не вовремя обнаруженный отказ может обернуться еще большими убытками.

Существующие методы

В качестве примера можно привести методы, базирующиеся на комплексе физических характеристик испытываемого объекта. С использованием этих характеристик разрабатывается математическая модель, позволяющая проводить диагностику механической части оборудования [1]. Однако диагностические методы на основе математической модели достаточно проблематично использовать на практике, так как трудно описать точно модель системы в математическом виде.

Другую группу методов составляют статистические модели, которые предполагают, что исходные данные по дефектам могут быть использованы для прогнозирования будущих отказов оборудования. При этом необходимо осознавать, что характеристики отказов могут меняться со временем, соответственно статистические методы уже не в полной мере будут отображать процесс износа, особенно в случае поэтапного его развития [2].

Искусственные нейронные сети представляют собой математическую модель, позволяющую достичь распределенной обработки параллельной информации. Они дают возможность регулировать взаимосвязи между внутренними узлами в результате чего можно обрабатывать данные в рамках сложной системы [3]. Результаты при диагностировании неисправностей оборудования можно интерпретировать как решение проблем, основанных на конкретном соотношении между признаками неисправностей и причиной их возникновения. Для сложных механических систем эта взаимосвязь является нелинейной.

Принцип создания модели

Особенности использования методов нейронных сетей для прогнозирования отказов оборудования рассмотрим на примере технологической установки гидрокрекинга.

Для создания модели оценки параметров, используемых в нейросетевых средствах распознавания отказов технологического оборудования гидрокрекинга, будем использовать три множества – множество возможных отказов технологического оборудования гидрокрекинга (Ka), множество возможных параметров гидрокрекинга (X) и множество выходных параметров нейронной сети распознавания отказов оборудования гидрокрекинга (Y). В общем случае:

$$Ka = \bigcup_{j=1}^J Ka_j \quad X = \bigcup_{i=1}^I X_i \quad Y = \bigcup_{g=1}^G Y_g$$

где Ka_j - j -ая отказов технологического оборудования гидрокрекинга; J - количество возможных отказов технологического оборудования гидрокрекинга; G - количество выходных параметров нейронной сети; Y_g - g -й выходной параметр; X_i - i -ый параметр гидрокрекинга; I - количество параметров гидрокрекинга.

Для выявления отказов технологического оборудования гидрокрекинга следует сформировать следующее множество троек «входные параметры - выходные параметры - отказы технологического оборудования гидрокрекинга»:

$$X_V \rightarrow Y_N \rightarrow Ka = \bigcup_{j=1}^{V_j} X_i \rightarrow \bigcup_{g=1}^{N_j} Y_g \rightarrow \bigcup_{j=1}^J Ka_j = (\{X_{1,1}, X_{1,2}, \dots, X_{1,V1}\} \rightarrow \{Y_{1,1}, Y_{1,2}, \dots, Y_{1,N1}\}) \rightarrow Ka_j$$

Использование нейронной сети предусматривает, что область множеств X и Y определены на промежутке $[0, 1]$.

При известных тройках выявление отказов технологического оборудования гидрокрекинга k -го типа сводится к установлению соответствия между текущими величинами входящих параметров $\{x_{k,1}, x_{k,2}, \dots, x_{k,Vk}\}$ и величинами множества их параметров $\{X_{k,1}, X_{k,2}, \dots, X_{k,Vk}\}$, соответствующих выходящим значениям $\{y_{k,1}, y_{k,2}, \dots, y_{k,Vk}\}$, которые свидетельствуют про Ka_k .

$$\{x_{k,1}, x_{k,2}, \dots, x_{k,Vk}\} \equiv \{X_{k,1}, X_{k,2}, \dots, X_{k,Vk}\} \Rightarrow \{y_{k,1}, y_{k,2}, \dots, y_{k,Vk}\} \Rightarrow Ka_k$$

Детализируем представленную модель с учетом подходов к распознаванию неожиданных и постепенных отказов технологического оборудования гидрокрекинга. Для этого множество возможных отказов технологического оборудования гидрокрекинга представим в следующем виде:

$$Ka = (Ks, Kq)$$

где Ks , Kq - соответственно множество постепенных и неожиданных отказов технологического оборудования гидрокрекинга.

Множество входных параметров X также разделим на две части:

$$X = (Xs, Xq)$$

$$\{xs_{k,1}, xs_{k,2}, \dots, xs_{k,Vk}\} \equiv \{Xs_{k,1}, Xs_{k,2}, \dots, Xs_{k,Vk}\} \Rightarrow \{ys_{k,1}, ys_{k,2}, \dots, ys_{k,Vk}\} \Rightarrow Ks_k$$

$$\{xq_{k,1}, xq_{k,2}, \dots, xq_{k,Vk}\} \equiv \{Xq_{k,1}, Xq_{k,2}, \dots, Xq_{k,Vk}\} \Rightarrow \{yq_{k,1}, yq_{k,2}, \dots, yq_{k,Vk}\} \Rightarrow Kq_k$$

Использование данных формул позволяет определить модель нейросетевой оценки входных параметров для выявления k -х постепенных отказов технологического оборудования гидрокрекинга или неожиданных отказов технологического оборудования гидрокрекинга в следующем виде:

$$\{xs_{k,1}, xs_{k,2}, \dots, xs_{k,Vk}\} [nnet] \{Xs_{k,1}, Xs_{k,2}, \dots, Xs_{k,Vk}\} \rightarrow \{ys_{k,1}, ys_{k,2}, \dots, ys_{k,Vk}\} \Rightarrow Ks_k$$

$$\{xq_{k,1}, xq_{k,2}, \dots, xq_{k,Vk}\} [nnet] \{Xq_{k,1}, Xq_{k,2}, \dots, Xq_{k,Vk}\} \rightarrow \{yq_{k,1}, yq_{k,2}, \dots, yq_{k,Vk}\} \Rightarrow Kq_k$$

где $[nnet]$ - оператор нейросетевого сравнения.

Таким образом, при выявлении постепенных отказов технологического оборудования гидрокрекинга нейронная модель должна применяться для классификации временных рядов данных, что, в свою очередь может вызвать значительные трудности [3]. Для преодоления этих трудностей целесообразно проводить предварительную обработку постепенных параметров гидрокрекинга с целью удаления из них временной зависимости.

Выбор нейронной сети

Наиболее приемлемым для подавляющего большинства задач оценки технического состояния оборудования и прогнозирования его отказов являются многослойные нейронные сети, обучение которых осуществляется по алгоритму обратного распространения ошибки Левенберга-Марквардта. Основной парадигмой обучения в этом случае является обучение «с учителем». Алгоритм обратного распространения ошибки является одним из самых популярных среди алгоритмов обучения многослойных нейронных сетей. К тому же он является градиентным методом, а не методом оптимизации. Для реализации последовательности операции по обучению искусственных нейронных сетей рекомендуется использовать специализированное программное приложение *Neural Network Toolbox* в среде *Matlab R14*. Погрешность тренировки при установлении настроек в приложении *Neural Network Toolbox* следует выбрать 5%. Рекомендуется для каждого случая избранных комплексов информативных параметров выполнить тренировки 5-7 сетей одинаковой архитектуры.

По мнению авторов, для прогнозирования отказов оборудования гидрокрекинга наиболее приемлемой является классическая архитектура многослойной нейронной сети с обратным распространением ошибки.

На рисунке 1 представлен рекомендуемый тип нейронной сети.

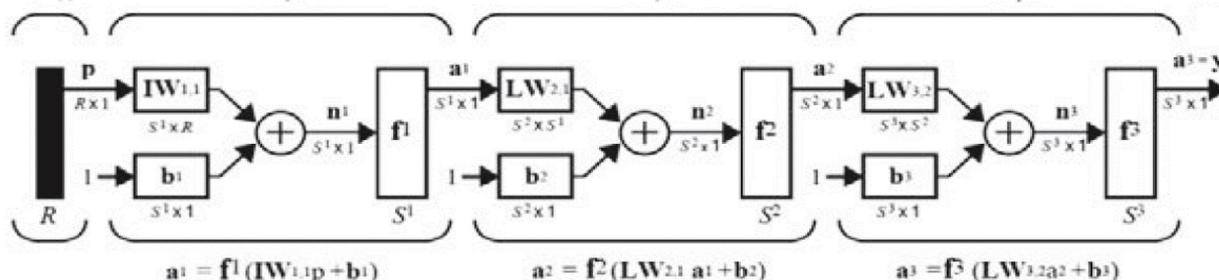


Рис. 1 – Рекомендуемый тип многослойной нейронной сети для прогнозирования отказов оборудования гидрокрекинга, где: R - размерность матрицы входных (информативных) параметров; IW - матрица весовых коэффициентов входного слоя нейронов; p - элементы входного набора параметров; b - матрицы задержек в нейронах; n - обозначение нейронов; LW - матрица весовых коэффициентов скрытых слоев; S - размерность матрицы весовых коэффициентов и задержек нейрона; f - функция преобразования; a - матрицы выходов слоев нейронов; y - выход последнего слоя нейронов

Математическое выражение для расчета исходного значения нейронной сети следующее:

$$y = f_3(LW_{3,2}f_2(LW_{2,1}f_1(IW_{1,1}p + b_1) + b_2) + b_3).$$

В качестве функции преобразования в исходном (последнем) слое рекомендуется использовать сигмоидальную функцию *logsig*, а во всех скрытых слоях - тангенциально-сигмоидальную *tansig*.

Функция *tansig* математически эквивалентна гиперболическому тангенсу. Ее отличием является то, что для большинства программ расчет ее значений выполняется быстрее, чем для гиперболического тангенса, а результаты отличаются очень незначительно. Выбор функций *logsig* и *tansig* в качестве функции преобразования обусловлен следующими соображениями:

- эти функции являются нелинейными, а, следовательно, их совокупность в структуре нейронной сети даст возможность аппроксимировать нелинейные зависимости целевых параметров от информативных. Также *tansig* целесообразно применять в скрытых слоях сети,

поскольку они обладают более высокой чувствительностью к незначительным изменениям входов нейронов по сравнению с *logsig*.

Заключение

Подводя итоги проведенного исследования, можно сделать следующие выводы. Искусственные нейронные сети являются одним из наиболее часто используемых методов интеллектуальной диагностики неисправностей, имеющих возможности высокого уровня обучения и обобщающих характеристик. Результатом использования нейронной сети для прогнозирования отказов оборудования является прогноз стабильности и безотказности его работы на определенный период. Чем меньше временной промежуток, на который выполняется прогноз, тем точнее будет результат. Точность прогнозирования также зависит от выбора структуры нейронной сети и метода ее обучения.

Исследования выполнены по государственному заданию по проекту «Разработка комплекса научно-технических решений в области создания биотоплив и оптимальных биотопливных композиций, обеспечивающих возможность трансформации потребляемых видов энергоносителей в соответствии с тенденциями энергоэффективности, снижения углеродного следа продукции и использования видов топлива альтернативных ископаемому» (Контракт FSRZ-2021-0012) в научной лаборатории биотопливных композиций Сибирского федерального университета, созданной в рамках деятельности Научно-образовательного центра «Енисейская Сибирь».

Список литературы

1. *Li Han*. Remaining useful life prediction using multi-scale deep convolutional neural network // *Applied Soft Computing*. 2020. Volume 89.
2. *Шарабыров И.В.* Интеллектуальный анализ данных в задачах обнаружения атак на локальные беспроводные сети // *Естественные и технические науки*. - 2015. - № 11 (89). - С. 479-481.
3. *Zhao Lin*. Optimization of an Artificial Neural Network System for the Prediction of Failure Analysis Success // *Microelectronics and reliability*. 2019. Volume 92; pp 136-142.

05.13.01

Е.Е. Орехова, А.С. Пермовский

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева»,
Институт ядерной энергетики и технической физики,
Нижний Новгород, a.permovskiy@gmail.com

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МАССОГАБАРИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООБМЕННИКА 3-4 КОНТУРА РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ КЛТ-40

В настоящее время активно развивается направление реакторостроения. В современных реакторных установках предъявляются высокие требования в части безопасности, а также повышен интерес к технологии «мирного» атома. Особенно стоит выделить отрасль компактных реакторных установок, используемых в судах, возросший интерес к которым привел к разработке серии реакторов РИТМ. Важным параметром в реакторостроении является правильный выбор материала для каждого элемента реакторной установки (РУ). От выбора материала зависит не только работоспособность конкретного элемента, но и всей установки в целом. В работе проведён сравнительный анализ и рассмотрена возможность оптимизации материала трубок теплообменника 3-4 контура РУ КЛТ-40 с точки зрения массогабаритных характеристик.

Ключевые слова: теплообменник, реакторная установка, КЛТ-40.

Введение. Главный циркуляционный насос (ГЦН) паротурбинной установки, работающей на полной мощности, выбрасывает у берега почти 6000 т/ч подогретой в главном конденсаторе воды (144000 т/сут.). При работе двух ГЦН сброс охлаждающей воды с температурой 24°C достигнет 12000 т/ч. Если также учитывать выбросы горячего «рассола» от водоопреснительной установки плавучего энергетического блока (ПЭБ) в количестве 105 т/ч с содержанием около 42,5 г/кг, а также выбросы из всех охлаждающих контуров (3-4-й контуры и т.д.), то в общей сложности за борт ПЭБ будет выбрасываться около 13000 т/ч (60000 т/сут.) подогретой воды.

Кроме 1-го основного контура работу реакторной установки обеспечивает система 3-го контура, предназначенная для охлаждения оборудования 1-го контура и отвода тепла в нормальных и аварийных режимах, а также для локализации радиоактивного теплоносителя при межконтурной течи. При работе вода 3-го контура с температурой более 40°C от напорного коллектора насосов по трубопроводам системы поступает к охлаждаемому оборудованию 1-го контура и, сняв тепло, отводится от него в сливной коллектор, а далее через бак металловодной защиты (МВЗ) поступает к насосам 3-го контура и теплообменникам 3-4-го контуров, где охлаждается заборной водой и подается потребителям.

В работе исследованы материалы трубок теплообменника 3-4 контура и влияние рассматриваемых материалов на массогабаритные параметры и параметры теплопередачи.

Результаты исследования.

Параметры пара за последней ступенью турбины:

- давление $P = 5,857$ кПа;
- удельный объём $v'_x = 19,08$ м³/кг;
- энтальпия пара $h = 2068,58$ кДж/кг;
- энтропия пара $s = 7,032$ кДж/кг·К;
- сухость пара $x = 0,864$;
- расход пара $G = 29,32$ кг/с.

Оптимизация массогабаритных показателей теплообменника производилась путем расчета массы труб теплообменника. Оптимизируемым параметром принят материал трубок теплообменника.

Рассмотрены три вида сплавов, широко применяемых в морском судостроении для изготовления трубных досок и труб конденсаторов и теплообменников.

Высокой коррозионной устойчивостью и прочностью обладает латунь Л96 с содержанием меди 96%, цинка 3%. Трубы из латуни почти не подвержены коррозионному растрескиванию. Преимущество латунных труб - низкая стоимость и высокая теплопроводность

Высокой стойкостью против коррозии и эрозии обладают трубы, изготовленные из бронзы безоловянной БрАМц9-2, изготовленной из 2% марганца, 9% алюминия, 88% меди. Стоимость труб из алюминиевой латуни сравнительно невысока, но они сложны в изготовлении; при нарушении технологии изготовления трубы могут оказаться склонными к точечной коррозии.

Трубы из безоловянной бронзы с содержанием алюминия 5% обладают хорошей стойкостью против коррозии при низких и умеренных скоростях охлаждающей воды. Отсутствие в бронзе олова упрощает изготовление труб, так как их протяжка возможна только в нормальном состоянии, вследствие чего не требуется дополнительная операция отжига. Трубы из безоловянной бронзы не подвержены также обесцинкованию, стойкость против которого повышается при присадках фосфора, сурьмы и мышьяка.

Основные параметры рассматриваемых материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых металлов

Материал	Л96	БрАМц9-2	БрА5
Теплопроводность, Вт/(м·К)	245	71,4	105
Плотность ρ , кг/м ³	8850	7630	8200
Модуль упругости $E \cdot 10^{-5}$, МПа	1,14	0,92	1,20
Твердость по Бринеллю $HВ \cdot 10^{-1}$, МПа	130-145	95-115	190-210

Расчет основных параметров конденсатора для материала трубок Л96 приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет основных параметров теплообменников 3-4-го контуров.

№	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Расчетная формула	Численное значение
1	Давление в теплообменнике	P i_z	Мпа КДж/кг	Задано	0,005 2068,58
2	Расход пара	G_T	кг/с	Задано	29,32
3	Количество конденсируемого пара	G	кг/ч	$G_T * 60^2$	105552
4	Количество тепла, подводимое с рабочим телом	Q	КДж/ч	$(i_z - i_k) * G$	$204,26 \cdot 10^6$
5	Наружный диаметр трубок	$d_{нар}$	м	Принято по прототипу	0,019
6	Толщина стенок трубок	$\delta_{ст}$	м	Принято по прототипу	0,00125
7	Коэффициент теплоотдачи	K_0	Вт/(м ² ·°С)	Принято по прототипу	4190
8	Материал трубок	–	–	Принято по прототипу	Л96
9	Коэффициент теплопередачи	K	Вт/(м ² ·°С)	$\beta_n * \beta_t * \beta_q * \beta_s * K_0$	3935

Продолжение таблицы 2

10	Площадь поверхности охлаждения	$F_{\text{охл}}$	м^2	$\frac{Q}{3,6 * K * \Delta t}$	3228
11	Число трубок в теплообменнике	n	шт.	$\frac{4 * W}{\pi * d_{\text{вн}}^2 * w_{\text{зв}}}$	3757
12	Длина трубок конденсатора	L	м	$\frac{F_{\text{охл}}}{\pi * d_{\text{нар}} * n * z}$	7.201
13	Удельная тепловая нагрузка поверхности теплообмена	$q_{\text{т}}$	$\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\frac{Q}{F_{\text{охл}}}$	63278

Аналогичные расчеты были проведены для материалов БрАМц9-2 и БрА5.

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов характеристик различных сплавов

Параметр	Обозначение	Материал		
		Л96	БрАМц9-2	БрА5
Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	K	3935	4599	4443
Площадь поверхности охлаждения, м^2	$F_{\text{охл}}$	3228	2704	2810
Удельная тепловая нагрузка поверхности теплообмена, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$q_{\text{т}}$	63278	76838	73648
Длина трубок теплообменника, м	L	7,201	6,020	6,260
Масса пучка труб теплообменника, кг	m	16196	13020	13087

Заключение. В результате сравнительного анализа нескольких различных сплавов, применяемых для создания теплообменников, в качестве оптимального материала для трубок конденсатора с точки зрения массогабаритных показателей был выбран сплав безоловянной алюминиевой бронзы БрАМц9-2, так как суммарный вес трубок из этого материала получился минимальным – 13020 кг. Для сравнения, суммарный вес трубок из латуни Л96 составил - 16196 кг, а из безоловянной бронзы БрА5 - 13087 кг.

Список литературы

1. Варенцов А.В. Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С / А.В. Варенцов, С.М. Дмитриев, А.А. Добров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 3.
2. Дмитриев С.М. Экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА ВВЭР / С.М. Дмитриев, С.С. Бородин, М.А. Легчанов // Атомная энергия. – 2017. – № 5. – С. 252-257.
3. Жуков А.В. Межканальный обмен в ТВС быстрых реакторов: Теоретические основы и физика процесса / А.В. Жуков. – М.: Энергоатомиздат., 1989.

05.13.01

И.С. Полякова, Ф.Г. Хисамов д-р техн. наук

Кубанский государственный технологический университет,
институт компьютерных систем и информационной безопасности,
кафедра информатики и вычислительной техники,
Краснодар, polinga@bk.ru, frangiz_khisamov@rambler.ru

САМОРЕГУЛИРУЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ В ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТАХ – ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В данной статье рассмотрены саморегулируемые организации (СРО) в строительстве, точнее, в пусконаладочной деятельности и проблемы их функционирования. Пусконаладочные работы являются заключительной частью строительно-монтажных работ. После отмены в 2010 г. государственного лицензирования определенных видов строительных работ пусконаладочные работы на объектах капитального строительства могут быть реализованы саморегулируемыми организациями с соответствующим допуском. Введение системы СРО в пусконаладочной деятельности привело к тому, что в настоящее время на рынке функционирует много посреднических юридических фирм, содействующих в получении свидетельств о допуске к пусконаладочным работам компаниям, которые не отвечают необходимым требованиям, тем самым, снижается качество капитального строительства и уровень его безопасности.

Ключевые слова: пусконаладочные работы, охрана труда, монтаж, наладка, электрооборудование, безопасность, испытания, эксплуатация.

Актуальность данной темы исследования объясняется тем, что вопросы применимости системы саморегулируемых организаций в РФ, в частности в пусконаладочной деятельности, и будут оставаться спорными. Система СРО хорошо зарекомендовала себя за границей, но не приживается в РФ, потому что допуски СРО получают за деньги все подряд.

Цель данной работы – исследование саморегулируемых организаций в пусконаладочной деятельности, выявление проблем их функционирования.

Саморегулируемым организациям в РФ посвящено много современных исследований, данная тема является достаточно изученной. Например, М.А. Егорова в своей монографии [1] дает критическую оценку принятой Правительством Российской Федерации Концепции улучшения механизмов саморегулирования, указывает основные направления реформирования института СРО на современном этапе.

В своей статье И.В. Дроздова [2] анализирует современные проблемы саморегулируемых организаций в строительстве, проявившиеся в процессе их функционирования, а также предлагает актуальные пути решения этих проблем. И.В. Беренштейн [3] рассматривает принципиальные различия системы лицензирования и саморегулирования на примере СРО в строительстве.

С 1 января 2009 года на всей территории Российской Федерации отменили процесс выдачи лицензий на строительные работы, в том числе, на осуществление пусконаладочных работ, тем самым был учрежден институт саморегулируемых организаций (СРО). Официальное разрешение на продолжение профессиональной деятельности или так называемый соответствующий допуск к строительным работам сейчас стало возможно приобрести, лишь став членом СРО. С 1 июля 2010 года вступили в действие изменения к Приказу Минэкономразвития № 624 от 30.12.2009г. «Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, оказывающих воздействие на безопасность объектов капитального строительства».

Согласно части 1 статьи 3 Федерального закона от 01.12.2007 № 315-ФЗ «О саморегулируемых организациях» саморегулируемыми организациями называются «некоммерческие организации, которые основываются на членстве, объединяющем субъекты предпринимательской деятельности исходя из единства отрасли производства товаров (работ, услуг) или объединяющем субъекты профессиональной деятельности определенного вида». Статья 55.3 Градостроительного кодекса Российской Федерации (далее – ГрК РФ) предусматривает формирование саморегулируемых организаций, основанных на членстве лиц, выполняющих инженерные изыскания, осуществляющих подготовку проектной документации и строительство.

На основании части 1.1 ст. 55.2 ГрК РФ, введенной Федеральным законом от 24.11.2014 № 359-ФЗ, саморегулируемая организация имеет право «выдачи свидетельств о допуске к работам, влияющих на безопасность объектов капитального строительства, со дня внесения сведений о ней в Госреестр саморегулируемых организаций». Работа саморегулируемых организаций регламентируется нормативно-правовыми документами: о саморегулируемых организациях (№315-ФЗ от 01.12.2007), Градостроительным кодексом (№ 190-ФЗ от 29.10.2004), о механизмах саморегулирования (Распоряжение Правительства № 2776-р от 30.12.2015).

После подписания двухстороннего договора о совместной работе предприниматель получает право стать членом СРО для пусконаладочной деятельности и необходимые разрешительные свидетельства. Требования, которые саморегулируемая организации предъявляет к соискателям, как правило, включают в себя необходимость иметь регламентированное число опытных сотрудников с высшим образованием, и, в случае если необходимо вступление в СРО по пусконаладочным работам, подтверждение прохождения курсов повышения квалификации всеми сотрудниками фирмы.

Стоимость разрешения состоит из нескольких различных платежей, которые являются обязательными к оплате для присоединения к СРО. У разных саморегулируемых организаций может быть различная стоимость в СРО на пусконаладочную деятельность. Как правило, она состоит из нескольких составляющих таких, как «вступительного взноса, оплаты компенсационного фонда, членского взноса, страхования гражданской ответственности, текущих затрат на оформление документации».

Выданное саморегулируемой организацией свидетельство о допуске в соответствии с частью 1 статьи 55.8 ГрК РФ подтверждает право индивидуального предпринимателя либо юридического лица осуществлять пусконаладочную деятельность, которая оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства и указана в перечне, утвержденном Приказом Минрегиона РФ от 30.12.2009 № 624.

Пусконаладочная деятельность, требующая получение допуска в СРО, связана с проверкой работоспособности, настройкой и пуском оборудования промышленного и иного назначения. В перечень объектов входят компании металлургии, энергетики, машиностроения, нефтегазового комплекса.

Нужно отметить, что в настоящее время законодательство не предусматривает единых правил, требований и размеров платежей для членов СРО в строительстве, что вносит дополнительные противоречия в деятельности саморегулируемых организаций в Российской Федерации.

В настоящее время на рынке действует много посреднических юридических фирм, которые содействуют в получении свидетельств о допуске к пусконаладочным работам компаниям, которые «не соответствуют требованиям, например, по численности, уровню квалификации сотрудников, наличию необходимой строительной техники» [4], другими словами, они оформляют допуск к строительным работам всем подряд. Поэтому в настоящее время появилось большое количество организаций, которые за деньги без необходимых документов и квалификаций работников получают допуск СРО, тем самым, снижается качество капитального строительства и уровень его безопасности. Именно поэтому Ростехнадзор в последнее время все чаще отдает предпочтение организациям, получившим

разрешение на пусконаладочные работы от уполномоченного федерального органа исполнительной власти.

В настоящее время пусконаладочные организации могут выбрать один из двух механизмов контроля: войти в состав СРО либо получить разрешение на соответствующую деятельность от уполномоченного федерального органа исполнительной власти [5]. Многие организации сейчас выбирают именно второй вариант, тем самым, сводя СРО в пусконаладке на нет.

Выводы. После отмены лицензирования и введения института саморегулирования, фактически допуск СРО на пусконаладочные работы могут получить все желающие, все, кто может заплатить вступительный взнос и регулярно платит членские взносы, что, соответственно, сказалось на качестве объектов строительства, принимаемых в эксплуатацию и их безопасности. Ростехнадзор, осуществляющий контроль над деятельностью СРО в строительстве, в том числе пусконаладочными работами, из-за ухудшения качества и безопасности объектов строительства стал отказывать организациям, имеющим соответствующий допуск СРО и отдавать предпочтение организациям, получившим разрешение на пусконаладочную деятельность от уполномоченного федерального органа исполнительной власти, например, проверенным испытательным лабораториям.

Список литературы

1. *Егорова М.А.* Концепция совершенствования механизмов саморегулирования: pro et contra: Монография. – М.:Юстицинформ, 2017. – 210 с.
2. *Дроздова И.В.* Проблемы саморегулируемых организаций (СРО) в строительстве // ПСЭ. – 2012. – №1. – С. 233–236.
3. *Беренштейн В.И.* Различия системы лицензирования и саморегулирования на примере СРО в строительстве // Законодательство. – 2017. – № 2. – С. 40-42.
4. *Устимова С.А., Рассказова Е.Н.* Нормативные изменения деятельности СРО в строительстве: проблемы и противоречия // Вестник Московского университета МВД России. – 2018. – № 3. – С. 75-77.
5. *Апокорин Р.С.* Правовые риски и проблемы функционирования российских саморегулируемых организаций в строительстве // Молодой ученый. – 2018. – № 49 (235). – С. 109-110.

05.13.01

К.В. Прокопьев, ¹И.М. Кузьмина, ¹М.А. Иванова канд. физ.-мат. наук, ²Т.И. Васильева¹Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
Институт математики и информатики,

Якутск, iv_mari@mail.ru,

²ГБОУ РС(Я) «Якутский индустриально-педагогический колледж»

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРАНСКРИПЦИЙ МЕРОПРИЯТИЙ

В работе изложены этапы разработки web-приложения для создания транскрипций мероприятий с помощью Google Cloud Speech API.

Ключевые слова: *web-приложение, клиентская часть, HTML, CSS, JavaScript, AJAX, jQuery, серверная часть, XAMPP.*

Актуальным процессом развития мировой экономики на сегодняшний день является переход к информационному обществу. Различная информация производится в огромных объемах. В основном человек потребляет информацию через визуальное восприятие или звуковое, так как изобразительные, звуковые, текстовые виды информации легче всего поддаются передаче. Стоит отметить, что люди, у которых имеются нарушения слуха различной степени, по большому счету ограничены только потреблением текстовой информации. По данным ВОЗ, более 5% населения мира страдают от инвалидизирующей потери слуха. Примерно каждый 3 человек в возрасте старше 65 лет страдает от инвалидизирующей потери слуха.

В развитых странах входит тренд создания транскрипций во время мероприятия. Это объясняется желанием предоставить информацию в удобном для потребителя способом, охватить людей с нарушением слуха, предоставить им актуальную и полную информацию.

Целью данной работы является разработка web-приложения для создания транскрипций мероприятий.

Выбор разработки web-приложения был основан на критерии доступности. Web-приложения доступны на все операционные системы, web-браузер поставляется вместе с операционной системой. Обновление происходит моментально, при следующей загрузке страницы. Современные браузеры, встроенные в мобильные операционные системы, поддерживают последние стандарты HTML, CSS, JavaScript. Именно эти стандарты позволяют реализовать полный функционал данного web-приложения. Мобильные устройства являются основной целевой платформой, так как это самое доступное устройство при физическом нахождении на мероприятии.

Любое web-приложение делится на серверную и клиентскую часть. Клиентская часть реализует пользовательский интерфейс, формирует запросы к серверу и обрабатывает полученные ответы. Серверная часть получает запрос от клиента, обрабатывает, после этого формирует ответ и отправляет его клиенту по сети с использованием протокола HTTP.

Для серверной части [1] выбрана кроссплатформенная сборка web-сервера XAMPP. Она является бесплатно распространяемой, с открытым исходным кодом.

CSS является сервисом, предоставляемым компанией Google для преобразования речи в текст на основе нейронных сетей. Предоставляется как часть сервисов облачного искусственного интеллекта и машинного обучения. Быстрый отклик позволяет распознавать речь в режиме реального времени. С помощью данного сервиса возможно настроить распознавания редких терминов или слов, передавая их как подсказку в обращении к API. Позволяет выбрать обученную сеть для определенных условий, например, модель для распознавания телефонных звонков, которая обучена работе с аудио с низким качеством записи. Поддержка распознавания речи в плохих условиях, таких как посторонний шум. Точность перевода речи в текст около 96%.

В web-приложении выделено четыре варианта использования для двух ролей пользователь и администратор. Для администратора: панель администрирования: позволяет управлять мероприятиями (событиями); режим транскрибации — дополненное функционалом транскрибации мероприятия ручным способом и с помощью автоматического преобразования речи в текст. Вариант использования для пользователя: ввод кода авторизации — пользователю необходимо ввести шестизначный код, который перенаправляет на чтение транскрипции; чтение транскрипции — транслирует пользователю транскрипцию мероприятия в реальном времени.

Административная панель: Административная панель состоит из четырех PHP скриптов: admin.php, event.php, index.php, newEvent.php. И одного файла CSS стилей — style.css. Для создания нового события необходимо передать GET запрос скрипту index.php со значением «newEvent» для ключа «action». При нажатии на ссылку «Добавить новое событие» в административной панели предлагается ввести название нового события. После отправки формы формируется GET запрос скрипту index.php со значением «addEvent» ключа «action», вместе с POST запросом со значением названия события в ключе «title». Далее в скрипте index.php инициализируется создание нового события (рис. 1).

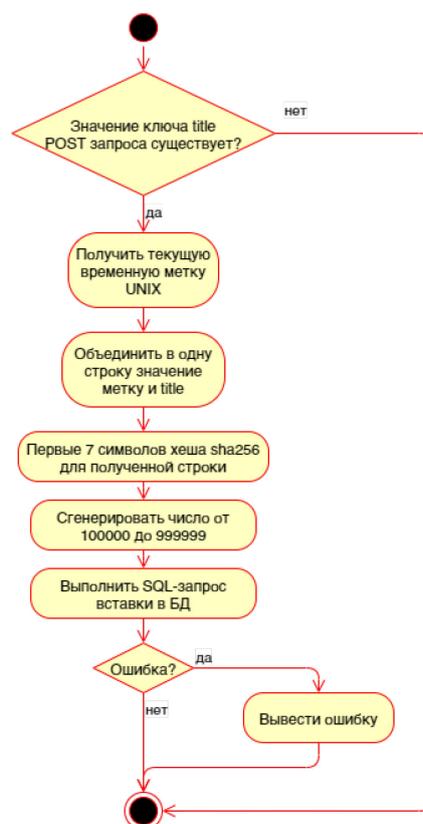


Рис. 1 – Алгоритм создание нового события

Для записи в базу данных необходимо сперва проверить на отсутствия значения названия создаваемого мероприятия. Затем объединяется в одну строку временная метка с названием мероприятия. Для полученной строки генерируется SHA256 хеш. Из полученного хеша выделяются первые семь символов (в дальнейшем, при масштабировании число символов можно увеличить) в качестве уникального идентификатора записи мероприятия. Генерируется случайное число в промежутке от 100000 до 999999 в качестве кода авторизации. С полученными данными создается новая запись в базе данных, если произошла ошибка, то она выводится в index.php.

Изначально для события задается статус «доступ закрыт», он означает, что пользователь не может получить доступ к трансляции ни через код авторизации, ни через прямую ссылку с идентификатором события. Для предоставления доступа необходимо установить значение статуса «доступ открыт», либо «мероприятие» началось. При установке статуса «мероприятие архивировано» из базы данных удаляются записи стертых и пустых сообщений.

Режим транскрибации: Режим транскрибации предоставляет организатору (администратору) возможность вести расшифровку мероприятия в режиме реального времени. Этот режим реализован с помощью библиотеки jQuery для браузера администратора. Модель транскрибации для ввода с клавиатуры представлена на рис. 2. В jQuery устанавливается слушатель события нажатия клавиши на форму ввода сообщения.

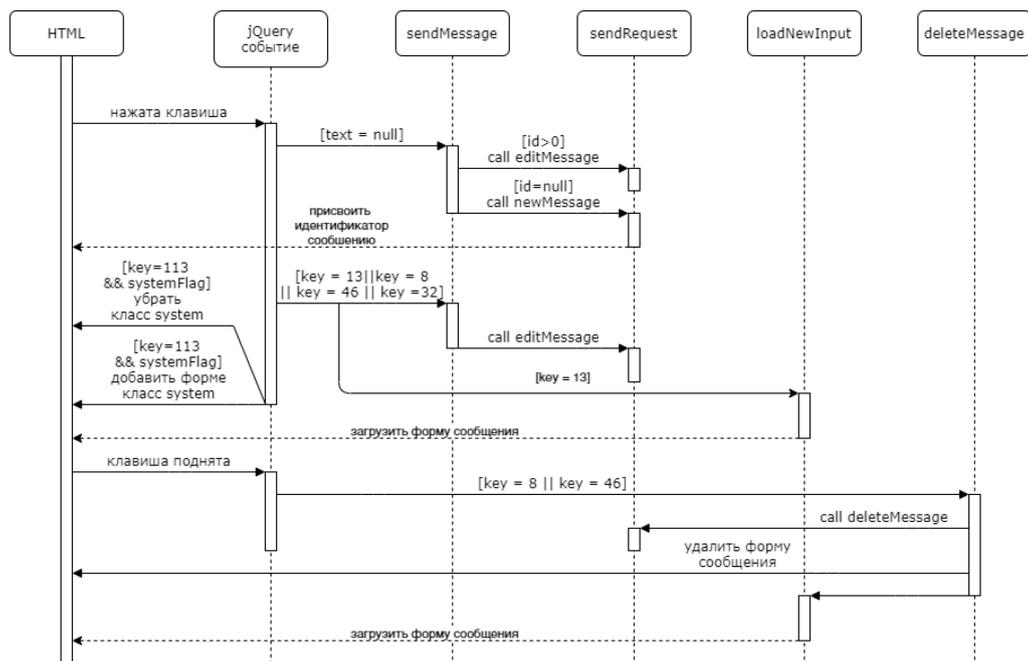


Рис. 2 – Модель транскрибации для ввода с клавиатуры

При регистрации нажатия создается jQuery событие, которое определяет какая клавиша нажата и проверяет соответствие нажатой клавиши печатному символу. Если текст формы пустой, то вызывается метод sendMessage, в котором сообщение проверяется на наличие уникального числового идентификатора. Если идентификатор задан, то вызывается метод sendRequest с параметром editMessage, в противном случае при не заданном идентификаторе вызывается метод newMessage. sendRequest с параметром newMessage создает новую запись сообщения в базе данных и запрашивает у сервера уникальный числовой идентификатор, который затем асинхронно присваивается в элемент формы HTML, а с параметром editMessage вносит изменения в базу данных в уже существующее сообщение.

В Google Chrome доступ к сервису Google Cloud Speech API предоставляется через объект webkitSpeechRecognition [2], который отвечает еще не сформированному интерфейсу распознавания голоса Web Speech API для JavaScript [3]. При активации функции распознавания речи создается новый объект Speech Recognition класса webkitSpeechRecognition и начинается цикл распознавания речи.

При распознавании с вероятностью более порогового значения 70%, распознанная фраза вставляется в HTML форму сообщения и отправляется запрос о получении идентификатора и создании записи сообщения, либо запрос об обновлении значения сообщения, если она уже существует. Когда сервис по распознаванию речи выдает итоговый результат распознавания, этот результат отправляется и создается новая форма для следующего сообщения, объект

Speech recognition снова переходит в состояние распознавания речи. Распознавание речи отключается вручную, и объект Speech recognition уничтожается.

Для обработки информации используется система управления базой данных MySQL. Между таблицами выявляется связь один ко многим, через атрибут id сущности events, к атрибуту event сущности message. Эта связь устанавливает правила при изменении экземпляра сущности events произойдет каскадное обновление этих связанных полей и каскадное удаление записей. В базе данных не будет записей сущности message с отсутствующим привязанным конкретным событием.

Ввод кода авторизации и чтения транскрипции: Клиентская часть состоит из восьми PHP скриптов, одного статичного HTML файла, в котором определены элементы формы авторизации, файла скрипта JavaScript и одного файла стилей CSS. Главный файл по своей сути является только HTML шаблоном, который динамически дополняется нужными элементами с помощью AJAX. Алгоритм подключения пользователя изображен на рис. 3.

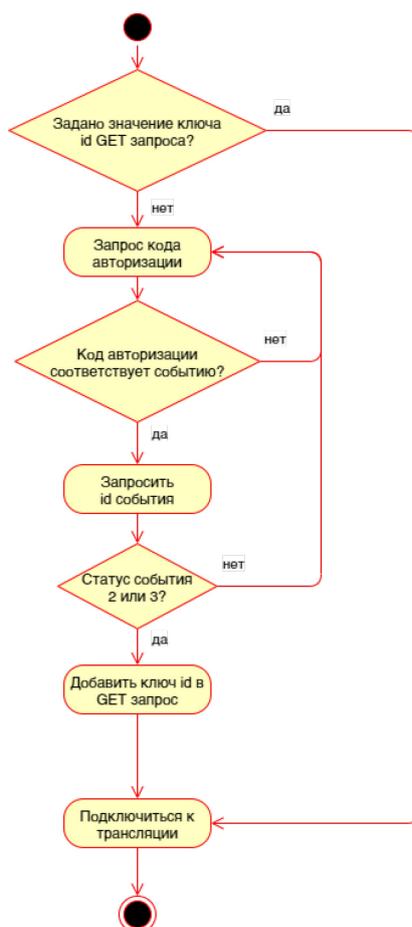


Рис. 3 – Алгоритм подключения пользователя

После ввода кода посылается запрос на предоставления атрибута id мероприятия, в свою очередь на сервере также проходит проверка статуса события. Если доступ закрыт, то происходит ошибка, как при отсутствии мероприятия с введенным кодом авторизации, и предлагается повторить попытку ввода. При успешном результате запроса создается GET запрос к файлу index.php с ключом id и полученным значением идентификатора события. Происходит подключение к трансляции транскрипции.

При подключении к трансляции инициализируется история сообщений, начинается автоматическое обновление текста в реальном времени.

Модель чтения трансляции изображена на рис. 4.

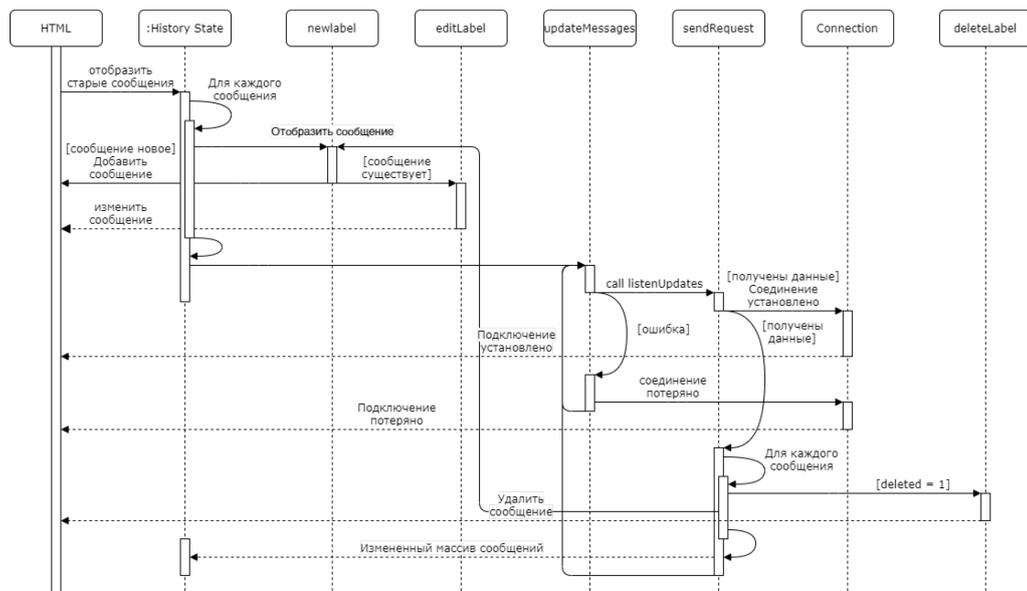


Рис. 4 – Модель чтения трансляции

В заключении отметим, что разработанное web-приложение позволяет решить проблему восприятия звуковой информации для людей с нарушениями слуха, т.е. получать полную и актуальную информацию наряду с людьми с нормальным слухом. Предлагаем проведение трансляций транскрипций на лекциях, интервью, подкастах, вебинарах.

Список литературы

1. XAMPP. [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная библиотека. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/XAMPP> (дата обращения 26.05.2021).
2. Shires G. Voice Driven Web Apps: Introduction to the Web Speech API [Электронный ресурс] / Shires Glen — 2013. — Режим доступа: <https://developers.google.com/web/updates/2013/01/Voice-Driven-Web-Apps-Introduction-to-the-Web-Speech-API> (дата обращения 21.05.2021).
3. Web Speech API [Электронный ресурс]: Web Platform Incubator Community Group, 2020. — Режим доступа: <https://wicg.github.io/speech-api/> (дата обращения 26.05.2021).

05.13.01

О.А. Рак, Д.А. Веденькин

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

СОВРЕМЕННЫЕ РЛС В РОССИЙСКОЙ АРМИИ

В данной статье на основании достигнутых научных достижений и техники рассматриваются варианты компоновки РЛС на новых принципах и их совместное использование в составе авиационного комплекса. Представлены их ближайшие перспективы и возможности, какими они должны обладать в настоящее время с использованием фотонных технологий.

Ключевые слова: *бортовая радиолокационная станция, радиолокатор, радиоэлектронное оборудование, авиационный комплекс, радиофотоника, квантовые технологии.*

Введение. Многие десятилетия идет попытка создать АФАР с фотонной системой управления и затем перейти к созданию фотонного радара. К преимуществам этих систем относятся: многофункциональность, повышенная скрытность, интегрированность бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО), информационная осведомленность о текущей обстановке, работа в нескольких диапазонах одновременно, взаимозаменяемость при отказе, высокая надежность и технологичность. Пока никто их не создал. Есть зарубежные опытные образцы. Российский Интернет пестрит заголовками, но пока нет финишного изделия. По теоретическим исследованиям фотонный радар нельзя ни заглушить помехами, ни повлиять на него каким-либо другим способом. Многие существующие доработки — это всего лишь программная доработка радиолокационной станции.

Основная часть.

Приведенные выше ожидаемые критерии, прежде всего, повлияли на тенденции развития бортовых радиолокационных станций (БРЛС). Данная статья направлена на обобщение информации о БРЛС современных и перспективных многофункциональных авиационных комплексов (МФАК) и оценку возможных фотонных направлений их развития.

БРЛС МФАК должна обеспечивать в режиме «воздух-воздух»:

- обнаружение большого количества воздушных целей (в том числе групповых) и их однозначное распознавание на большом расстоянии;
- измерение дальности до обнаруженных целей, высоты, курса, и скорости их движения;
- автоматическое сопровождение одновременно всех воздушных целей;
- применение управляемых средств поражения (УСП) одновременно по нескольким целям;
- обнаружение метеорологических образований (вертикальных и горизонтальных) на пути следования;
- передачу информации и управление в группе, также осуществлять взаимодействие с командными пунктами и самолетом ДРЛО;
- управление ГТН (взлет, сбор, полет по маршруту, дозаправка, роспуск), предупреждение столкновения в воздухе, и взаимодействие в группе и с другими объектами своих войск

В режиме «воздух-поверхность» БРЛС МФАК должна обеспечивать:

- обнаружение, распознавание и автоматическое сопровождение наземных (морских) целей с различной ЭПР, в том числе малоразмерных слабоконтрастных целей;
- моноимпульсное сопровождение одиночных целей;
- обнаружение подвижных наземных (морских) целей в режиме селекции движущихся целей (их скорость, направление, координаты и классификация);

- распознавание типов наземных (морских) целей;
- измерение дальности до наземных (морских) целей;
- подсвет целей высокочастотными сигналами;
- передача данных для УСП с полуактивным и командным наведением;
- картографирование подстилающей поверхности в режиме реального луча, 3D;
- картографирование подстилающей поверхности в высоком и сверхвысоком разрешении в режиме синтезирования апертуры (РСА);
- измерение навигационных параметров самолета-носителя (СН) по выбранным ориентирам на поверхности Земли в целях навигации и точной выставки инерциальных систем УСП;
- следование рельефу местности при маловысотном полете;
- предупреждение столкновения с землей и препятствиями на ней;
- пассивное пеленгование излучений РЛС противника и создание помех с целью их подавления;
- наличие режима георадара;
- возможность определять по подстилающей поверхности широту, долготу, высоту, скорость, курс, снос;
- вывод на экран цифровой карты местности, цифровой матрицы высот, маршрутов воздушного движения, аэронавигационной базы данных, работающих самолетных радиолокационных ответчиков, естественных и искусственных препятствий, препятствий обнаруженных аппаратурой летательного аппарата (радиолокатора предупреждения и столкновения, лидара);
- передачу данных и прием данных;
- работа с передовым авианаводчиком;
- должен быть отработан алгоритм безопасности для подключения ИУП (ИУС) при возникновении особых случаев в полете и ухода летательного аппарата на исходный пункт обратного маршрута и посадку на аэродроме;
- силовое подавление радиотехнических средств противника направленным СВЧ-излучением.

При использовании имеющихся источников информации на основании открытой зарубежной и отечественной печати мы увидим применение на наших летательных аппаратах зарубежных БРЛС способных вывести на экран монитора опасных явлений погоды таких как гроза, дождь, снег и сдвиг ветра.

Таким образом, анализируя информационные источники, можно понять, что чисто электронный вариант БРЛС МФАК достиг своих критических возможностей по указанным критериям.

Радиофотонные и квантовые БРЛС МФ АК.

Решения задач, связанных с созданием сенсоров для радаров или решения задач, аналогичных задачам, решаемым в радарах, в российском медиапространстве пока открыто не рассматривались и в обзоре не упоминались. Для радиофотоники мы нашли ряд решений. Посмотрим, как они могут помочь решить квантовые задачи радиолокационного типа.

Среди радиолокационных задач, предложенных к решению, были выделены активные и пассивные задачи [3-7]. К активным задачам относятся задачи локализации и определения характеристик слабоотражающей цели на высокоярком фоне [3, 4]. К пассивным – задачи определения угла прихода и измерения мгновенных амплитуды и частоты множества зарегистрированных микроволновых сигналов (распределения амплитуд и фаз поля), а также задача оценки задержки их распространения по волоконно-оптическим линиям, связывающим антенные посты, перед измерением [4, 5].

На рис. 1,а представлен радиофотонный радар, разработанный на существующей объемной элементной базе [5], на рис. 1,б – тот же радар, созданный на основе интегральных технологий микроволновой фотоники. На рис. 1,в представлено схемотехническое исполнение радиоквантового радара [5]. В том числе показана схема

электрооптомеханического (ЭОМ) преобразователя, в котором возбуждаемые СВЧ и оптические резонаторы связаны механическим резонатором. Радиоквантовый конвертер работает следующим образом. ЕОМ передатчик перепутывает микроволновое и оптическое поля. Приемный ЕОМ преобразует возвращаемое микроволновое поле в оптическое с выполнением операции сопряжения фаз.

На рис. 2 представлены системо- и схмотехника решения пассивных радиолокационных задач в квантовой области, к которым относятся определения угла прихода [6], доплеровское изменение частоты, измерения профиля распределения электромагнитных полей в зоне полетов [7].

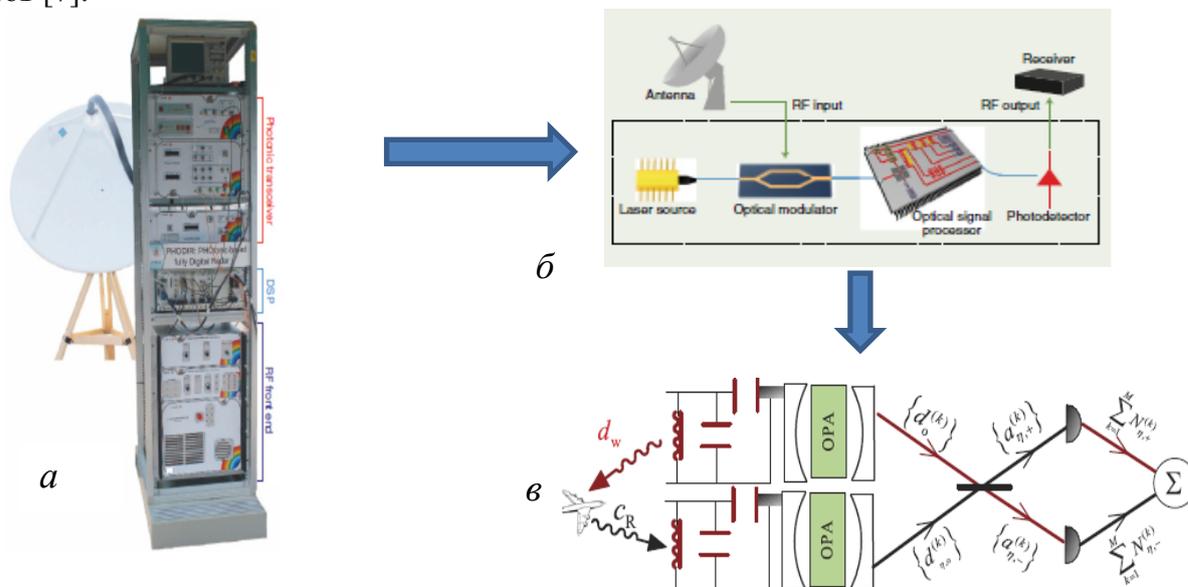


Рис. 1 – Трансферт технологий построения радаров от радиофотонного (а) к интегральному радиофотонному (б) и радиоквантовому (в) (адаптировано из [4] и [3])

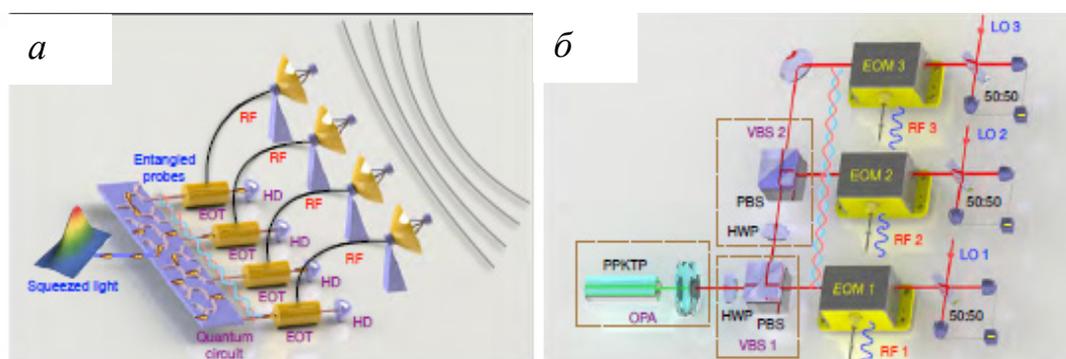


Рис. 2 – Системотехника (а) и схмотехника (б) решения пассивных радиолокационных задач в квантовой области: измерения профиля распределения электромагнитных полей в зоне полетов (адаптировано из [3])

Все найденные решения связаны с использованием запутанных фотонов. А последнее решение является четким представителем сенсоров на основе интегральной микроволновой фотоники.

Заключение. Непонятно отсутствие затронутых возможностей авиационного радиолокатора, которые не применены на современных самолетах военной авиации. Ведь, по сути, они могли бы существенно улучшить безопасность полетов и при наличии на летательном аппарате оборудования синтезированного (технического) зрения возможность посадки и взлета при нулевой видимости днем и ночью. В перспективе применение сверхширокодиапазонных радиолокационных станций на основе элементов радиофотоники и радиоквантоники позволит облегчить труд авиаторов и повысить безопасность полетов.

Список литературы

1. Гуляев Ю.В. и др. Микро- и наноэлектроника в системах радиолокации. Монография. –
2. М.: Издательство «Радиотехника», 2014. - 479 с.
3. Источник контента: <https://naukatehnika.com/fotonnye-radary-fotonika-stels-texnologii.html>
naukatehnika.com
4. Morozov O.G. et al. Integrated Microwave Quantum Sensing for Radar Type Problems Decisions // IEEE SYNCHROINFO-2020, pp. 1-6, 2020.
5. Ghelfi P. et al. A fully photonics-based coherent radar system // Nature. 2014. Vol. 507. P. 341-345.
6. Морозов О.Г., Ильин Г.И. Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник ПГТУ. Серия: РиИС. 2014. № 1 (20). С. 6-42.
7. Морозов О.Г. и др. Радиофотонный метод определения угла прихода отражённого радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции // Вестник ПГТУ. Серия: РиИС. 2021. № 1 (49). С. 50-62.
8. Морозов О.Г. и др. Радиофотонный метод определения доплеровского изменения частоты отражённого радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции // Вестник ПГТУ. Серия: РиИС. 2021. № 2 (50). С. 63-75.

05.13.01

О.А. Рак, Д.А. Веденькин

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ФОТОНИКИ, РАДИОФОТОНИКИ И СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

Сверхширокополосные цифровые линии связи на ВОЛС, линии задержки, а также использующие элементы радиофотоники фильтры, генераторы и другие устройства СВЧ-диапазона находят применение в системах РЭБ и РЛС авиации. В данной работе рассматривается практический опыт разработки устройств радиофотоники для применения в радиолокационной аппаратуре, а также возможности и перспективы развития радиофотоники применительно к радиолокации. Целесообразно также отметить и то, что переход к радиофотонике происходит от основ нанофотоники, и только потом к радиоквантонике.

Ключевые слова: *волоконнооптические системы связи, нанофотоника, радиофотоника, радиоквантоника, радиооптические активные фазированные решетки.*

Введение. Преимущества РЛС и РЭБ на основе радиофотоники по сравнению с традиционной электронной аппаратурой основаны на фундаментальных различиях фотонов и электронов как носителей энергии и информации, что позволяет создавать помехоустойчивые системы с практически неограниченным быстродействием и высокой устойчивостью к электромагнитным импульсам (ЭМИ), радиации и помехам [1].

Применение элементов радиофотоники обеспечит значительное улучшение основных тактико-технических характеристик РЛС [2].

Основная часть. Научные подходы и методы для решения указанных задач и вероятность достижения их решения основываются на созданной в КНИТУ-КАИ теории маломодовой (двухчастотной) радиофотоники, реализующей оптическое зондирование сенсоров двухчастотным излучением, полученным по методу Ильина-Морозова [3] – преобразования одночастотного когерентного излучения в симметричное двухчастотное. Данное излучение характеризуется наличием двух частотных компонент, жестко связанных по фазе (альтернативно) и равных по амплитуде с подавленным исходным одночастотным излучением. Любое изменение амплитуды и фазы двух частотных составляющих при взаимодействии с различными зондируемыми средами находит отражение в изменении мгновенной амплитуды, фазы и частоты огибающей их биений, по параметрам которой и судят о внешних измеряемых параметрах. При этом указанная частота биений лежит в микроволновом диапазоне ЭМВ, что позволяет использовать его потенциал точностей и разрешающих способностей для измерения различных физических величин, недостижимых при прямых измерительных преобразованиях в оптическом диапазоне. Дополнительным преимуществом является тот факт, что обработка информации на частоте биений ведется в области минимальных шумов фотоприемника, где она и лежит. Это позволяет избавиться от влияния фликкер и дробовых шумов.

В ряде исследований мы называемым две указанные частоты «спутан-ными», что ставит перед нами задачу трансферта технологий для генерации пары спутанных фотонов, разнесенных по частоте с использованием амплитудно-фазовой модуляции, реализованной

по методу Ильина-Морозова, и дальнейшего исследования их свойств [4]. Несомненно, это предположение требует строгого доказательства.

На сегодняшний день почти все существующие демонстрации систем фотонной и квантовой сенсорики для РЛС и РЭБ ограничены улучшением характеристик зондирования оптических параметров только одного датчика, но различные задачи зондирования обычно основаны на множестве датчиков, которые работают интегрально в микроволновом и оптическом диапазонах [4] (рис. 1).

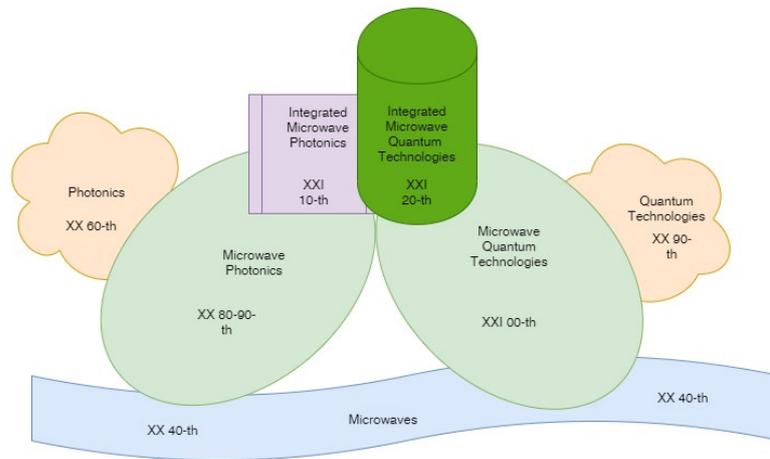


Рис. 1 – Формирование интегральных микроволновых фотонных и микроволновых квантовых технологий как перспективных технологий развития РЛС

Аналогичные проблемы определены и для систем радиофотоники, особенно в интегральном исполнении. Интегральные способы реализации элементов и узлов радиофотонных систем [5-6] предназначены для минимизации размеров, повышения эффективности управления и уменьшения влияния внешних условий на параметры устройства в целом и режимы работы элементов. Применительно к цели нашего исследования их условно можно разделить на:

- Интегральный модуль блока модуляторов генерации двухчастотного и многочастотного излучения;
- Интегральный модуль преобразования «частота-амплитуда», выполненный на основе чипа с управляемой ВБР, волноводной ВБР или его разновидности на кольцевых или дисковых резонаторах;
- Интегральный модуль мониторинга рабочей точки электрооптических модуляторов.

Интегральный модуль блока модуляторов генерации двухчастотного и многочастотного излучения может быть реализован на основе интегрированного модулятора Маха-Цендера и фазового модулятора (Рис. показаны на рис. 2 [7, 8]).

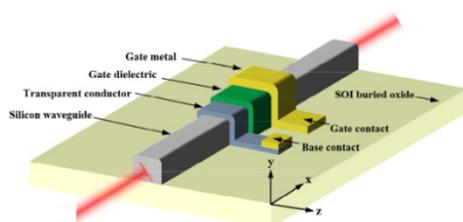


Рис. 2 – Интегральный модуль блока модуляторов

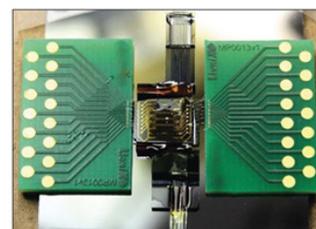


Рис. 3 – Интегральный модуль преобразования «частота-амплитуда» на кольцевом резонаторе

Интегральный модуль преобразования «частота-амплитуда», выполненный в виде чип-модуля на основе кольцевых резонаторов, представленный в [9], показан на рис. 3.

Интегральный модуль преобразования «частота-амплитуда», выполненный на основе кремниевого микродискового резонатора с малыми потерями был предложен и

экспериментально продемонстрирован для диапазона частот 9–19 ГГц с погрешностью измерения частоты 0,1 ГГц.

Интегральный модуль (рис. 4,а) преобразования «частота-амплитуда», выполненный в виде чип-модуля (рис. 4,б) на основе волноводных решеток Брэгга. Данные интегральные решения использованы нами в ряде телекоммуникационных приложений и приложений систем радиофотоники, в том числе и для измерения мгновенной частоты радиосигналов.

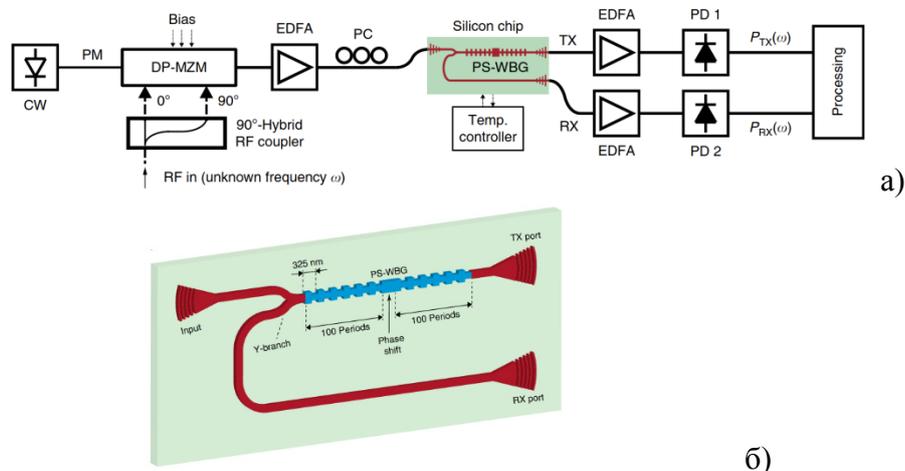


Рис. 4 – Интегральный модуль преобразования «частота-амплитуда» на основе волноводной брэгговской решетки: а) модуль, б) схема кремниевой ВБР [10]

Чипы управляются напряжением, которое может быть получено при регистрации температурного рассогласования.

Заключение. Начавшиеся во всем мире в конце 80-х – начале 90-х работы по созданию АФАР показали высокую эффективность новых антенных систем и стало одним из основных направлений исследований ведущих американских и европейских компаний – разработчиков бортовых радиолокационных систем. Но с большим же успехом выходя на возможность использования РОФАР, что имеет не оспоримое преимущество даже по сравнению с АФАР. Ждем результатов от нашей промышленности.

Список литературы

1. Гуляев Ю.В. и др. Микро- и нанoeлектроника в системах радиолокации. Монография. - М.: Изд-во «Радиотехника», 2014. 479 с.
2. P. Ghelfi et al. A fully photonics-based coherent radar system // Nature. 2014. Vol. 507. P. 341-345.
3. Морозов О.Г., Ильин Г.И. Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник ПГТУ. Серия: РиИС. 2014. № 1 (20). С. 6-42.
4. Morozov O.G. et al. Integrated Microwave Quantum Sensing for Radar Type Problems Decisions // IEEE SYNCHROINFO-2020, P. 1-6, 2020.
5. Морозов О.Г. и др. Радиофотонный метод определения угла прихода отражённого радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции // Вестник ПГТУ. Серия: РиИС. 2021. № 1 (49). С. 50-62.
6. Морозов О.Г. и др. Радиофотонный метод определения доплеровского изменения частоты отражённого радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции // Вестник ПГТУ. Серия: РиИС. 2021. № 2 (50). С. 63-75.
7. Reines I.C. et al. Compact epsilon-near-zero silicon photonic phase modulators // Opt. Express. 2018. Vol. 26. Is. 17. P. 21594–21605.
8. Marpaung D. On-chip photonic-assisted instantaneous microwave frequency measurement system // IEEE Photonics Technol. Lett. 2013. V. 25. Is. 9. P. 837–840.
9. Liu L. et al. Photonic measurement of microwave frequency using a silicon microdisk resonator // Opt. Commun. 2015. V. 335. P. 266–270.
10. Waterhouse R.B., Novak D. Integrated antenna/electro-optic modulator for RF photonic front-ends // Proceedings of 2011 International Microwave Symposium (IMS-2011). 2011. P. 1–11

05.13.01

С.А. Савелов, Г.Н. Власичев д-р техн. наук

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

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

В работе отражена информация о способах водоподготовки на атомных электростанциях. Продемонстрированы преимущества применения мембранных технологий перед традиционной схемой водоподготовки.

Ключевые слова: водоподготовка, атомная электростанция, мембранные технологии, эксплуатационные затраты.

Вода – одно из самых распространенных веществ на Земле, которое покрывает более 70% поверхности нашей планеты. Именно вода находит широкое применение во многих сферах жизнедеятельности человека, в том числе, и в атомной энергетике. Большинство атомных электростанций (АЭС) мира используют именно воду в качестве теплоносителя и охлаждающей среды для оборудования и контуров АЭС, так как она обладает такими достоинствами как дешевизна, высокая теплоемкость, негорючесть и хорошие теплопередающие свойства. Однако вода также имеет много недостатков: относительно высокая активация, коррозионная агрессивность, радиолитиз воды. Поэтому для использования воды в контуре АЭС необходимо осуществлять ее предварительную подготовку. Данный процесс происходит в специальных водоподготовительных установках [1].

АЭС должна обеспечивать бесперебойную выработку электроэнергии. Однако, такие проблемы как, коррозия внутренних поверхностей оборудования водоподготовительных установок, образование отложений на теплопередающих поверхностях оборудования, в проточной части турбины и на технологических трубопроводах, могут препятствовать работе электростанции без повреждений, приведя к снижению экономичности выработки электроэнергии. Очистка радиоактивной воды различных контуров АЭС позволяет защитить оборудование от образования отложений, снизить интенсивность коррозии металлов, а переработка жидких радиоактивных отходов — сконцентрировать выделенную активность в минимальном объеме и направить концентрат на длительное хранение.

Работа оборудования АЭС в условиях высоких тепловых нагрузок требует ограничить толщину отложений на поверхностях нагрева по условиям режима температур металла. Данные отложения возникают из примесей, которые поступают в циклы АЭС, в том числе и с добавочной водой, поэтому одной из важнейших задач при эксплуатации электростанции является обеспечение высокого качества воды.

Обеспечение требуемого качества воды, потребляемой при работе электростанции, осуществляется за счет специальной физико-химической обработки. При выборе метода обработки воды руководствуются составом исходных вод, предъявляемым качеством к обработанной воде и, конечно же, экономичностью данного метода.

Затраты на водоподготовку занимают важное место при эксплуатации АЭС. Сокращение эксплуатационных затрат на водоподготовку усложняется высокими тарифами за водопользование, плохим качеством исходной воды и повышенными требованиями к качеству обработанной воды. Для того, чтобы сократить затраты на водоподготовку, необходимо внедрять новые технологии.

В настоящее время для решения данной задачи необходимо осуществлять реализацию интегрированных мембранных технологий (ИМТ) при водоподготовке [2]. Данная

технология основывается на мембранных технологиях водоподготовки, к которым относятся нано- и ультрафильтрация, обратный осмос (использование полупроницаемых мембран), мембранная дегазация (удаление газов из жидкости) и электродеионизация воды (удаление из воды ионов примесей под действием электрического поля). Использование перечисленных технологий позволяет уменьшить затраты при эксплуатации водоподготовительных установок на АЭС, невзирая на отрицательное влияние различных факторов.

Рассмотрим процесс преобразования исходной речной воды в деминерализованную воду для демонстрации эффективности данной технологии водоподготовки.

Уже устоявшийся способ решения этой задачи – использование технологической схемы водоподготовки [3]. Схема данного метода представлена на рисунке 1.

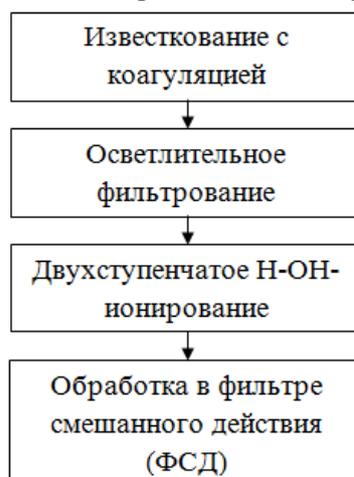


Рис. 1 – Технологическая схема водоподготовки

На рисунке 2 представлено альтернативное решение проблемы водоподготовки с применением интегрированных мембранных технологий [4]. Разберем подробнее, чем каждая технология данного альтернативного решения лучше технологий, используемых при традиционных способах водоподготовки.

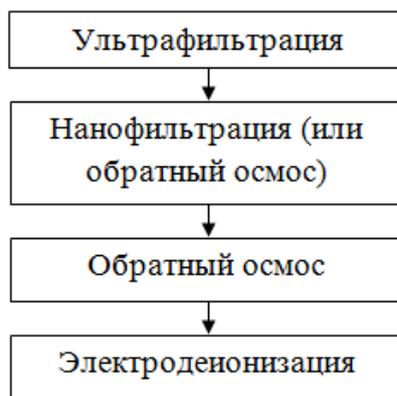


Рис. 2 – Водоподготовка с применением интегрированных мембранных технологий

Для обеспечения предподготовки поверхностной воды используется ультрафильтрация. Данный метод заменяет первые две стадии очистки воды при традиционном способе водоподготовки. Преимущество ультрафильтрации заключается в том, что при ее использовании в фильтрате не образуются коллоиды и взвеси, обеспечивается невысокое водопотребление на собственные нужды (менее 10 %), уменьшается потребление реагентов.

При деминерализации воды используются технологии обратного осмоса (нанофильтрация в комбинации с обратным осмосом). Данный метод заменяет этап двухступенчатого Н-ОН-ионирования при традиционном способе водоподготовки. Обратный осмос обладает следующими преимуществами: меньший расход реагентов (щелочи и кислоты) на регенерацию; при удалении избытков реагентов не образуются высокоминерализованные сточные воды; вода после обработки практически не содержит органических соединений.

Благодаря этому, затраты на деминерализацию воды с применением мембранных технологий существенно ниже. На рисунке 3 видно, что при достижении солесодержания воды в 100-150 мг/л затраты на эксплуатацию установок водоподготовки при применении мембранных технологий (линия 1) растут медленнее, чем при традиционном методе ионирования (линия 2).

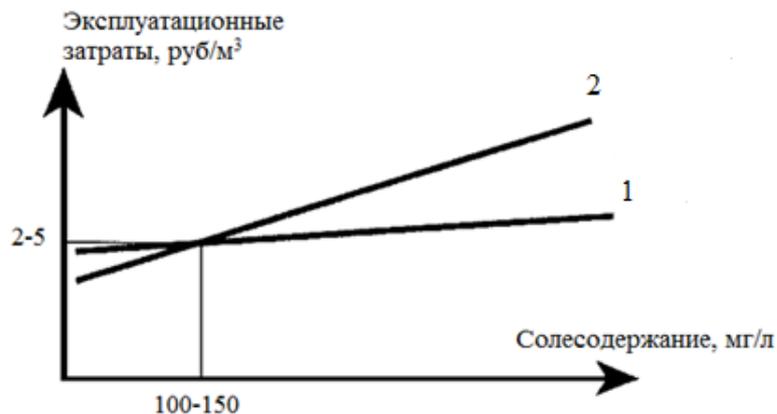


Рис. 3 – Эксплуатационные затраты при применении мембранных и ионообменных технологий деминерализации воды

Электродеионизация воды – бессточная и безреагентная мембранная технология водоподготовки, которая позволяет сохранять остаточную электропроводимость деминерализованной воды на допустимом уровне. Несмотря на то, что затраты на электродеионизацию ниже, чем при применении ФСД, работа установки электродеионизации усложняется другим фактором. Стабильность ее работы обуславливается эффективностью работы систем обратного осмоса, так как производительность установки электродеионизации снижается при возникновении сбоях систем обратного осмоса. Для обеспечения высочайшего показателя надежности установки обессоливания воды, вместо электродеионизации возможно применение противоточного Н-ОН-ионирования или фильтров смешанного действия. Применение фильтра смешанного действия более предпочтительно для экономии реагентов при регенерации, а противоточное Н-ОН-ионирование – с точки зрения простоты автоматизации и удобства в эксплуатации. Также, при использовании противоточной регенерации восходящим потоком в установке Н-ОН-ионирования [5], схема водоподготовки обладает более высокой устойчивостью. Данная технология применяется в случаях, когда исходная вода обладает малым количеством неполярной органики, а уровень солесодержания такой воды ниже 100 мг/л.

Также, благодаря мембранным технологиям сокращается потребление солей при регенерации фильтров ионообменного умягчения воды. Это серьезная экологическая проблема, которая решается за счет повторного использования солей из солесодержащих стоков после переработки. Данный способ не только экологически целесообразен, но еще и экономически выгоден при эксплуатации установок водоподготовки.

Список литературы

1. Копылов А.С., Верховский Е.И. Спецводоочистка на атомных электростанциях: учебное пособие для СПТУ. – М.: Высшая школа, 1988 – 208 с.
2. Пантелеев А.А., Рябчиков Б.Е., Хоружий О.В., Громов С.Л., Сидоров А.Р. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке. – М.: ДеЛи плюс, 2012 – 429 с.
3. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 309 с.
4. Официальный сайт НПК «Медиана-фильтр» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mediana-filter.ru/> (Дата обращения: 20.11.2021).
5. Карелин В.А. Водоподготовка. Физико-химические основы процессов обработки воды: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 97 с.

05.13.01

**Н.О. Сапоженков канд. техн. наук, А.А. Панфилов канд. техн. наук,
А.В. Базанов канд. техн. наук**

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

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА

Пуск двигателей внутреннего сгорания при отрицательных температурах связан с воздействием множества факторов, что предопределяет необходимость совершенствования методов обеспечения надёжности элементов систем электростартерного пуска в зависимости от условий и интенсивности эксплуатации автомобилей. Одним из наиболее эффективных способов прогнозирования остаточного ресурса и предупреждения внезапных отказов является моделирование режимов работы на основе репрезентативных выборок из статистических данных. В статье представлены результаты анализа опыта эксплуатации техники на предприятиях нефтегазодобывающего комплекса и предложены рекомендации по корректированию периодичности замены электростартеров на примере автомобилей УАЗ–3909.

Ключевые слова: условия эксплуатации, пуск, двигатель внутреннего сгорания, электростартер, моделирование.

Сочетание условий и интенсивности эксплуатации в зимний период оказывает ключевое влияние на надёжность зимнего пуска и ресурс элементов системы электростартерного пуска [1–4]. В этой связи целью исследования является повышение эффективности эксплуатации автомобилей путём корректирования периодичности обслуживания элементов системы электростартерного пуска и совершенствование на этой основе методов прогнозирования потребности в ресурсах по техническому обслуживанию и ремонту для оптимизации складских запасов и снижения затрат от внезапных отказов.

Для установления причин отказов стартеров были проанализированы корпоративные базы данных на предприятиях нефтегазодобывающего комплекса, содержащие подробную историю технических обслуживаний и ремонтов автомобилей на протяжении 10 лет. С учётом сопоставимых пробегов с начала эксплуатации, сроков службы и характера выполняемой транспортной работы подвижного состава для эксперимента было отобрано 102 автомобиля УАЗ–3909. Проведённый анализ показал, что отказы механических деталей стартера преобладают над электрическими, что объясняется повышенной нагрузкой при вращении ротора стартера при пуске двигателей внутреннего сгорания (ДВС) вследствие увеличения момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала при возрастании вязкости масла, ухудшения численных значений показателей смесеобразования и испаряемости топлива [3–4], а также прогрессирующих усталостных разрушений и износов ввиду снижения конструкционной прочности материалов для изготовления составных деталей (рис. 1).

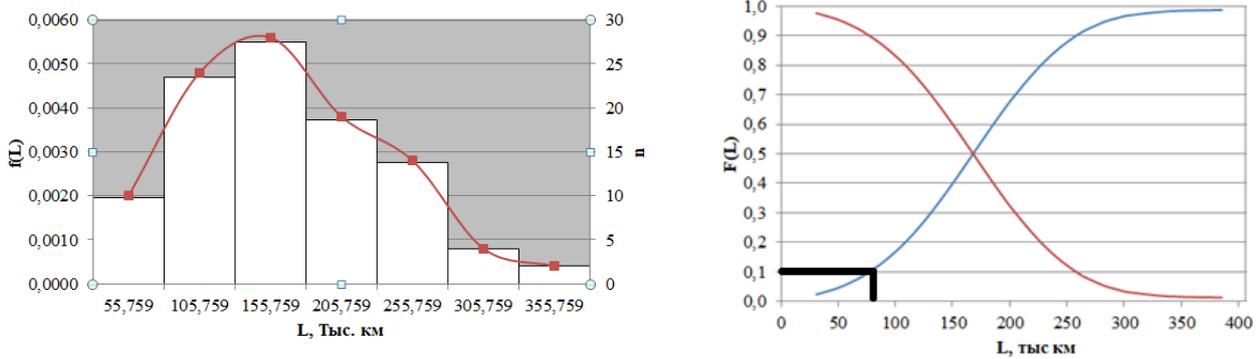


Рис. 1 – Определение плотности вероятности возникновения отказов механических деталей стартера и пробега до замены

Стартеры в составе систем электростартерного пуска обеспечивают безопасность движения, поэтому при определении наработки на отказ вероятность безотказной работы ограничивают на уровне не менее 0,9. В этом случае периодичность ТО составит 70089 тыс. км, а ресурс стартера 155759 тыс. км. при среднегодовом пробеге 33957 км. и расчётном количестве пусков ДВС 750/год. Учитывая непрерывность транспортных процессов и интенсивность эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин на предприятиях нефтегазодобывающего комплекса срок службы стартера может быть представлен рассчитан на основе среднегодового пробега:

$$T = \frac{l_{ресурс}}{l_{год}} \tag{1}$$

где $l_{ресурс}$ – ресурс стартера, км;
 $l_{год}$ – среднегодовой пробег, км.

При этом эквивалентный ресурс для указанных пробегов в пусках может быть найден из соотношений, характеризующих режимы использования и характер выполняемых транспортных работ:

$$n_{ресурс} = n_{год} \cdot T \tag{2}$$

где $n_{год}$ – годовое количество пусков ДВС.

Таким образом, вычисляется ресурс стартера в пусках для дальнейшего составления модели. Для рассматриваемых условий эксплуатации автомобиля УАЗ–3909 срок службы стартера составил 4,6 лет при среднем количестве 3450 пусков в год. На следующем этапе определяется зависимость относительного момента сопротивления от вязкости масла (рис. 2).

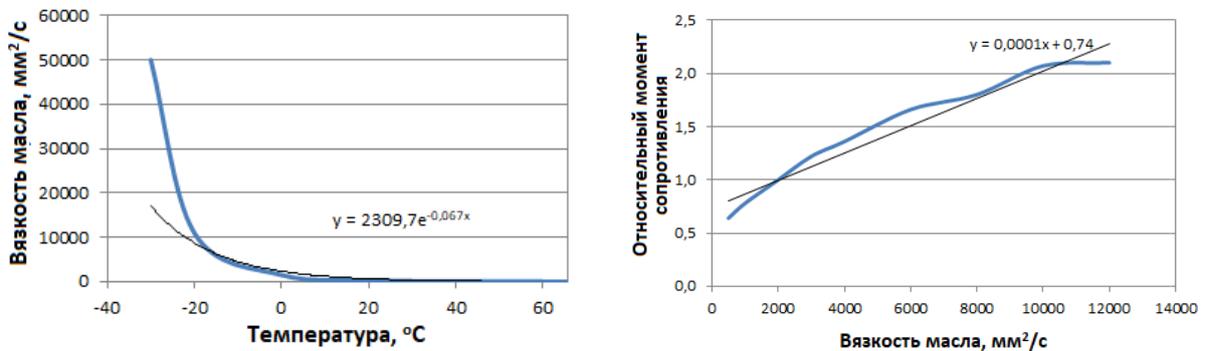


Рис. 2 – Зависимость вязкости масла от температуры

Таким образом, для полноценного использования модели при указанных ограничениях необходимо учесть 2 значимых фактора, определяющих ресурс стартера: температуру окружающего воздуха и среднее количество пусков в день. Для получения температурной зависимости нужно ввести такое понятие, как эквивалентное количество пусков холодного

ДВС. Существующие стандарты определяют холодный ДВС по температуре окружающего воздуха с отличием температуры всех составных деталей, навесного оборудования и используемых эксплуатационных материалов не более, чем на 1 °С, а горячий – в диапазоне нормальных рабочих температур ДВС при эксплуатации автомобилей в регионах с температурой до 45 °С. Если для пуска горячего ДВС эквивалентное количество пусков будет равно 1, то расчёт для остальных температур может быть произведён на основе моделей изменения вязкости масла в зависимости от температуры окружающего воздуха (рис. 3).

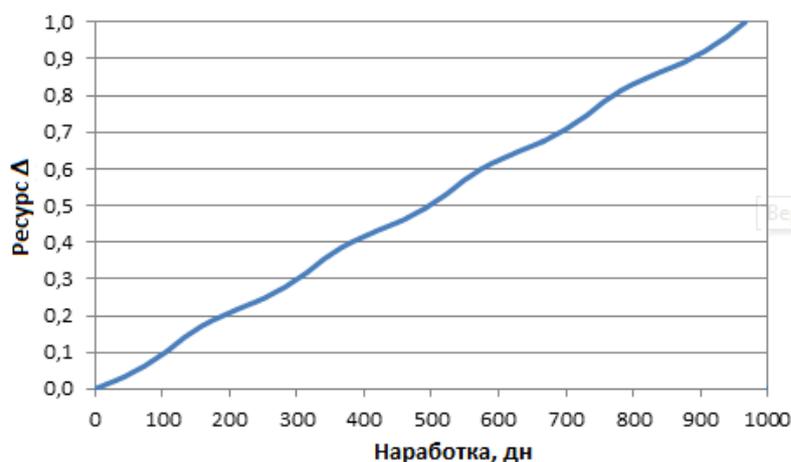


Рис. 3 – Снижение ресурса стартера по мере приращения наработки

Для оценки совокупного влияния факторов температуры и количества пусков необходимо уточнить характер прогрева ДВС и тем самым исключить дополнительный расход ресурса стартера в ходе повторных пусков при низких температурах (рис. 4).

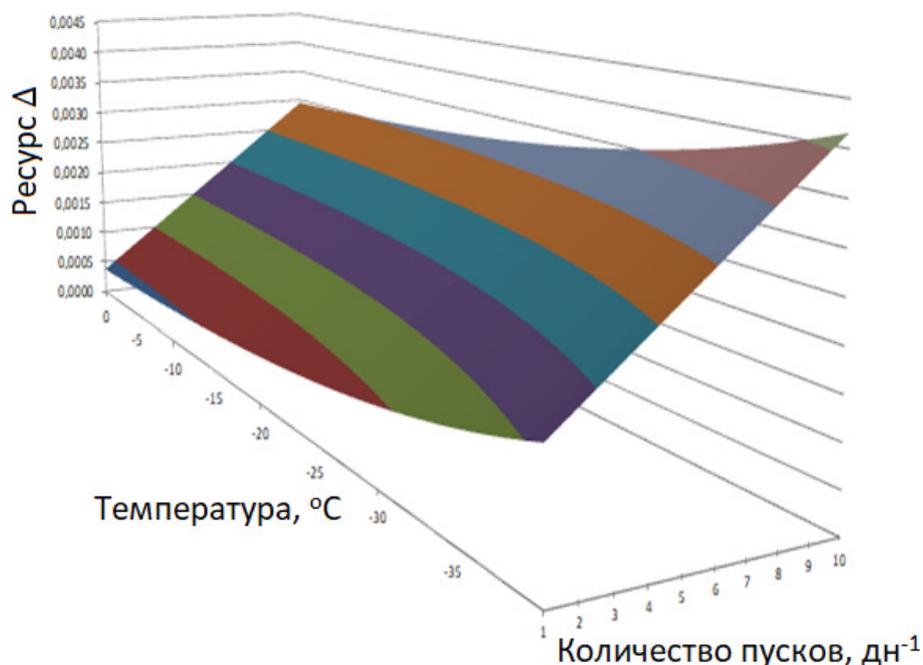


Рис. 4 – Влияние температуры окружающего воздуха и количества пусков ДВС на ресурс стартера УАЗ–3909

Так, возможно допустить, что в процессе эксплуатации автомобиля в сфере нефтегазодобычи, первый пуск в течение рабочего дня считается «холодным», а все последующие «горячими». На основании этого модель снижения ресурса можно представить следующим образом:

$$\Delta R = \frac{0,23097 \cdot e^{0,067t} + n - 0,26}{m_{вт} \cdot n_{ресурс}} \quad (3)$$

где t – температура окружающего воздуха, °С;

n – количество пусков за день;

$n_{ресурс}$ – ресурс стартера в пусках (3450 для УАЗ–3909);

$m_{вт}$ – относительный момент сопротивления горячего ДВС (для бензиновых двигателей - 0,756).

Таким образом, в ходе проведённых исследований были проанализированы основные факторы изменения ресурса стартеров для фиксированной эксплуатации автомобилей УАЗ-3909 в зависимости от температуры окружающего воздуха и среднего количества пусков в день. Практическая значимость полученных результатов заключается в новой математической модели оценки остаточного ресурса стартеров в составе систем электроснабжения, применение которой позволяет снизить затраты от простоев и оптимизировать складские запасы расходных материалов и запасных частей в соответствии с фактической потребностью на предприятиях автомобильного транспорта.

Список литературы

1. *Конев В.В.* Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // *Материалы Национальной научно-практической конф.: Нефть и газ: технологии и инновации.* – 2020. – С. 194–196.
2. *Сапоженков Н.О.* Влияние уровня заряженности аккумуляторной батареи на пуск двигателя легковых автомобилей в зимний период [Текст] / Н.О. Сапоженков // *Материалы Международной научно-технической конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону.* – 2016. – С. 253–256.
3. *Сапоженков Н.О.* Методы оценки фактической ёмкости автомобильных аккумуляторных батарей при отрицательных температурах [Текст] / Н. О. Сапоженков // *Материалы Международной научно-технической конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону.* – 2016. – С. 256–260.
4. *Захаров Н.С.* Определение оптимальной периодичности заряда автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период [Текст] / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков // *Материалы Международной научно-технической конференции: Транспортные и транспортно-технологические системы.* – 2016. – С. 134–139.

05.13.01

**Н.О. Сапоженков канд. техн. наук, А.А. Панфилов канд. техн. наук,
В.Д. Ильиных канд. техн. наук**

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Отрицательные температуры, повышенное энергопотребление дополнительного оборудования и короткие поездки в городе с частыми остановками способствуют ухудшению эффективности заряда аккумуляторных батарей. В таких условиях аккумуляторные батареи разряжаются не только за счёт пуска ДВС и включения потребителей на стоянке, но и при работе ДВС на холостом ходу и малых частотах вращения коленчатого вала во время движения по городским маршрутам и в часы пик. Параметры рабочих процессов автомобилей существенно изменяется с понижением температуры, поэтому исследования по моделированию температурных режимов аккумуляторных батарей актуальны.

Ключевые слова: *моделирование, аккумуляторная батарея, температура, функция Хевисайда, коэффициент прогрева.*

Вариация условий и интенсивности эксплуатации вызывает необходимость совершенствования методов обеспечения работоспособности на основе оперативного анализа причин гарантийных ремонтов и опыта использования новых моделей автомобилей [1, 2]. Устойчивый рост количества и мощности электропотребителей в элементах конструкции способствует повышению конкурентных преимуществ, реализации новых возможностей информационных систем и расширению перечня мультимедийных опций, что предъявляет новые требования к надёжности аккумуляторных батарей (АБ) [3, 4]. География применения автомобилей не ограничивается климатическими особенностями регионов эксплуатации, что предопределяет актуальность исследований, направленных на моделирование и прогнозирование режимов работы аккумуляторных батарей с учётом температуры окружающей среды.

Прогрев АБ обусловлен выравниванием теплового поля её составных частей до теплового равновесия с окружающей средой. При этом в соответствии с теорией регулярных тепловых режимов Кондратьева Г.М. весь процесс делится на три стадии: нерегулярную, регулярную и стационарную. Скорость теплообмена АБ в течение суток меняется медленно из-за высокой теплоёмкости активной массы в составе электролита и малой электропроводности материалов моноблоков. Тепловыделение от нагретых деталей и навесного оборудования ДВС начинается только после прогрева, продолжительность которого в условиях неустановившегося движения в городе занимает больше времени, а токообразующие реакции АБ не оказывают существенного влияния до того момента, пока зарядный ток АБ не достигнет расчётных величин по мере её прогрева. Температура электролита в течение суток меняется меньше, чем температура окружающей среды, поэтому стадия регулярного режима начинается спустя длительное время по факту достижения полной упорядоченности теплового поля ДВС и полноценного прогрева подкапотного пространства при ограниченной степени циркуляции воздушных потоков на невысоких скоростях движения, что исключает стационарные режимы в таких условиях. В этой связи при коротких поездках автомобилей в городе в зимний период нерегулярный режим для процесса прогрева АБ преобладает над стационарным, поэтому далее будет рассматриваться в качестве основного.

При регулярном режиме прогрева разница между температурой окружающей среды и температурой АБ изменяется во времени по экспоненциальной зависимости с учётом тепловыделения от токообразующих процессов. Однако, вследствие высокой теплоёмкости АБ время на упорядочение теплового поля уменьшается с увеличением градиента температур между АБ и окружающей средой. Для описания этого процесса предложено дополнить модели нагрева и охлаждения на основе функции Хевисайда (рис. 1).

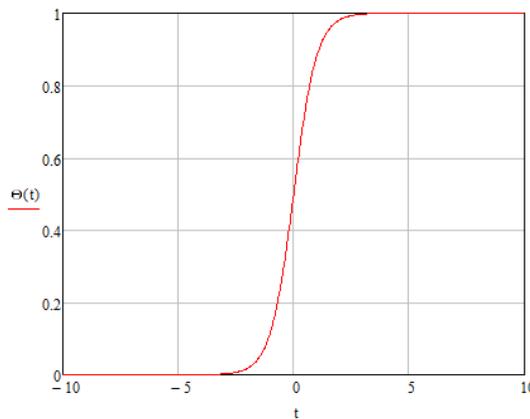


Рис. 1 – Применение функции Хевисайда при описании процессов изменения температуры АБ

Таким образом, процесс охлаждения АБ для рассматриваемых условий можно охарактеризовать стадией регулярного режима, наступающей спустя некоторый период времени, длительность которого определяется скоростью упорядочивания температурного поля АБ и продолжительностью остывания подкапотного пространства в месте её установки до температуры окружающего воздуха:

$$T_{AB} = T_K - (T_K - T_0) \cdot e^{-m(\tau - \tau_0) \left(\frac{1}{1 + e^{-2(\tau - \tau_0)}} \right)}, \tag{1}$$

где T_0, T_K – начальная и конечная температура АБ при охлаждении, °С;

m – темп охлаждения;

t – длительность процесса охлаждения, ч.

t_0 – длительность упорядочивания температурного поля АБ, ч.

Для актуальных диапазонов изменения температуры окружающей среды и времени остывания АБ зависимость может быть представлена в виде трёхмерной модели (рис. 2).

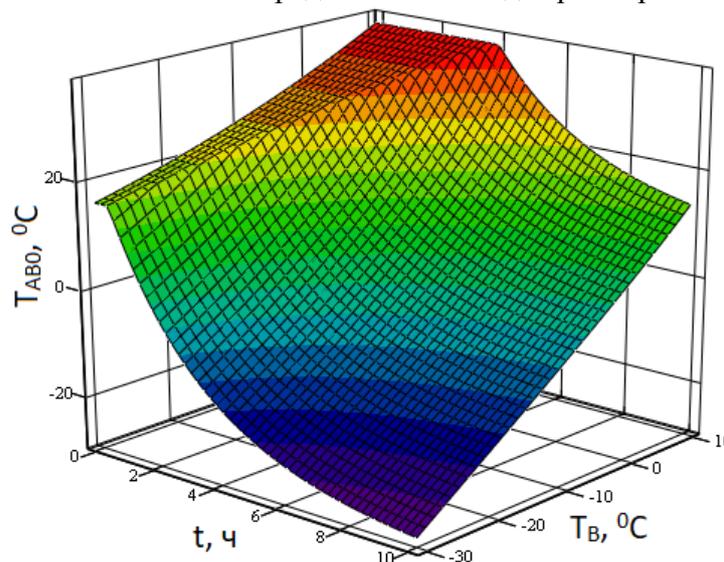


Рис. 2 – Моделирование температуры АБ в зависимости от температуры окружающего воздуха и продолжительности остывания

Использование предложенной модели при имитационном моделировании зарядных процессов АБ с учётом климатических условий, параметров движения по установленным ездовым циклам или типичным маршрутам, расширяет возможности оценки для других автомобилей, эксплуатируемых при пониженных температурах в условиях городов с различной численностью населения, особенностями организации движения, значениями средней скорости потока, среднесуточного пробега и других показателей условий и интенсивности эксплуатации (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты моделирования установившегося уровня заряженности АБ

$T_{в}, ^\circ\text{C}/$ Icc, км	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	150
0	70*	85	93	96	98	99	99	99	99	99	99
-5	49	67	79	85	88	91	94	96	98	99	99
-10	21	40	56	65	71	75	79	82	85	88	99
-15	54**	70	20	33	42	49	55	61	66	70	89
-20	40	31	24	24	26	28	21	29	36	43	72
-25	36	26	16	13	12	10	10	15	21	32	48

* – установившийся уровень заряженности АБ, %;

** – наработка АБ до разряда, дни.

Изменение уровня заряженности АБ оказывает влияние на суммарные затраты, состоящие из затрат на заряд АБ, затрат, возникающих в случае неудавшегося пуска ДВС автомобиля, и затрат на покупку новых АБ. Экономический эффект от использования результатов исследований достигается за счёт изменения периодичности заряда АБ, что уменьшает простои в текущем ремонте, снижает затраты на покупку новых АБ и увеличивает надёжность зимнего пуска ДВС (рис. 3).

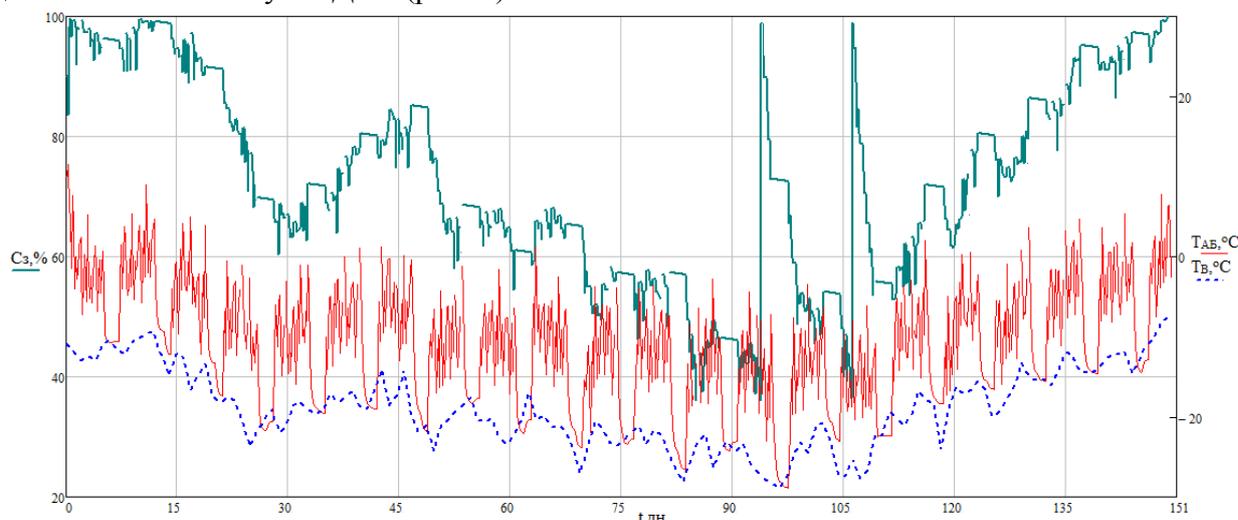


Рис. 3 – Моделирование уровня заряженности и температуры АБ автомобиля Hyundai Solaris при эксплуатации в климатических условиях г. Салехарда

Таким образом, продемонстрировано влияние различных климатических условий и режимов эксплуатации в городе на формирование уровня заряженности АБ в зимний период. При помощи разработанной модели можно исследовать процесс изменения средних удельных затрат на эксплуатацию автомобиля при изменении различных входных характеристик. Данная информация может быть полезной при определении методов обеспечения работоспособности АБ в холодных климатических условиях и принятии решений о моментах проведения и содержании перечня технических воздействий в зависимости от принятой системы ТО, а также условий и интенсивности эксплуатации.

Научная новизна проведённых исследований заключается в установлении новых моделей влияния температуры окружающего воздуха и интенсивности эксплуатации автомобилей на температуру АБ на основе функции Хевисайда. Использование разработанной имитационной

модели формирования уровня заряженности АБ, в отличие от существующих, позволяет более точно определять уровень заряженности и наработку АБ на отказ при эксплуатации автомобилей в городе в зимний период в зависимости от конструктивных и эксплуатационных факторов. Применение методики корректирования периодичности заряда АБ легковых автомобилей на основе установленных моделей повышает достоверность оценки влияния комплексных изменений температуры окружающего воздуха и интенсивности эксплуатации, что позволяет снизить простои техники и затраты на текущий ремонт при реализации планово-предупредительной системы технического обслуживания.

Список литературы

1. *Конев В.В.* Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // *Материалы Национальной научно-практической конф.: Нефть и газ: технологии и инновации.* – 2020. – С. 194–196.
2. *Сапоженков Н.О.* Влияние уровня заряженности аккумуляторной батареи на пуск двигателя легковых автомобилей в зимний период [Текст] / Н.О. Сапоженков // *Материалы Международной научно-технической конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону.* – 2016. – С. 253–256.
3. *Сапоженков Н.О.* Методы оценки фактической ёмкости автомобильных аккумуляторных батарей при отрицательных температурах [Текст] / Н. О. Сапоженков // *Материалы Международной научно-технической конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону.* – 2016. – С. 256–260.
4. *Захаров Н.С.* Определение оптимальной периодичности заряда автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков // *Материалы Международной научно-технической конф.: Транспортные и транспортно-технологические системы.* – 2016. – С. 134–139.

05.13.01

А.М. Станкевич

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет,
кафедра прикладной информатики,
Москва, stan@inmas.ru

ПРЕДПОСЫЛКИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ ЛЁТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В статье рассматривается, как в процессе эволюции от отдельных программ до цифровых организаций накапливались опыт и знания в данной области, образуя в итоге предпосылки для формирования новых взглядов на проблему цифровой трансформации организаций, соответствующих современным результатам в области цифровой вычислительной техники.

Ключевые слова: поддержание лётной годности, авиационная техника, цифровая трансформация.

Одним из стратегических направлений совершенствования организаций, обеспечивающих поддержание лётной годности (ПЛГ) воздушных судов (ВС), является внедрение в их деятельность современных достижений в области цифровой вычислительной техники (ЦВТ), прикладной математики и систем телекоммуникаций. Это направление в настоящее время весьма интенсивно развивается и, следуя современной терминологии, определяется как цифровая трансформация.

Использование средств ЦВТ в инженерной и управленческой деятельности началось, фактически, с начала её промышленного производства. Во множестве различных организаций это начиналось с решения той или иной локальной практической задачи.

В организациях ПЛГ ВС средства вычислительной техники изначально использовались для формирования различных табличных отчётов на основе данных о состоянии экземпляров ВС и установленных на них компонентов. Соответствующее программное обеспечение представляло собой отдельные программы, работающие в пакетном режиме. В качестве примера можно назвать такие программные изделия, как пакетные системы ПИ ТОС, ПИ ТОС-Р, разработанные и использовавшиеся в период с 1968 по 1978 год более чем на двадцати крупнейших авиапредприятиях СССР [1].

Следующим этапом развития стали интерактивные системы ПИ АТЬ-1, ПИ АТЬ-2, ПИ ЭАТ, которые были установлены во многих аэропортах СССР в период с 1980 по 1988 год [1].

Дальнейшее расширение использования средств вычислительной техники в инженерной и управленческой деятельности шло по пути перевода информационного обеспечения из файловых систем в среду различных систем управления базами данных, комплексирования технических средств и наращивания их мощности, расширения состава решаемых задач [2]. При этом соответствующее программное обеспечение представляло собой уже не отдельные пакеты программ, а интегрированные между собой по информации программные модули. Такого рода расширения получили название «автоматизированные системы». В области технической эксплуатации ВС были созданы такие системы как ПИ РУСЛАН [1] и Эрлан [3], которые внедрялись в практическую деятельность отечественных авиакомпаний. На основе накопленного опыта в части разработки и практического использования системы Эрлан был разработан ГОСТ Р 50596-93 [4].

В начальный период создаваемые в рамках организаций автоматизированные системы обеспечивали автоматизацию по участкам [2], что получило название «островковой автоматизации», поскольку изначально создаваемые системы, например, «Воздушный транспорт», «Надёжность», «Учёт дефектов» [5], ПИ РУСЛАН и другие локальные программы не были связаны между собой. Информация между ними передавалась или в печатном виде или, в лучшем случае, на магнитных носителях (магнитные ленты, магнитные диски и т.п.). В результате, в организациях появлялось многообразие разнородных систем (автоматизированных рабочих мест), никак не интегрированных между собой.

С появлением локальных вычислительных сетей данная проблема была частично устранена за счет появления возможности хранения данных из различных систем на выделенных файл-серверах. Это позволило оперативно получать необходимые данные из единого хранилища без физической передачи магнитного/бумажного носителя с этими данными между подразделениями, но принципиально проблема разнородности систем всё равно осталась.

Переход от интеграции систем, автоматизирующих различные функции, к единой системе организации был осуществлен на базе концепции создания единого информационного пространства (ЕИП) организаций или групп организаций, получивших название «виртуальная организация» [6]. Реализация этой концепции стала возможной за счет появления быстродействующих процессоров и резкого увеличения доступной по функционалу и стоимости оперативной и дисковой памяти, а также благодаря результатам в области развития локальных и глобальных телекоммуникационных систем общего использования, в частности сети Интернет, и, в том числе, использования веб-приложений [7]. Например, использование этой концепции лежит в основе развития информационно-аналитической системы мониторинга лётной годности ВС [8].

Переход организаций на использование ЕИП обеспечило «бесшовную» интеграцию автоматизируемых функций организаций. При этом имеют место два направления интеграции. Первое из них связано с интеграцией «внутренних» функций непосредственной деятельности организаций по ПЛГ ВС. Второе — с интеграцией организаций, осуществляющих жизненный цикл изделий [9].

Согласно современной терминологии, интеграция функций организации на основе ЕИП определяется как создание информационного (цифрового) двойника организации. В корректно созданной системе обеспечивается тождественность «материальной» организации и её цифрового двойника. Механизмы, обеспечивающие названную корректность, в своей основе содержат обязательность регистрации в базе данных ЕИП организации всех значимых в её рамках действий со степенью подробности, которая обеспечивает данными алгоритмы обработки информации при подготовке информации для принятия решений при планировании и управлении организацией.

В итоге организация как объект управления становится наблюдаемой, а наличие модели (цифрового двойника) позволяет предсказать её деятельность по всем направлениям (финансы, время, качество и т.п.) и применять алгоритмы выработки эффективных корректирующих и/или упреждающих управляющих воздействий. Организация приобретает все черты кибернетической системы, которая может служить формальным обобщением организаций по ПЛГ, и при их рассмотрении могут быть применены результаты, накопленные в области создания кибернетических систем [10], обеспечивающих планирование и управление их деятельностью.

Итак, в настоящее время цифровая трансформация организации по ПЛГ ВС должна базироваться на использовании ЕИП. Такая организация информационно связана с организациями-разработчиками ВС, которые она обслуживает, с другими организациями - соисполнителями выполняемых работ, а также с поставщиками ресурсов и услуг. Цифровая трансформация таких организаций становится возможной за счёт использования достаточно устоявшейся к настоящему времени методической и инструментальной базы, основанной на обобщениях обширного опыта, полученного в процессе эволюции АС и их внедрения в практическую деятельность организаций.

Список литературы

1. Программное изделие (ПИ) РУСЛАН. URL: <http://programmprom.ru/works.htm#ruslan> (дата обр. 17.11.2021).
2. Баронов В.В и др. Автоматизация управления предприятием. Серия «Секреты менеджмента». М.: Инфра-М, 2000.
3. «Эрлан-2» Система информационного обеспечения технической эксплуатации авиационной техники. URL: http://www.airlan.ru/upload/tmp/Presentation_System.pdf (дата обр. 17.11.2021).
4. ГОСТ Р 50596-93 Система информационно-управляющая для обеспечения технической эксплуатации воздушных судов. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 1994.
5. Кирпичев И.Г. «Интеграция гетерогенных информационных систем авиапредприятий как одно из условий формирования информационно-аналитической системы мониторинга лётной годности воздушных судов». // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации 103, 2006, с. 110-115.
6. Уорнер М., Витцель М. Виртуальные организации. Новая форма ведения бизнеса в XXI веке. М.: Хорошая книга, 2005.
7. Гинзбург И.Б. Концепция построения распределённых систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов. // Научно-технический вестник Поволжья, 5, 2014, с. 159-161.
8. ГОСТ Р 54080-2010 Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Информационно-аналитическая система мониторинга лётной годности воздушных судов. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2012.
9. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003.
10. Бир С. Мозг фирмы. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.

05.13.01

Д.А. Хвостов

Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программное обеспечение вычислительной техники
и автоматизированных систем,
Абакан, daniil.xv@mail.ru

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА

В работе представлены результаты разработки нейронных сетей, дано описание их моделей, выбраны оптимальные модели для поставленной задачи, рассмотрены слои для реализации модели. Получены две нейронные сети для определения эмоциональной окраски текста.

Ключевые слова: *keras, embedding, dence, autoencoder, нейронные сети, тональность текста.*

Нейронная сеть для определения тональности текста может автоматически классифицировать текст по указанным видам эмоциональной окраски, что позволит в короткие сроки узнавать общую оценку о каком-либо объекте, в данном случае нейронная сеть будет оценивать комментарии к фильмам [1-5].

В настоящей статье будут рассмотрены две нейронные сети: bag-of-words (мешок слов) и embedding. Обе модели будут отличаться лишь первыми слоями, что позволит сравнить эффективность двух подходов к решению одной и той же задачи.

Для реализации программного продукта используется язык программирования Python и библиотека Keras, которая обеспечивает взаимодействия с нейронными сетями. В качестве набора данных выступает база IMDb, в которой собрано 50 тыс. комментариев к фильмам. Комментарии разделены на негативные и позитивные. Также каждая запись имеет оценку по десятибалльной шкале, поставленную зрителем, однако в данной статье рассматриваться комментарии будут лишь как негативные и позитивные без использования их оценок [1-3].

Первая нейронная сеть использует такой метод кодирования, как one-hot encoding. Суть данного подхода заключается в выделении всех слов из текста, создании из них словаря и кодировании слов с помощью нулей и единиц. Данный метод создаёт вектор такой же длины, как и словарь. Стоит отметить, что при большом объёме данных или же при высоком разнообразии слов в тексте, данный метод потребует большое количество оперативной памяти для хранения всех предложений-векторов. На рисунке 1 представлена одна из возможных кодировок нескольких слов.

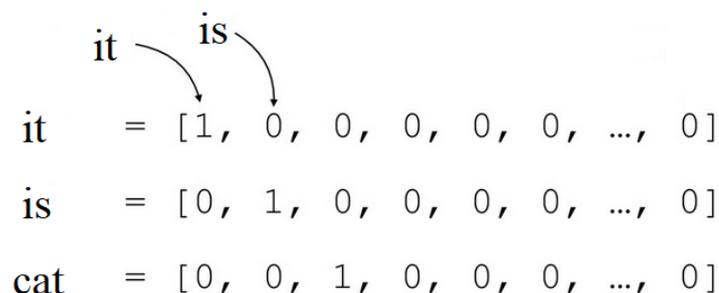
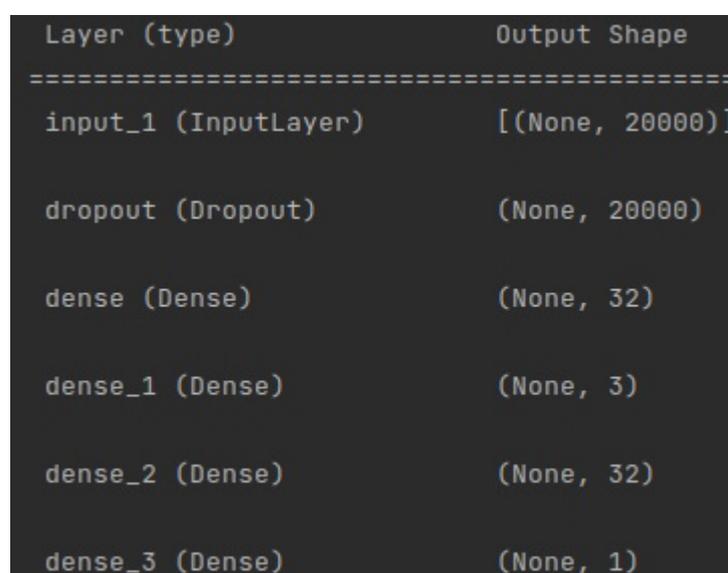


Рис. 1 – One-hot encoding

Так как в используемом наборе данных имеется 50 тысяч комментариев и около 150 тысяч слов, то для создания словаря и кодирования комментариев потребуются очень большой объём оперативной памяти. Следовательно, для обучения и тестирования нейронной сети будет использоваться лишь половина набора данных.

Типовой механизм, использующийся для преобразования текстов и дальнейшей обработки нейронной сетью – Tokenizer, который может, как и представить элементы текста в последовательность целых чисел, так и предоставить на основании метода мешка слов, что идеально подходит для реализации обеих моделей нейронных сетей [3].

Вся данная нейронная сеть построена из плотно связанных слоёв (Dense). Исключением является слой dropout, производящий случайное обнуление проходящих через него данных. Длина входного слоя определяется размером нашего словаря. Такой слой применяется для предотвращения переобучения нейронной сети. Все слои, которые идут дальше, являются обычными плотно связанными слоями (dense). Три слоя: dense, dense_1, dense_2, вместе составляют свёрточный автоэнкодер. У автоэнкодера можно выделить несколько плюсов: подавление помех, возможность изучения нелинейных представлений характеристик. Однако у данных слоёв есть и свои минусы: вычислительно дорогой алгоритм в обучении, сложная математика, тяжёлая для понимания структура. В качестве выходного слоя нейронной сети используется плотно связанный слой, состоящий из одного нейрона[2]. Модель описанной нейронной сети представлена на рисунке 2.



Layer (type)	Output Shape
input_1 (InputLayer)	[(None, 20000)]
dropout (Dropout)	(None, 20000)
dense (Dense)	(None, 32)
dense_1 (Dense)	(None, 3)
dense_2 (Dense)	(None, 32)
dense_3 (Dense)	(None, 1)

Рис. 2 – Представление модели мешка слов

Другой распространённый подход для кодирования текста – кодирование уникальными индексами. Данный метод создаёт словарь из выделенных слов и даёт им идентификаторы. В отличие от первого подхода, данный является экономичным и эффективным.

Как и в прошлой нейронной сети, в данной применяется Tokenizer, но выполняет другую функцию. Для Embedding слоя создаётся словарь, содержащий уникальные идентификаторы слов. Этот слой может использоваться только как первый слой модели. Значительным плюсом данного метода является то, что он позволяет также задавать какие-либо дополнительные параметры, по которым может рассматриваться текст, однако в поставленной задаче это не имеет смысла [3].

Нейронная сеть с embedding слоем получает на вход вектор идентификаторов слов, максимальный размер которого не превосходит 2182 слов. Так как embedding слой на выход подаёт многомерный тензор, его нужно преобразовать в одномерный. Для данной задачи используется flatten слой, который и производит нужное преобразование. Далее следуют слои, уже описанные в первой модели. Модель сети представлена на рисунке 3.

Layer (type)	Output Shape
input_1 (InputLayer)	[(None, 2182)]
embedding (Embedding)	(None, 2182, 1)
flatten (Flatten)	(None, 2182)
dropout (Dropout)	(None, 2182)
dense (Dense)	(None, 32)
dense_1 (Dense)	(None, 3)
dense_2 (Dense)	(None, 32)
dense_3 (Dense)	(None, 1)

Рис. 3 – Представление модели с embedding слоем

Обе нейронные сети обучались на 25 тысячах комментариев, которые делились на две части: первые 70% являются комментариями для обучения, остальные 30% – тестовыми.

На рисунке 4 представлены результаты обучения мешка слов. Данная нейронная сеть достигает точности в 90.14% на 21 эпохе, переобучение же происходит с 7 эпохи.

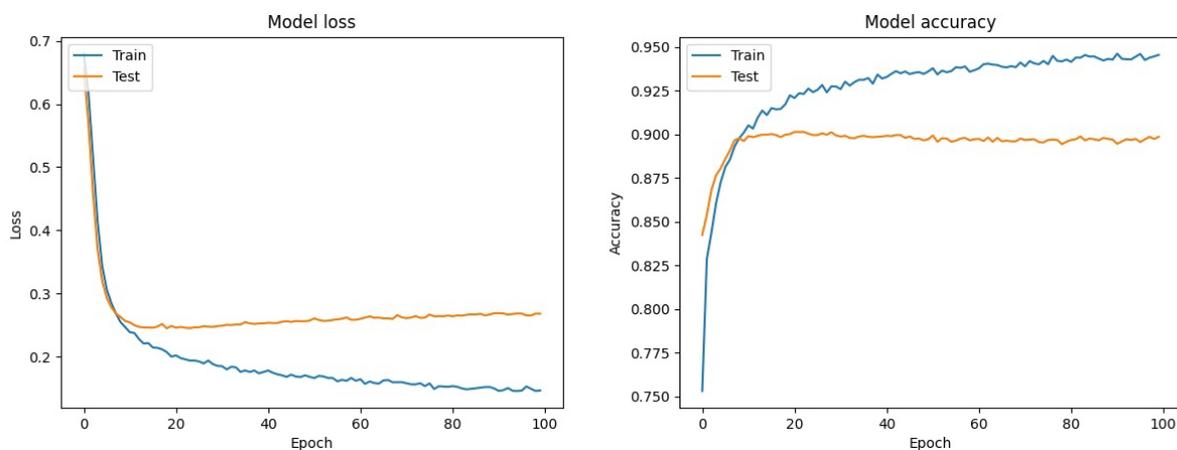


Рис. 4 – Результаты тестирования нейронной сети «Мешок слов»

На 5 рисунке представлены результаты второй нейронной сети, которая использует embedding слой. Максимальная точность, которая была достигнута на 35 эпохе, составляет 89.40%, переобучение данной нейронной сети началось на 13 эпохе.

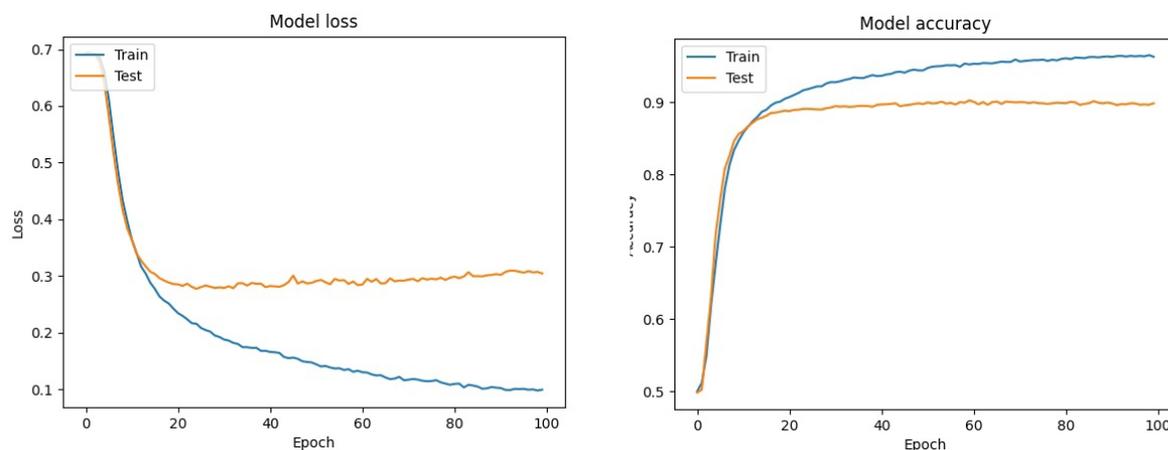


Рис. 5 – Результаты обучения нейронной сети с Embedding слоем

Далее, при добавлении слоёв или увеличении их размеров, получить результаты выше возможно, однако рост эффективности обучаемой нейронной сети при анализе будет несущественным [1-5].

Сравнивая два подхода, хотелось бы отметить то, что мешок слов выдает достаточно точные результаты как на комментариях большого размера, так и на самых маленьких, что связано с запоминанием слов и присваиванием каждому слову своего веса. Тестирование второй сети показало то, что на сообщениях малого объема она может выдавать не корректные ответы, однако при больших и осмысленных предложениях она показывает более верные результаты, что связано с запоминанием связей слов. Также мешок слов обучается быстрее и имеет более высокую точность, однако его главным минусом является большое потребление оперативной памяти. Сеть с embedding слоем уступает почти в 1%, компенсируется экономией ресурсов в процессе работы.

Список литературы

1. *Антонио Джулли, Суджит Пал.* Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. Реализация нейронных сетей с помощью библиотек Theano и TensorFlow/ пер. с англ. Слинкин А.А. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 294 с.: ил.
2. *Шакла Нишант.* Машинное обучение и TensorFlow. - СПб.:Питер, 2019. – 336 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»).
3. *Хайкин Саймон.* Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с. : ил. – Парал. тит. англ.
4. *Галушки, А.И.* Нейронные сети: основы теории. / А.И. Галушкин. - М.: РиС, 2015. - 496 с.
5. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. - М.: Диалектика, 2019. - 1104 с.

05.13.01

¹П.С. Шичёв канд. техн. наук, ²Ж.В. Овадыкова канд. с.-х. наук¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения»,
Санкт-Петербург, shichev@bk.ru,
²АО «Транснефть-Север»,
Ухта

ПОДХОД К КОРРЕКТИРОВКЕ ПРЕДЕЛОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО СПЕКТРАМ ТОКА ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассматривается возможность повышения информативности оценки технического состояния динамического оборудования с электроприводом на основе анализа спектров сигналов токов двигателей путем дополнения методик контроля процедурами корректировки предельных значений диагностических параметров. Предложен порядок реализации методик оценки, в рамках которого реализуется подход по корректировке диагностических параметров. Сформированный подход представлен алгоритмом, по которому предусмотрен анализ диагностических параметров в спектрах тока и параметров вибрации, а также учет результатов технического обслуживания и ремонтов диагностируемого оборудования.

Ключевые слова: *диагностический параметр, контроль технического состояния, амплитудный спектр тока, корректировка предельных значений.*

Введение

Безопасность технологических процессов, реализуемых на производственных объектах различных отраслей промышленности, во многом обеспечивается надежностью эксплуатируемого динамического оборудования, в том числе насосных, компрессорных агрегатов и вентиляторных установок с электроприводом.

В составе электропривода широкое применение находят асинхронные электродвигатели ввиду их высокого ресурса, удобства регулирования частоты вращения, меньших габаритов, объемов обслуживания и стоимости в сравнении с другими типами двигателей.

В отношении динамического оборудования реализуется процедуры контроля технического состояния (далее – КТС) применением ряда методов, среди которых широкое применение находят мониторинги по параметрам вибрации и электрическим параметрам двигателя.

Мониторинг и анализ вибрационных параметров являются обязательными мероприятиями в рамках оперативных и плановых диагностических контролей технического состояния электроприводного динамического оборудования. Требования к проведению КТС по параметрам вибрации регламентируются государственными стандартами (ГОСТ ИСО 10816, ГОСТ Р 55265, ГОСТ Р ИСО 13373, и др.), руководящими документами предприятий и паспортной документацией к оборудованию.

Развивающийся метод КТС оборудования по параметрам амплитудных спектров токов и напряжений статора электродвигателя (далее – спектр-токовый метод) представляет интерес, поскольку его применение позволяет обеспечить измерения в удалении от объекта контроля с привязкой только к линии питания электродвигателя, а также потенциально высокие точность измерений достоверность диагностической оценки. Исследованию метода посвящено множество трудов отечественных и зарубежных авторов, часть которых рассмотрена в работах [1–3]. Существующие разработки обеспечивают КТС по спектрам тока методической базой и аппаратурной частью в объеме, достаточном для начала его

реализации на действующих и вновь вводимых в эксплуатацию электроприводных агрегатах. Однако на текущий момент имеется проблемная область, связанная с отсутствием какого-либо значимого опыта практического применения метода и, как следствие, проверенных нормативов по предельным значениям диагностических параметров, какие существуют в методиках диагностики по параметрам вибрации.

Ввиду вышесказанного представляется актуальной задача разработки рекомендаций, дополняющих существующие методики КТС спектр-токовым методом в части порядка уточнения первоначальных нормативов на диагностические параметры, принимаемых на этапе внедрения методик, на основании дополнительной диагностической информации.

Целью работы является формирование предложений по повышению информативности оценки технического состояния узлов оборудования по спектрам тока двигателя на основании данных КТС вибрационными методами и сведений по результатам технического обслуживания (далее – ТО) и ремонтов.

В ранее проведенных исследованиях определены обобщенная последовательность выполнения спектр-токового метода в рамках КТС [1], а также диагностические признаки и значения параметров оценки состояний узлов электроприводных насосных агрегатов [2,3].

Общие описания по задачам определения типа измерительной системы, выбора средств измерения, определения точек установки измерительной аппаратуры, измерениям и анализу данных изложены в работе [1]. Надо отметить, что диагностическими параметрами по рассматриваемому порядку реализации являются амплитуды частотных составляющих в спектре тока, отнесенные к амплитуде основной гармонике тока [2,3].

Ниже по остальным этапам, представляющим новизну и ценность в рамках поставленной задачи, приведены комментарии, поясняющие их основное содержание.

Установка первоначальных предельных значений диагностических параметров, определяющих виды технических состояний узлов оборудования на предварительных этапах мониторинга, может выполняться на основании результатов существующих исследований, например [2–6].

По результатам мониторинга на основе сведений о фактических и прогнозируемых состояниях узлов принимается решение о дальнейшей неограниченной эксплуатации, сокращении интервала контроля, проведении дополнительных процедур контроля, выводе оборудования в ремонт.

Установленный в [1] порядок реализации методики дополняется последним этапом, заключающимся в проверке результата, анализ диагностической истории машины и корректировка пороговых значений диагностических параметров, что позволит решить поставленную задачу уточнения первоначальных нормативов на диагностические параметры.

В рамках предлагаемых мероприятий, основываясь на результатах исследований [2,3], рассматривается возможность корректировки диагностических параметров в спектрах тока при определении состояний подшипников качения [2] и соединений валов электроприводных агрегатов. При этом состояние соединения валов характеризуется показателем несоосности валов [3]. В качестве параметра вибрации рассматривается среднее квадратическое значение (СКЗ) виброскорости, что объясняется его использованием при вибрационных методах КТС подавляющего большинства динамического оборудования, так как параметр обладает высокой информативностью с точки зрения отражения энергии вибрации и разрушающей способности колебаний агрегатов в частотном диапазоне 10-1000 Гц, согласно ГОСТ ИСО 10816-1-97.

В процессе контролей рекомендуется оценивать соответствие данных о состояниях узлов, полученных по спектр-токовому методу, с результатами мониторинга по другим методам диагностики. Кроме того, при ближайших ТО и ремонтах желательно оценить достоверность результатов определения состояния узлов. В случае несоответствия данных мониторинга фактически установленным состояниям узлов, и с учетом сравнения с результатами других методов контроля, следует корректировать принятые пороговые значения диагностических

параметров. Корректировку пороговых значений можно выполнять по алгоритму, представленному частями на рисунках 1, 2 а,б.

На рисунках приняты сокращения: ДП – диагностический параметр спектр-токового метода контроля (амплитуды составляющих спектров токов и напряжений), ПВ – параметр вибрации (СКЗ виброскорости). Также обозначены информативные частоты диагностических параметров в спектре тока: для подшипников – $f_{подш}$, и соединения валов – $f_{сопр}$.

После принятия первоначальных пороговых значений выполняются периодические измерения.

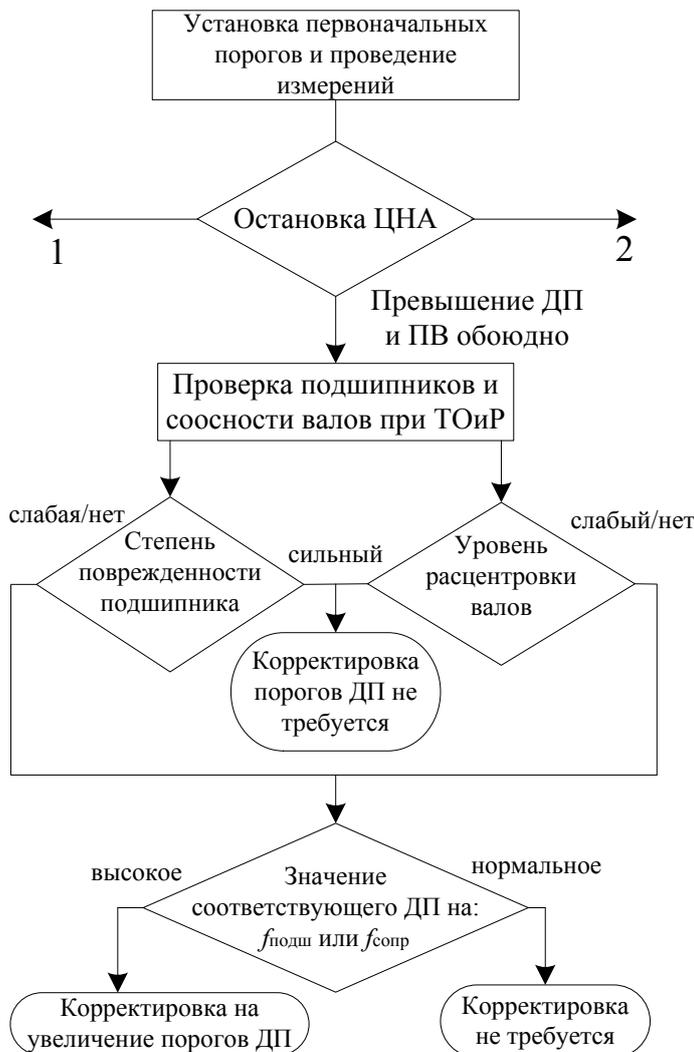


Рис. 1 – Часть алгоритма в случае превышения ПВ и ДП

После остановки агрегата по причине обоюдного достижения (см. рисунок 1) хотя бы одним из диагностических параметров в спектре тока и СКЗ виброскорости ЦНА значений, характеризующих предельное состояние узлов, и выявлении сильной степени поврежденности подшипников или высокого уровня расцентровки валов агрегата пороги соответствующего диагностического параметра не корректируются.

Если обнаружено слабое ухудшение состояния узлов, либо его отсутствие решение принимается с учетом последнего зафиксированного значения диагностического параметра на определенной частоте:

- при нормальных значениях корректировка не требуется;
- при высоких значениях необходимо увеличить пороги диагностических параметров, при этом рекомендуется увеличивать не более чем на 25%.

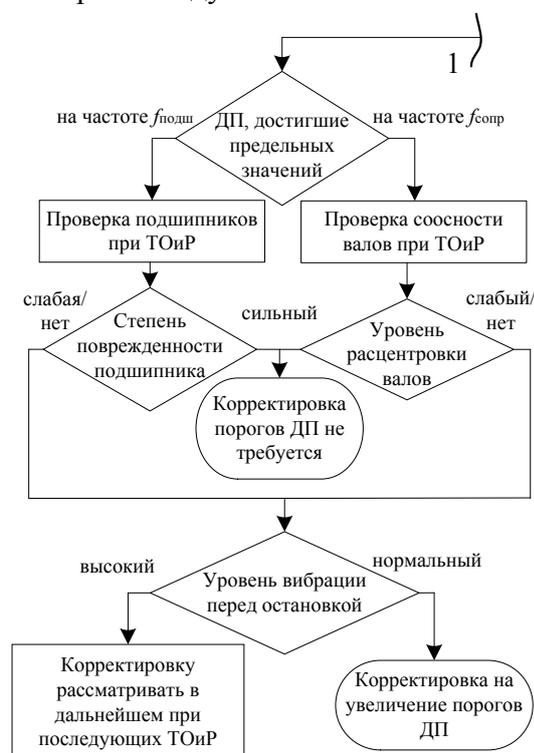
При достижении хотя бы одним из ДП значения, характеризующего предельное состояние узла (см. рисунок 2 а), оборудование останавливается и выполняется проверка соосности валов, либо подшипников качения в рамках ТО и ремонтов. В случае обнаружения сильных повреждений подшипников, либо уровня расцентровки валов агрегата, что соответствует предельным значениям соответствующих диагностических параметров, корректировка порогов не требуется. При этом состояние узлов оценивается с учетом заводских указаний по допустимому уровню несоосности валов агрегата и характеристикам подшипников, например, допустимым зазорам.

Если поврежденность подшипников, либо расцентровка валов не существенны, либо не обнаружены, то с учетом последнего, измеренного перед остановкой, значения СКЗ виброскорости агрегата принимается решение:

– при нормальном значении вибрации следует скорректировать пороги в сторону увеличения, поскольку агрегат был остановлен ошибочно и существенных повреждений не обнаружено; увеличение порогов зависит от установленных состояний узлов, но не рекомендуется увеличивать пороги более чем на 25% от первоначального значения, по основаниям ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009;

– при высоком значении вибрации корректировка не выполняется, поскольку рост диагностических параметров мог быть вызван иными неисправностями и подтверждение необходимости корректировки требует дальнейшего накопления данных.

– Если остановка агрегата выполнена по значению СКЗ виброскорости (см. рисунок 2 б), то в процессе дальнейших мероприятий по ТОиР при выявлении сильной степени поврежденности подшипников или высокого уровня расцентровки валов агрегата пороги диагностического параметра снижаются, поскольку определенные существенные ухудшения состояний узлов не были своевременно отслежены по спектру тока. Снижение порогов рекомендуется выполнять не более чем на 25%.



а – случай превышения ДП



б – случай превышения ПВ

Рис. 2 – Части алгоритма корректировки

В случае слабых поврежденности подшипников или расцентровки валов, либо их отсутствии, в зависимости от последнего зафиксированного значения диагностического параметра на определенной частоте принимается решение:

– при нормальных значениях корректировка не требуется, поскольку нет существенного ухудшения состояния рассматриваемых узлов;

– при высоких значениях, если отмечено наличие существенного ухудшения состояния других узлов агрегата, то корректировку следует рассмотреть в дальнейшем после накопления данных, если по другим узлам не отмечено проблем, то необходимо увеличить пороги диагностических параметров, поскольку их близость к предельных значениям не оправдана, при этом рекомендуется увеличивать не более чем на 25%.

Выводы

По результатам работы сформирован подход, предусматривающий совмещенный анализ диагностических параметров в спектрах тока, параметров вибрации и учет результатов технического обслуживания и ремонтов. Подход рассматривается как дополнительное мероприятие для повышения информативности оценки технического состояния узлов оборудования при внедрении методик КТС спектр-токовым методом.

Список литературы

1. Быков И.Ю., Ягубов З.Х., Шичёв П.С., Сёмин В.И. Анализ методов технической диагностики механических дефектов центробежных насосных агрегатов // Инженер-нефтяник. 2019. №1. С. 45–50.
2. Быков И.Ю., Ягубов З.Х., Шичёв П.С. Диагностический параметр контроля дефектов подшипников качения центробежного насосного агрегата // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2019. №8. С. 37–43.
3. Быков И.Ю., Ягубов З.Х., Шичёв П.С. Оценка диагностических параметров электропараметрического метода контроля соосности валов центробежных насосных агрегатов // Контроль. Диагностика. 2019. №5 (251). С. 38–45.
4. Барков А.В., Баркова Н.А., Борисов А.А., Федорищев В.В., Грищенко Д.В. Методика диагностирования механизмов с электроприводом по потребляемому току. Санкт-Петербург: НОУ «Севзапучцентр». 2012. 68 с.
5. Makoto Kanemaru, Mitsuru Tsukima, Toshihiko Miyauchi, Kazufumi Hayashi. Bearing Fault Detection in Induction Machine Based on Stator Current Spectrum Monitoring // IEEE Journal of Industry Applications. 2018. vol. 7. no.3. P. 282–288.
6. Сафин Н.Р., Прахт В.А., Дмитриевский В.А. Диагностика повреждений подшипников асинхронных двигателей в условиях горнодобывающих предприятий // Горный журнал. 2017. №1. С. 60–64.

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

05.13.06

Г.Э. Аминова, П.Е. Денисенко

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

**ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА СОЕДИНЕНИЯ
ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЕТА**

В работе рассмотрена архитектура сети противообледенительной системы воздушного судна, на основе которой были разработаны архитектура сети противообледенительной системы агрегатов хвостового оперения воздушного судна и конструкция гибридного соединения (соединителя) для обеспечения работы противообледенительной системы.

Ключевые слова: *обледенение, противообледенительная система, волоконно-оптический сенсор, гибридное соединение.*

Введение. Опыт эксплуатации самолетов показывает, что наряду с такими воздействиями, как турбулентность атмосферы, электрические разряды, столкновение с птицами, обледенение является одним из наиболее опасных воздействий внешней среды. Безопасность полетов на воздушном судне в условиях обледенения обеспечивается противообледенительной системой. Под противообледенительной системой понимается совокупность технических средств, предназначенных для предотвращения нарастания ледяного слоя на конструктивных элементах летательного аппарата, удаления появившегося льда в целях обеспечить всепогодность и повысить безопасность полёта в условиях обледенения [1-3]. Создание гибридной схемы соединения системы ПОС агрегатов хвостового оперения посредством применения гибридных соединителей и комбинированных кабелей позволит улучшить характеристики системы ПОС.

Основная часть. Традиционная система мониторинга современных самолетов заключается в контроле вибрации, влажности в кабине, ультразвуковом исследовании конструкций или температуры. Полученные данные передаются по проводам в центральное хранилище данных. В проводной системе мониторинга существуют такие недостатки, как сложность схем соединения, дороговизна установки и обслуживания. В обозначенных условиях все больше возрастает интерес к беспроводным технологиям, обладающим преимуществами гибкости, низкой стоимостью и простотой соединения. Однако, беспроводная сеть, основанная на радиочастотных технологиях, может быть подвержена помехам. В случае помех радиоэлектронных систем связей сеть будет разрушена, что приведет в целом к сбою системы работы.

С целью решения подобного рода проблем возможно применение волоконно-оптических соединений. ВОЛС обладают малым затуханием сигнала (0,15 дБ/км), которое позволяет передавать информацию на значительно большее расстояние без использования усилителей. Оптические волокна не окисляются, не намокают, не подвержены слабому электромагнитному воздействию. Информация по оптическому волокну передаётся «из точки в точку» и подслушать или изменить её можно только путём физического вмешательства в линию передачи. С другой стороны, оптическое волокно хрупкое, при сильном изгибе возможна поломка, возникновение микротрещин, которые трудно обнаружить. Кроме этого, оптические волокна подвержены радиационному облучению и водной коррозии.

Таким образом, характеристики оптических соединений не в полной мере удовлетворяют требованиям обеспечения систем связей в воздушном судне. При взлете, посадке и в процессе совершения полета самолет подвергается различным климатическим и механическим воздействиям. Резкие перепады температур, вибрация и повышенная влажность могут привести к разбалансу оптических связей на 15-20 секунд, что влечет потерю важных (критических) систем связей.

В связи с этим, предлагается реализация гибридного соединения на примере противообледенительной системы (ПОС) агрегатов хвостового оперения самолета на рис. 1

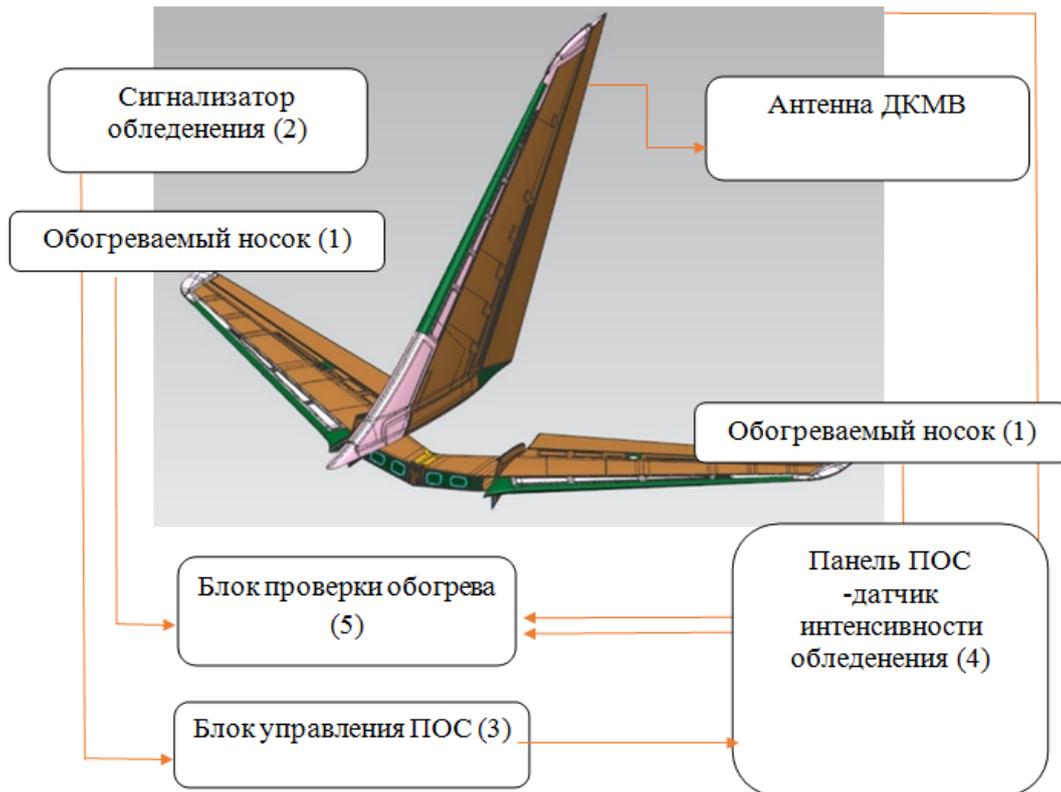


Рис. 1 – Система ПОС хвостового оперения самолета

Система ПОС хвостового оперения самолета состоит из обогреваемых носков (1), расположенных на законцовке кия и правой (левой) консоли стабилизатора. В процессе полета (на высоте до 5 тысяч метров) поверхность агрегатов начинает покрываться слоем льда. Сигнализатор обледенения (2) передает сигнал в блок управления ПОС (3), далее информация попадает на панель управления летчика (4).

Летчик включает систему обогрева и блок проверки обогрева (5).

Для обеспечения работы систем ПОС предложена схема гибридной кабельной (проводной) системы кия и стабилизатора (Рис.2-4).

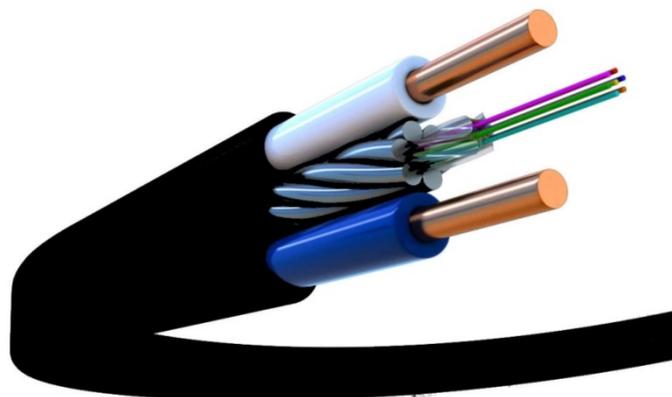


Рис. 2 – Конструкция комбинированного кабеля



Рис. 3 – Комбинированный кабель (разрез)

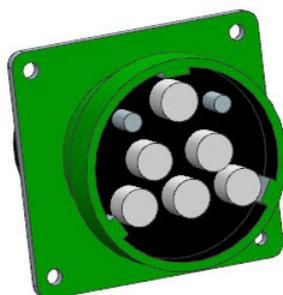


Рис. 4 – Гибридный соединитель (контактная схема)

Таким образом, система ПОС является одной из важнейших систем воздушного судна, призванной обеспечить сохранение аэродинамических характеристик воздушного судна, подъемной силы несущей способности крыла. Несмотря на недостатки ВОЛС можно использовать волоконно-оптические сенсорные системы (ВОСС).

ВОСС на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР) обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами датчиков, а именно малыми габаритами и весом, невосприимчивостью к электромагнитным и химическим воздействиям, отсутствием электрических цепей питания датчиков, возможностью проведения удаленных измерений, что обуславливает их востребованность в ПОС. Однако наиболее существенным ограничением их широкого применения является сложность устройств опроса и мультиплексирования ВБР-датчиков [4]. Одним из факторов, осложняющих опрос массива ВБР, является отсутствие их адресности, что приводит к существенным ошибкам измерений при наложении спектров датчиков друг на друга. Решением данной проблемы стало использование адресных волоконных брэгговских структур (АВБС) [5-6], которые представляют собой особым образом структурированные ВБР с оптическим откликом, содержащим две сверхузкополосные оптические компоненты с разностной частотой, лежащей в радиочастотной области спектра. Поскольку каждый АВБС-датчик в сенсорной системе имеет свою уникальную адресную частоту, опрос массива датчиков возможен без использования сложных оптико-электронных схем.

Заключение. Таким образом, система ПОС является одной из важнейших систем воздушного судна, призванной обеспечить сохранение аэродинамических характеристик воздушного судна, подъемной силы несущей способности крыла. В результате проделанной работы была разработана архитектура сети противообледенительной системы воздушного судна, конструкция гибридного соединения и соединителя для обеспечения работы противообледенительной системы самолета. В качестве примера реализации схемы соединения были рассмотрены агрегаты хвостового оперения самолета. Предложена структура ВОСС для контроля работы ПОС, подсоединяемая с помощью разработанного гибридного соединителя.

Список литературы

1. Противообледенительная система // Военная энциклопедия / П. С. Грачёв. — Москва: Военное издательство, 2003. — Т. 7. — С. 49.
2. Кузнецов С.В. Бортовые гетерогенные информационно-вычислительные сети перспективных воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. – Том 22, №2. – 2019 – С.16-27.
3. Федосов Е.А. Основные направления формирования научно-технического задела в области бортового оборудования перспективных ВС // Материалы докладов 4-й Международной конференции «Перспективные направления развития бортового оборудования гражданских воздушных судов», г. Жуковский, Дом ученых ФГУП «ЦАГИ», 2017. С. 6–14.
4. Морозов О.Г. и др. Уточнение центральной длины волны узких волоконных брэгговских решеток в условиях малой разрешающей способности оптического анализатора спектра и флуктуирующем уровне мощности // Вестник НЦБЖД. 2020. № 2 (44). С. 160-166.
5. Аглиуллин Т.А. и др. Управление тонкой структурой трёхкомпонентных адресных брэгговских измерительных преобразователей, последовательно записанных в оптическое волокно квазираспределённой радиофотонной сенсорной системы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 4 (48). С. 72-81.

05.13.06

¹Ю.А. Андросов, ²В.П. Гуляев, ¹Н.П. Александров,
¹С.М. Климов, ³И.П. Прохоров, ³В.В. Терентьева

¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com,

²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
автодорожный факультет,
Якутск, druzvar@mail.ru,

³2 Мальжагарская СОШ им. М. Е. Васильевой
Якутск, 2maljsch@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАСТЕРСКИХ

Сельское хозяйство, как основной вид деятельности населения Республики Саха (Якутия) большей части территории также выводит на первое место значение эксплуатации тракторов и автомобилей в экономике АПК Республики. Отсутствие железнодорожного транспорта в регионе, занимающей огромную площадь, предопределило исключительно важное значение автомобильного транспорта при перевозках народнохозяйственных и коммерческих грузов. В последние годы сократились число мастерских по ремонту грузовых автомобилей и тракторов. Это обусловлено ликвидацией крупных сельхозпредприятий в АПК Республики, замещением их ниши на рынке мелкими товаропроизводителями, фермерскими и лично-подсобными хозяйствами, отсутствием у них ремонтной базы, квалифицированного персонала. Все это тормозит развитие сельхозпроизводства, ведет к удорожанию сельхозпродукции.

Ключевые слова: *дизельные двигатели, стенды для испытания ДВС, обкатка двигателей, ремонт двигателей.*

Специфика работы автомобилей и тракторов в условиях Республики Саха (Якутия) требует тщательной подготовки транспортного средства, высокой квалификации водительского состава и обслуживающего персонала. Несмотря на несомненные достижения в повышении надежности двигателей отечественных автомобилей заводами-изготовителями, задача обеспечения качественного ремонта двигателей в процессе эксплуатации будет всегда оставаться актуальной. Изучение специальной литературы по ремонту, применение оптимальных методов ремонта, неукоснительное соблюдение технологии ремонта, контроль качества после ремонта является залогом обеспечения эффективной эксплуатации любых подвижных энергетических систем. Надежность капитального ремонта ДВС обеспечивается не только строгим соблюдением технологии ремонта, высокой квалификацией персонала, но и обеспечением качественного контроля проведенных работ на этапе приема и сдачи отремонтированных объектов. Именно в процессе испытания отремонтированного двигателя происходит завершающий контроль за качеством капитального ремонта[1]. Только послеремонтное испытание двигателей на стенде, выявление причин неисправностей, проведение соответствующих мероприятий по устранению неисправностей выявленных при испытании двигателей залог успешной эксплуатации двигателя, без ущерба для любого производства.

В республике сельскохозяйственным производством занимаются 697 сельскохозяйственных организаций, в том числе 209 предприятий, подотчетных Министерству сельского хозяйства РС(Я) и 3834 крестьянских (фермерских) хозяйств, включая индивидуальных предпринимателей. Также более 89 тысяч личных подсобных

хозяйств населения производят значительную долю мяса, молока, картофеля и овощей[2]. Все эти субъекты сельскохозяйственного производства используют в своей деятельности подвижный состав, оснащенный поршневыми ДВС в качестве источника энергии. В парке автомобилей АПК Республики Саха (Якутия) по состоянию на 2016 года из имеющихся 26771 автомобилей имеется 4289 грузовых и 349 специальных автомобилей, из 18964 тракторов, 10594 тракторов тягового класса от 0,6 до 5 [3,4].

Весь этот подвижный состав, занятый непосредственно в сельскохозяйственном производстве республики, оснащены двигателями семейства КамАЗ и ЯМЗ, трактора двигателями семейства ММЗ, А-41, СМД, и ЯМЗ. Во-всех этих предприятиях в составе автотранспортных цехов имеются участки и цеха по ремонту двигателей, которые занимаются обслуживанием и ремонтом двигателей, в том числе и проведением капитальных ремонтов двигателей.

Ремонтные работы проводятся индивидуальным методом по потребности, обусловленной отказом или неисправностью. Предупредительный ремонт в перечисленных организациях практически не проводится. Нормирование времени ремонта двигателей не проводится. Главными недостатками в организации работ по ТО и ремонту двигателей в этих организациях являются: нехватка специальных приспособлений, инструмента и оснастки; низкая квалификация ремонтных рабочих; отсутствие специальных стендов для разборки сборки агрегатов. Ремонтная база сельскохозяйственных предприятий - это в основном гаражные боксы с участком для проведения ремонта агрегатов, токарных и сварочных работ, где ремонтом занимаются сами механизаторы. Ремонт основных узлов и агрегатов в связи с отсутствием специалистов производится сторонними организациями. Испытательные стенды также отсутствуют. Программа испытаний двигателей зависит от поставленной задачи. В соответствии с задачами применяются различные виды стендовых испытаний для определения соответствия основных параметров двигателя требованиям ГОСТов и ТУ: научно-исследовательские; доводочные; граничные; периодические; приемочные; приемосдаточные и предъявительские. К таким испытаниям относится послеремонтное испытание двигателя для проверки его характеристик, качества изготовления и сборки его деталей и узлов [5].

Целью послеремонтных приемосдаточных испытаний двигателя является проверка его характеристик, а также качества изготовления и сборки его деталей и узлов. Испытанию должны подвергаться новые и выпущенные из ремонта двигатели. По принятой технологии режим приработки двигателя после капитального ремонта делится на три стадии: холодная без нагрузки, горячая на холостом ходу и горячая под нагрузкой. Испытания двигателей в производственных и лабораторных условиях проводятся на специальных стендах, обычно представляющих собой капитальные сооружения, оборудованное всем необходимым для проведения испытаний или исследований. В зависимости от условий и характера производства, от цели и назначения испытаний, а также от типа и мощности испытываемых двигателей стенды оборудуются необходимыми устройствами, системами и аппаратурой, которая должна обеспечить:

- 1) бесперебойную работу двигателя и возможность определения всех требуемых параметров и показателей;

- 2) удобство обслуживания и наименьшие затраты.

Испытания автомобильных двигателей регламентируются по ГОСТ 53840-2010, Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний, в котором установлены условия испытаний, требования к испытательным стендам и аппаратуре, методы и правила проведения испытаний, порядок обработки результатов испытаний, объем контрольных и приемочных испытаний. Испытания тракторных и комбайновых двигателей должны проводиться согласно ГОСТ 18509-88 Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. Комплектация ДВС при стендовых испытаниях должна быть в соответствии с ГОСТ 53840-2010 и ГОСТ 18509-88.

Для полноценного проведения всех видов испытаний испытательный стенд должен быть оснащен всеми системами обеспечения работы двигателя и тормозным устройством с динамометром, противопожарным оборудованием и т.д. В зависимости от программы испытаний стенд оборудуют специальными устройствами и приборами, позволяющими имитировать различные условия работы двигателя и измерять параметры рабочего тела и показатели двигателя. На рынке предлагаются стенды обкаточные различных марок и модификаций, обеспечивающих обкатку разномарочных дизельных и бензиновых, *карбюраторных и инжекторных*, двигателей внутреннего сгорания грузовых, малотоннажных и легковых автомобилей, строительной и специальной техники, автобусов, тракторов, специальных машин и другой техники.

Принятая технология испытания двигателей.

Режим приработки двигателя после капитального ремонта делится на три стадии: холодная без нагрузки, горячая на холостом ходу и горячая под нагрузкой.

Холодная приработка осуществляется при вращении коленчатого вала двигателя от постороннего источника, например, от электродвигателя без запуска. Продолжительность холодной обкатки – 17 м.

Горячая обкатка двигателя без нагрузки. Горячая приработка на работающем двигателе, при этом двигатель не нагружается тормозным устройством стенда. Продолжительность испытаний без нагрузки – 30 мин.

Горячая обкатка под нагрузкой. Процесс, происходящий при торможении работающего приработываемого двигателя тормозным устройством стенда, называют горячей обкаткой под нагрузкой. Режимы обкатки рассчитаны на приработку основных сопряжений двигателя, которые определяют его надежность и долговечность, т. е. сопряжений деталей шатунно-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма. Благодаря этому при правильно назначенном режиме приработки и его строгом соблюдении качество отремонтированных двигателей существенно повышается. Продолжительность испытаний с нагрузкой – 2,5 ч.

Общая продолжительность испытаний – 3ч17 мин.

Все эти испытания проводятся на специальных дорогостоящих стендах с различными гидравлическими и электрическими тормозами для создания нагрузки[5].

На современном рынке технологического оборудования для испытаний двигателей представлен широкий перечень разнообразных стендов с различными характеристиками в самом широком ценовом спектре. В таблице 1 приведен сравнительный анализ для испытаний двигателей.

Таблица 1 – Сравнительный анализ стоимости стендов для испытаний двигателей

№ п.п.	Наименование	Цена, руб.
1.	Стенд обкаточный универсальный серии КОПИС КС276	4 600 000
2.	Стенд для обкатки двигателей СОУ-1	4 500 000
3.	Обкаточно-тормозной стенд ОТС-2	7 230 000
4.	Стенд для обкатки двигателей КИ-28249	4 500 000
5.	Стенд для обкатки и испытаний двигателей FWC-2 (КНР)	2530000

В условиях неспециализированных мастерских, особенно в сельхозпредприятиях, экономически нецелесообразны крупные капиталовложения на дорогостоящее регулировочное, контрольное и другое оборудование. При оснащении неспециализированных мастерских оборудованием для ремонта двигателей необходимо исходить из минимума оборудования и инструментов необходимого для качественного выполнения ремонта двигателя согласно разработанной технологии.

С внедрением методики ускоренной горячей обкатки двигателя после капитального ремонта необходимость проведения цикла многочасовых испытаний отпала. Ускоренные методики испытаний двигателей на различных частотах вращения коленчатого вала дают возможность за короткое время, без использования дорогостоящих тормозных стендов, оценить качество ремонта. Продолжительность испытания:

- для двигателей модельного ряда ЯМЗ – не более 30 мин;
- для двигателей модельного ряда КамАЗ – не более 21 мин;
- для двигателей модельного ряда ЗМЗ – не более 35 мин.

Новые подходы в ремонте исключают холодную обкатку отремонтированных двигателей, рекомендуя проводить горячую обкатку и испытание двигателей под нагрузкой в процессе начальной эксплуатации позволяют применять упрощенную и ускоренную методику послеремонтных испытаний двигателей. Применение ускоренных технологий значительно снижает трудоемкость испытательных работ, сокращает время испытаний и при этом обеспечивает качественный контроль проведенного ремонта, позволяя устранять недочеты в ремонте в период приемо-сдаточных работ. Все это позволяет нам сделать вывод о целесообразности применения при испытании отремонтированных двигателей в неспециализированных мастерских использование стендов без нагрузочных устройств, что позволит существенно понизить стоимость технологического оснащения таких мастерских, сократит время испытания. Возникает необходимость разработки и создания таких испытательных стендов.

Список литературы

1. Арабян С.Г., Холомонов И.А., Яковишина М.М. Влияние качества приработки на эксплуатационные показатели тракторных дизелей // Тр. НА-ТИ, М.: 1978, вып. 258. С. 22-27.
2. Сельское хозяйство в Республике Саха (Якутия) за 2012-2015 гг.: статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы Гос. стат. по Респ. Саха (Якутия).- Якутск, 2016.- 170 с.
3. Александров Н.П., Климов С.М., «Обеспеченность АПК РС(Я) автомобилями», «Научный аспект», №1, 2019г.
4. Александров Н.П., Матвеев И.Н., Климов С.М. «Обеспеченность АПК РС(Я) тракторами», «Научный аспект», №1, 2019г.
5. Стефановский Б.С. Испытания двигателей внутреннего сгорания. М.,

05.13.06

К.А. Башмур, А.А. Городов

Сибирский федеральный университет,
Институт нефти и газа,
Красноярск, bashmur@bk.ru, glexx84@mail.ru

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОТАЦИОННЫМ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

В статье рассматривается метод регулирования ротационного режущего инструмента с помощью адаптивных регуляторов. Ротационный метод резания является прогрессивным видом обработки материалов и представляет собой лезвийный инструмент, круглое лезвие которого совершает при обработке вращательное касательное движение резанием, что уменьшает нагрев реза и связанный с ним его повышенный износ. Потребность в его регулировании возникает ввиду относительно меньшей жесткости системы резания и возникновения вибрационных нагрузок, которые негативно влияют на качество обрабатываемой поверхности. В статье представлена и обоснована конструкция опоры с мембранным регулятором с точки зрения устойчивости системы для использования совместно с ротационным инструментом.

Ключевые слова: *регулятор, сопло-заслонка, опора, ротационное резание, чистовая обработка, качество поверхности.*

При исследовании ротационного резания (рис. 1) выявлено [1], что движение ротационного реза может обеспечивать появление на поверхности деталей различных регулярных микрорельефов, которые могут быть эффективно применены, например, для опор скольжения технологического оборудования [2]. Также известен гидроциклонный аппарат для очистки биотоплива, особенность которого заключается в применении демпфера потока, содержащего рельефную винтовую поверхность [3]. Наиболее предпочтительной технологией изготовления подобной рельефной винтовой поверхности является ротационное точение, ввиду низких температурных напряжений в области резания, обеспечиваемой методом точности обработки и невысокой стоимости метода [4].

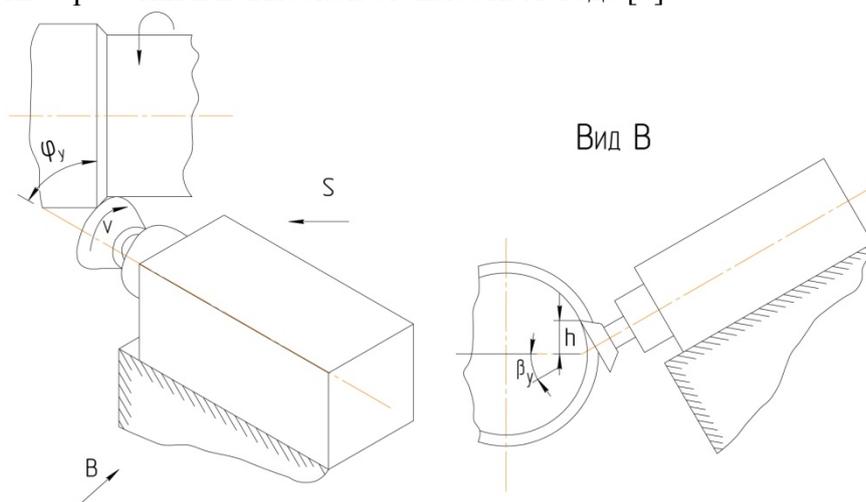


Рис. 1 – Процесс формирования винтового рельефа ротационным резанием (φ_y , β_y – углы установки реза)

При этом данный вид обработки металлов, имея в основе сложное движение, требует дополнительных люфтов в инструментальном модуле (оснастке), т.е. пониженную жесткость системы, чему неизменно сопутствуют возникающие вибрационные нагрузки, эффективно компенсировать которые могут устройства адаптивного управления [3]. Применение систем адаптивного управления станками позволяет повысить точность обработки в 2-5 раз и производительность от 30% до 300% [4].

В настоящее время повсеместно проводятся работы по созданию систем адаптивного управления процессами вибрации. Наиболее совершенными являются гидроопоры с переменными дросселями, сопротивление которых автоматически изменяется таким образом, чтобы с возможно большей точностью поддерживалось постоянство толщины масляного слоя.

Новые возможности открывает и использование гидроопор с дросселирующими устройствами переменного сопротивления – регуляторами, в которых использован принцип обратной связи по давлению в кармане опоры. Это позволяет конструировать опоры с нулевой и даже с отрицательной податливостью [5]. Комплексное использование гидроопор с регуляторами открывает новые возможности в разработке систем адаптивного управления самого различного назначения.

Теоретический анализ показал, что мембранные регуляторы сохраняют устойчивость при условии:

$$\frac{S_e \cdot P_{k0}}{h_0} \cdot q > 0 \tag{1}$$

где: S_e – эффективная площадь гидроопоры; P_{k0} – давление в кармане гидроопоры (при внешней нагрузке, равной нулю); h_0 – рабочий зазор гидроопоры; q – податливость гидроопоры.

Это условие справедливо в том случае, когда инерционные свойства подвижного элемента (мембраны) регулятора значительно ниже инерционных свойств подвижного элемента гидростатической опоры.

Расчёты показывают, что в реальных конструкциях инерционность опоры на 1-2 порядка выше инерционности регулятора, т.е. гидроопоры с подобным регулятором не может иметь отрицательную податливость (смещение подвижного элемента гидроопоры происходит в направлении, противоположном направлению действия силы, $q < 0$). Это значит, что подобные гидроопоры с регуляторами нельзя использовать в качестве элемента, компенсирующего упругие деформации отдельных узлов и деталей машин под нагрузкой.

Создать устойчивость системы опора-регулятор можно при применении нелинейного регулятора и регулятора с задержкой.

На рис. 2 изображен разработанный регулятор для гидроопор. Регулятор состоит из корпуса 1 с соплами, крышек 2 и мембран-заслонок сопел 3, которые образуют проточные 4, 5 и непроточные 6, 7 полости, соединённые каналами между собой и с карманами 8, 9 опоры, установлены гидравлические сопротивления D_1 и D_2 .

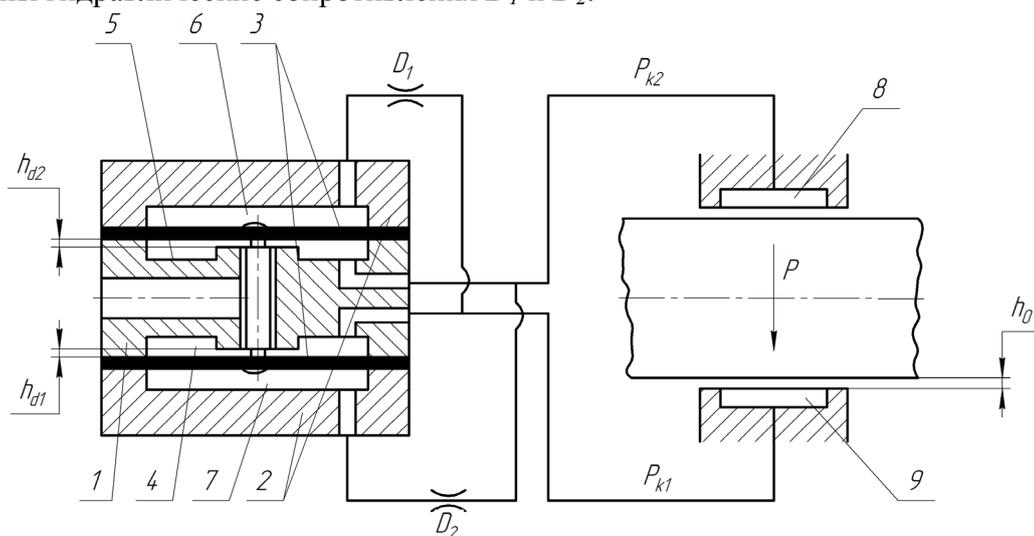


Рис. 2 – Гидростатическая опора с регулятором

Регулятор для гидростатических опор работает следующим образом. При увеличении нагрузки P давление P_{k1} в кармане 9 гидроопоры, воспринимающей нагрузку, увеличивается, а давление P_{k2} в противоположном кармане 8 – уменьшается, соответственно увеличивается

давление проточной полости 5. Это приводит к деформации мембраны 3 и, как следствие, к увеличению дросселирующего зазора h_{d1} между соплами и мембранами – заслонками сопел и к уменьшению h_{d2} . За счёт изменения дросселирующих зазоров увеличивается расход в карман 9 гидроопоры и уменьшается в кармане 8. Однако этого изменения недостаточно для того, чтобы подвижный элемент гидроопоры сместился в направлении, противоположном направлению действия силы (отрицательная податливость), то есть $q > 0$, условие (1) выполняется и регулятор не теряет устойчивости.

С некоторым отставанием по фазе (запаздывание зависит от величин гидравлических сопротивлений D_1 и D_2) в непроточных полостях 6 и 7 регулятора, за счёт появления потока, вызванного уменьшением давления P_{k1} и P_{k2} , установится давление, равное давлению в соответствующих карманах гидроопоры (P_{k1} – в полости 6 и P_{k2} – в полости 7). Под действием дополнительного давления на мембраны регулятора, дросселирующие зазоры h_{d1} и h_{d2} вторично изменяются (h_{d1} ещё больше увеличится, а h_{d2} – уменьшится). При правильно выбранной жёсткости мембраны 3, это приводит к столь значительному увеличению расхода в карман 9 гидроопоры и уменьшению в карман 8, что подвижный элемент гидроопоры сместится в направлении, противоположном направлению действия силы. Т.к. инерционность подвижного элемента (мембраны) регулятора определяется продолжительностью перетока в непроточные полости 6, 7 регулятора через гидросопротивления D_1 и D_2 , то путём расчёта или подбора этих гидросопротивлений можно добиться того, что инерционность подвижного элемента регулятора будет не только равной, но и большей, чем инерционность подвижного элемента гидроопоры.

В этом случае условие (1) не определяет статическую устойчивость разработанного регулятора для гидростатических опор (рис. 2) и система опора-регулятор будет устойчива при любой, в том числе и отрицательной, податливости гидростатической опоры.

Данное исследование выполняется по государственному заданию по проекту «Разработка комплекса научно-технических решений в области создания биотоплив и оптимальных биотопливных композиций, обеспечивающих возможность трансформации потребляемых видов энергоносителей в соответствии с тенденциями энергоэффективности, снижения углеродного следа продукции и использования видов топлива альтернативных ископаемому» (Контракт FSRZ-2021-0012) в научной лаборатории биотопливных композиций Сибирского федерального университета, созданной в рамках деятельности Научно-образовательного центра «Енисейская Сибирь».

Список литературы

1. Башмур К.А. Технологии микрорельефа для опор скольжения нефтегазового оборудования / К.А. Башмур, Ю.Н. Шадчина // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: материалы XII Всерос. научно-техн. конф. (Пермь, 5-8 ноября 2019). – Пермь, 2019. – С. 78-80.
2. Petrovsky E.A., et al. Study of microrelief forming technology on sliding bearings for oil and gas centrifugal units // J. Phys. Conf. Ser. – 2019. Vol. 1399. – 055032.
3. Petrovsky E.A., et al. Experimental testing of the effectiveness of novel hydrocyclones for separation of impurities in biofuels // J. Phys. Conf. Ser. – 2021. Vol. 2094. – 052045.
4. Петровский Д.Э. Инструментальные ротационные модули для обработки деталей технологических машин / Д.Э. Петровский, Э.А. Петровский. – Старый Оскол : ТНТ. – 2019. – 196 с.
5. Прокофьев В.Н. Жесткость гидростатических опор / В.Н. Прокофьев, В.П. Морозов // Станки и инструмент. – 1971. – № 8. – С. 4-8.

05.13.06

М.А. Бирюков

Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
Абакан, miha_97_no@mail.ru

СТРУКТУРА РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НЕЙРОИНТЕРФЕСА

В работе представлены результаты исследования регуляторов для систем, основанных на нейроинтерфейсах. Предпринята попытка сформировать регулятор, отражающий сложность представления систем с нейроинтерфейсам, а также учёт ряда особенностей таких систем при линейной аппроксимации и построения обобщённой математической модели. Также предложены практические меры для улучшения показателей рассматриваемых систем.

Ключевые слова: *робототехнические системы, удалённое управление, нейроинтерфейсы, нейроуправление.*

Наш мозг обрабатывает много входных сигналов получаемой от органов чувств таких как слух, зрение, обоняние, осязание. Сформировать обобщённую систему представления таких сигналов, также их связь с исполнительными устройствами является актуальной научно-технической проблемой. Нейроинтерфейс позволяет увеличить количество управляемых устройств — это может быть не только компьютер, но и другие электронные устройства, такие как квадрокоптер или умный дом, также недавно появилась возможность управление в играх [1-7].

Основной проблемой создания является улавливание сигнала и его расшифровка. Для получения сигнала используются металлические электроды или так называемая «расчёска» после чего полученный сигнал усиливается с помощью операционного усилителя МСР602 у которого входное сопротивление 10^{13} Ом что является очень хорошей чувствительностью ко входному сигналу. Схема обработки сигнала представлена ниже на рисунке 1. Два электрода закрепляются на голове, а нейтральный крепится на ухе. Применяется два электрода для того что бы отсеет шумы так-как полезный сигнал будет разный а шум будет один и тот же, далее используется фильтр Бесселя, его задача срезать частоты выше 48-49 Гц чтобы убрать наводки от источника электрической энергии [1-3].

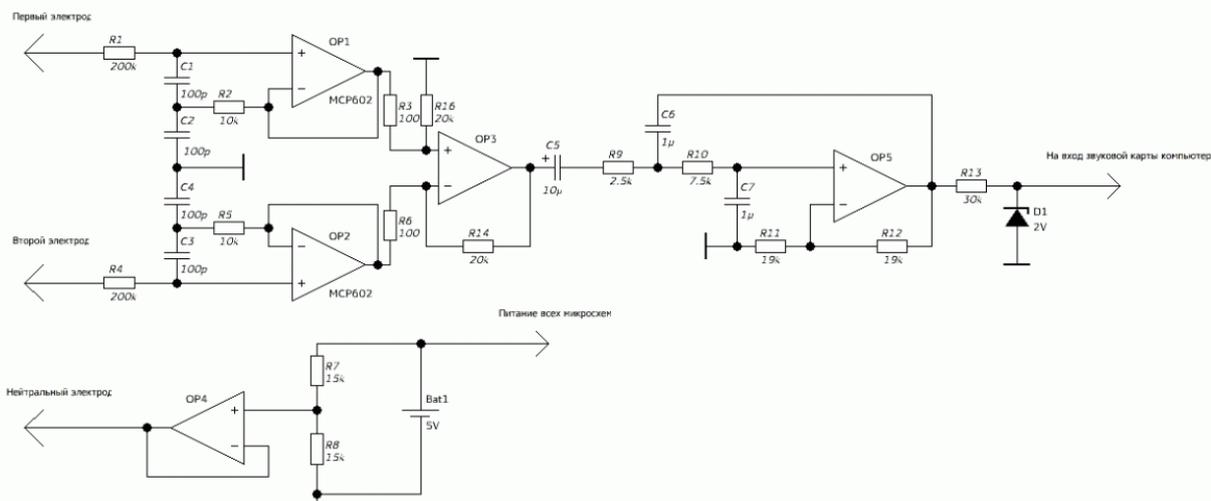


Рис. 1 – Схема устройства для получения сигналов

Далее с помощью программы для ПК Digital Oscilloscope можно посмотреть сигналы что бы понять, что наше устройство работает необходимо произвести некоторые тесты. Во-первых, энцефалограмма (ЭЭГ) достаточно сильно и явно меняется, если начинаем гримасничать. Отсюда первый тест: начинаете гримасничать и смотрите – меняется ли что-либо на энцефалограмме в соответствии с изменением вашей мимики. То есть электрические импульсы при напряжении мышц (в нашем случае лицевых) – достаточно сильный сигнал различимый на энцефалограмме. Следующий сильный сигнал, проявляющийся на ЭЭГ это реакция на сглатывание. То есть, сглатываем и смотрим – поменялось ли явно что-либо на ЭЭГ в соответствии с этим видом движения. Каждый раз меняется, когда сглатываете, можете себя поздравить – ваше устройство хотя бы на этом уровне уже точно работает. Следующий сигнал, различимый на ЭЭГ – реакция на поднятие с усилием вверх глаз. Следующий более слабый сигнал – реакция на моргание. Причём на моргание не с усилием, а обычное практически незаметное моргание, которое делают наши глаза каждые несколько секунд. Проявляется это на ЭЭГ в виде достаточно амплитудных и коротких импульсов – каждый раз, когда моргаете. Если ваш прибор фиксирует импульсы от такого вот слабого моргания, то, скорее всего, вы можете теперь попытаться обнаружить и альфа-ритм. Альфа-ритм обнаруживаем следующим образом. Во-первых, для его обнаружения лучше всего один из электродов крепить на затылок, а второй – на лоб. Во-вторых, альфа-ритм проявляется хорошо лишь в состоянии спокойной расслабленности с закрытыми глазами, в полутёмной комнате. В-третьих, это достаточно быстрый сигнал – от 8 до 13 Гц. Поэтому обнаружить его легче всего в записи – то есть нужно поставить вашу программу на непрерывную запись сигнала и лишь потом вы на записи сможете обнаружить данный сигнал. Он выглядит как достаточно явно выраженная синусоида с частотой от 8 до 13 Гц. Пропадает, когда начинаем о чём-то усиленно думать и возникает, когда находимся в состоянии расслабленного спокойствия. Ниже представлена зависимость частоты сигнала и состояние человека [5-7].



Рис. 2 – Зависимость частоты сигнала и состояние человека

Таким образом, структура разрабатываемого регулятора должна выполнять функции пропорциональной оценки получаемых с периферии сигналов с учётом особенностей рассматриваемой системы. Существенным фактором в данном случае будет скорость сходимости процесса обучения, что окажет существенное влияние на результативность обучения и последующей работы [1-2].

Дополнительно, следует поставить задачу о частичной оптимизации регулятора для нейроинтерфейса. В рамках данной работы предлагается рассматривать минимизацию следующего функционала для задачи управления:

$$J(t) = \int_{t_0}^t W(\tau) d\tau + W_1(t) \tag{1}$$

где

$$W(t) = u^T(t) \cdot G(t) \cdot u(t)$$

$$W_1(t) = \int \int_{x, x'} \varphi^T(x, t) \cdot G_1(x, x', t) \cdot \varphi(x', t) dx' dx$$

$G(t)$, $G_1(x, x', t)$ – симметричные, положительно определенные матрицы;
 t – текущий момент времени.

Отдельным вопросом будет являться задача стабилизации, в рамках данной работы охарактеризуем состояние системы как интегральный квадратичный функционал. Соответственно, задача стабилизации будет сводиться к минимизации рассматриваемого функционала. Заметим, что такие условия не всегда обеспечивают должную стабилизацию управляемых процессов. В развитии работы будет целесообразным добавить дополнительные условия в виде асимптотической устойчивости по ряду параметров в виде меры. На данном этапе будем считать управляемый процесс и соответствующие матрицы стационарными [1-7].

Для регулятора для нейроинтерфейса предлагается структура регулятора, представленная на Рис. 3. В данном случае предлагается косвенное нейроуправление с непрямым эмулятором. Такая структура позволяет эффективно связать математическую модель, используемую для формирования представления о распределении и предмете получаемых от человека сигналов с управляемым с помощью интерпретации сигналов объектом [6-7].

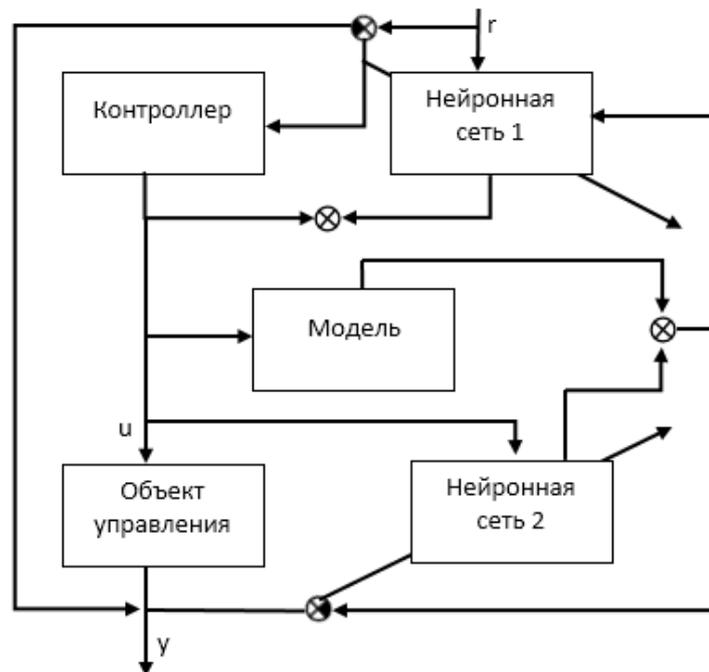


Рис 3 – Структура регулятора для нейроинтерфейса

Также предоставляется возможность для создания линеаризованной модели для системы с нелинейной динамикой. Заметим, что разделение нейросетевого контроллера на две составляющие позволяет минимизировать функцию, выступающую как оценка потерь для управляемого объекта [1-3].

Список литературы

1. *Александров А.Г.* Оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие для вузов по спец. «Автоматика и упр. в техн. системах» / А. Г. Александров. – М.: Высш. шк., 1989. – 263 с.
2. *Веников В.А.* Переходные электромеханические процессы в электрических системах./ В. А. Веников – М.: Высш. шк., 1985. – С. 536
3. *Пупков К.А.* Статистические методы анализа, синтеза и идентификации систем автоматического управления / К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Трофимов.– М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.
4. *Эйкхофф П.* Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 684 с.
5. *Charaboti T., et all.* 2017. Alternative modes interaction in proximal human-in-the-loop operation of robots. arXiv: 1703.08930v1 [cs.RO], 27
6. *Lee P.L., Chang H.C., Hsieh T.Y.,* 2012. A brain-wave-actuated small robot car using ensemble empirical mode decomposition-based approach. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, 42, pp. 1053 – 1064.
7. *Litvintseva L.V., Ulyanov S.V.,* 2006. Design of robust knowledge bases of fuzzy controllers for intelligent control of substantially nonlinear dynamic systems: II. A soft computing optimizer and robustness of intelligent control systems. J. of Computer and Systems Sciences Intern.; 45, pp. 744 – 771.

05.13.06

¹Ю.Ж. Дондоков, ²В.П. Друзьянова, ³О.О. Осмонов, ⁴А.П. Павлова, ⁴А.Ф. Степанова

¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com,

²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
автодорожный факультет,
Якутск, druzvar@mail.ru,

³Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева,
Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина,
Москва, oosmonov@rgau-msha.ru,

⁴2 Мальжагарская СОШ им. М. Е. Васильевой,
Якутск, 2maljsch@mail.ru

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК

Рациональный способ восстановления деталей выбирают в настоящее время по технико-экономическому критерию, определяемому как отношение либо себестоимости к наработке или коэффициенту долговечности, либо приведенных затрат к тем же показателям. Статья посвящена частному вопросу, связанному с обширной проблемой надежности машин-вопросу надежности техники.

Ключевые слова: *восстановление деталей, надежность техники, кривошипно-шатунный механизм.*

Применение станков с ЧПУ позволяет изготавливать детали сложного профиля в соответствии с технологическими требованиями. Детали поставляются заказчикам партиями в согласованных количествах с учетом договорных сроков. Необходимыми условиями получения прочного паяного соединения являются выбор припоя и оптимизация режима пайки. В таблице 1 приведены способы восстановления поверхности и их характеристики.

Таблица 1 – Способ восстановления поверхности и их характеристики

Способ восстановления	Критерии		
	технико-экономический	энергетический	комбинированный
Наплавкой под флюсом	61,7	1,0	1,0
Вибродуговой наплавкой	83,9	1,11	1,19
Наплавкой в среде CO ₂	72,2	1,05	0,98
Металлизацией	43,6	0,52	0,53
Электроконтактной приваркой ленты	36,2	0,29	0,24
Хромированием	80,1	1,76	3,20
Железнением	52,1	0,36	0,22

Приведенные в таблице значения критериев усредненные. С их помощью дают сравнительную оценку способов восстановления. В связи с высокими требованиями к охране окружающей среды при ремонте машин затрачиваются значительные средства на строительство очистных сооружений, очистку стоков с разборно-моечных, гальванических и других участков и др. Поэтому эти затраты обязательно надо учитывать при выборе оптимальной технологии восстановления деталей:

$$\varphi_i = \frac{C_{vi} + C_{yi}^0 + E_n(K_{di} + K_{di}^0)}{T_{vi}} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{или } \varphi_i = \frac{C_{vi} + C_{yi}^0 + E_n(K_{yi} + K_{yi}^0)}{K_{di}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где φ_i – технико-экономический критерий; C_{vi} – себестоимость восстановления детали i -тым способом, руб.; C_{yi}^0 – удельные текущие затраты на охрану окружающей среды при восстановлении деталей i -тым способом, руб.; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K_{yi} – удельные капитальные вложения на организацию восстановления деталей i -тым способом, руб.; K_{yi}^0 – удельные капитальные вложения на организацию работ по охране окружающей среды при восстановлении деталей i -тым способом, руб.; T_{vi} – наработка или ресурс восстановления i -тым способом детали, мото-ч; K_{di} – коэффициент долговечности восстановленной i -тым способом детали.

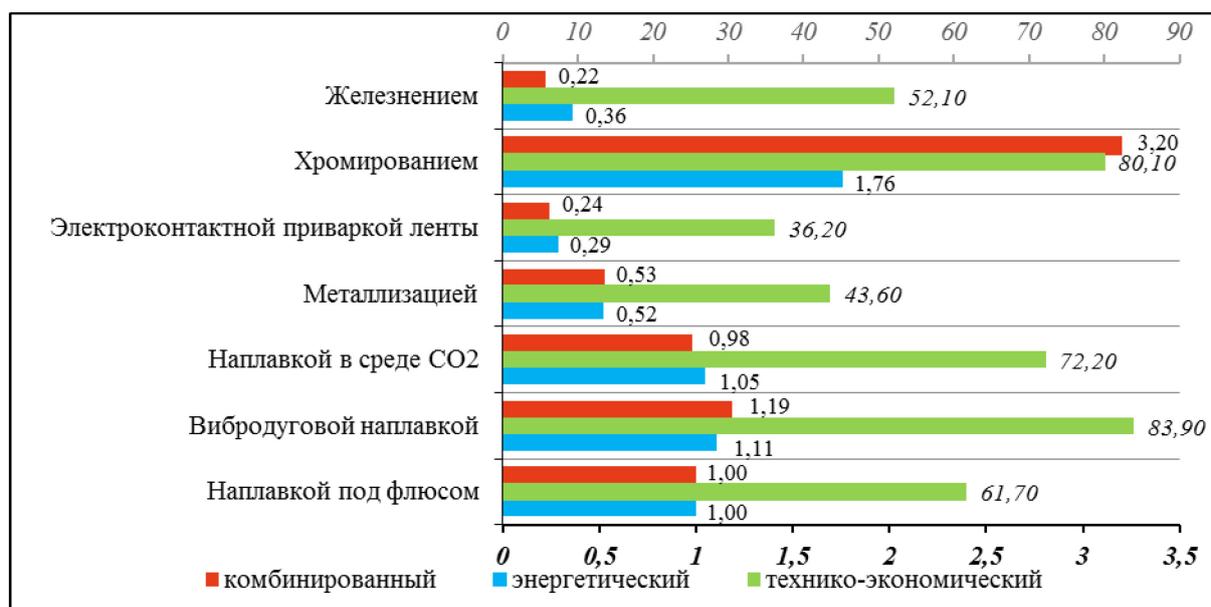


Рис. 1 – Способ восстановления поверхности и их характеристики

Энергетический критерий можно выразить уравнением:

$$\varphi_{\varepsilon i} = \frac{K_{1i}K_{2i}}{K_{di}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где K_{1i} и K_{2i} – соответственно коэффициенты энергоемкости и трудоемкости технологического процесса восстановления детали i -тым способом.

$$K_{1i} = Q_{vi} / Q_n; \quad K_{2i} = t_{vi} / t_n, \quad (4)$$

где Q_{vi} – удельные затраты энергии на восстановление детали i -тым способом по всему циклу производства, кВт*ч; Q_n – удельные затраты энергии на изготовления новой детали, кВт*ч; t_{vi} – трудоемкость восстановления детали i -тым способом, чел.-ч; t_n – трудоемкость изготовления новой детали, чел.-ч.

Способ, обеспечивающий минимальное значение энергетического критерия – рациональный. Восстановление деталей таким способом целесообразно и тогда, когда значение его меньше единицы. Следует иметь в виду, что выбранный по энергетическому критерию способ из-за взаимодействия цен может не соответствовать экономическим интересам конкретного предприятия. С учетом этого выбирать его следует по комбинированному критерию, отражающему приведенные затраты, энергоемкость, коэффициент долговечности:

$$\varphi_{ki} = \frac{K_{1i}K_{2i}K_{3i}}{K_{di}} \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$K_{3i} = P_{vi} / C_n,$$

где K_{3i} – коэффициент экономичности, определяемый как отношение приведенных затрат P_{vi} на восстановление детали i -тым способом к цене новой детали C_n . Так же, как и в случае

применения энергетического критерия, восстановление деталей выбранным способом целесообразно тогда, когда значение комбинированного критерия также меньше единицы [6-8]. При использовании энергетического и комбинированного критериев учитываются выше изложенные требования к коэффициентам долговечности и ресурса восстановленной детали. При определении коэффициентов K_1 , K_2 и K_3 вместо показателей новой детали для сравнения можно принять показатели детали, восстановленной каким-либо наиболее распространенным способом, например наплавкой под флюсом. В этом случае коэффициент долговечности определяют по управлению:

$$K_{di} = T_i / T_6; \quad K'_{di} = K_{di} / K_{дб}, \quad (6)$$

где T_i и T_6 – ресурсы деталей, восстановленных соответственно i -тым и базовым способами. В настоящей статье рассмотрены проблемы долговечности и надежности машин. Таким образом, на современном этапе в числе важнейших задач машиностроения является повышение эксплуатационной надежности дизелей, эффективности и конкурентоспособности последних на мировом рынке. Эксплуатационная надежность такой ответственной группы деталей, как кривошипно-шатунный механизм (КШМ), связана с использованием метода, обеспечивающего снятие и выравнивание критических напряжений.

Список литературы

1. *Кокиева Г.Е., Соколов Д.А.* Расчёт экономического обоснования выбора технологического оборудования. В сборнике: современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения. сборник материалов научно-практической конференции «ларионовские чтения». 2019. с. 178-188.
2. *Kokieva G.E., Voinash S.A., Sokolova V.A., Fedyaev A.A.*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 548(6), 062036 (2020)
3. *Kokieva G.E., Voinash S.A., Sokolova V.A., Gorbachev V.A., Fedyaev A.A. and Fedyaev A.A.*, Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk, Russia: Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations (2020)
4. *Кокиева Г.Е., Войнаш С.А.* Обоснование рационального восстановления деталей// Известия тульского государственного университета. технические науки.
5. *Шуханов С.Н., Болоев, П.А.* Разработка ресурсосберегающих технологий эксплуатации и диагностики транспортных машин в условиях Восточной Сибири [Электронный ресурс] : моногр. – Электрон. текстовые дан. – Иркутск, 2016. – 150 с. 2020. № 2. с. 412-417.

05.13.06

¹В.А. Качаева, ¹К.А. Башмур, ¹А.Н. Димов, ²В.В. Бухтояров¹Сибирский федеральный университет,
лаборатория биотопливных композиций,²Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева,
кафедра безопасности информационных технологий,
Красноярск, kachaeva_vera@bk.ru, bashmur@bk.ru, vladber@list.ru

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРИБОРОВ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ

В данной статье рассматривается возможность электрообеспечения приборов установок по очистке природного газа для производства биотоплива с помощью интегрированных систем линейной генерации. Данный метод электрогенерации основан на линейных перемещениях, возникающих в поршневых компрессорах установок мембранного разделения. В статье приведен анализ основных параметров линейного генератора.

Ключевые слова: электроэнергия, линейный генератор, электромагнитная индукция, биотопливо, мембранное разделение.

Одной из главных задач для промышленности является повышение эффективности оборудования и минимизация электроэнергетических потерь с целью повышения экологичности и качества технологического процесса [1]. Применение природного газа довольно обширно, так, после очистки посредством мембранного разделения, поток углеводородов может использоваться для производства электроэнергии, а поток углекислого газа применяется для культивации растений для производства биотоплива. Установка мембранного разделения представлена на рисунке 1. Движущей силой системы являются различные парциальные давления, вызывающие высокие скорости потока [2].

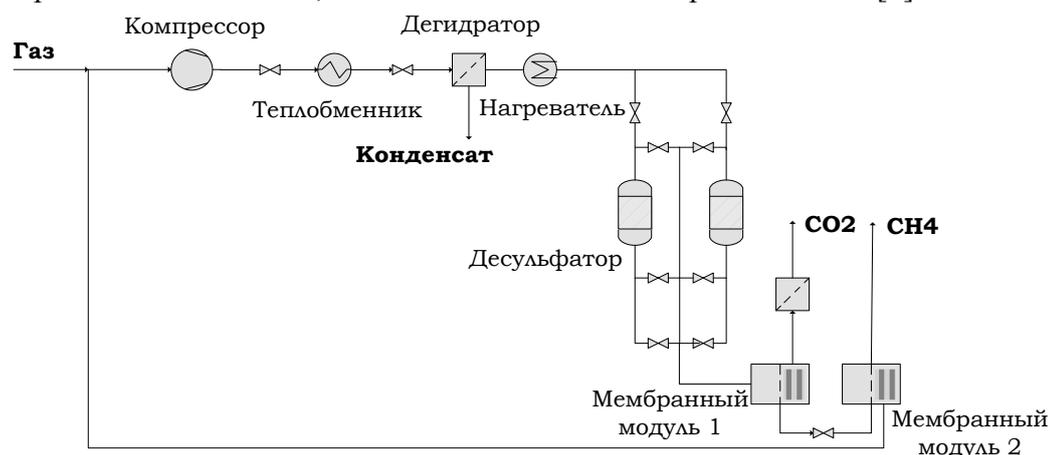


Рис. 1 – Установка мембранного разделения

На подобных установках по очистке большое количество энергии теряется, причинами этого является несовершенство оборудования и тепловой обмен с окружающей средой. Энергию можно получать с любых перемещений, возникающих в технологическом оборудовании. В подобных технологических процессах используются поршневые компрессоры, где выработка электроэнергии возможна за счет линейно-поступательных движений рабочего органа. В результате полученную энергию можно использовать для питания приборов и устройств, что поможет снизить общие затраты электроэнергии на производстве, упростить технологический процесс [3].

Линейный генератор работает по принципу электромагнитной индукции. Перемещение магнита по отношению к электромагнитной катушке, изменяет магнитный поток, проходящий через катушку, и, таким образом, индуцирует поток в электрический ток, который может быть использован в дальнейшем. Достоинством подобных машин является простота конструкции подвижного элемента, высокая надёжность и работоспособность. Установка системы электрогенерации на поршневой компрессор представлена на рисунке 2.

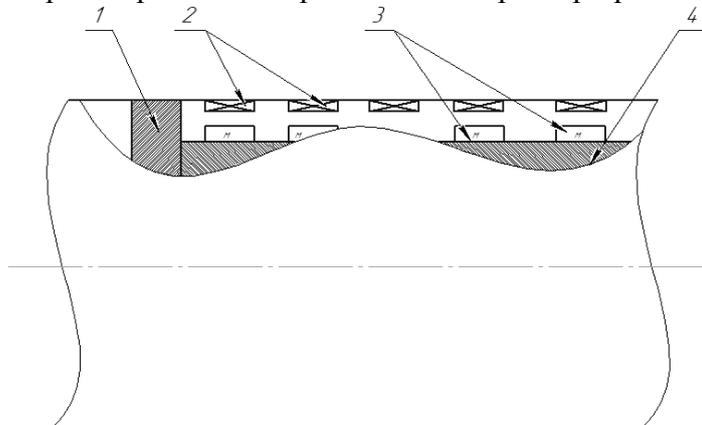


Рис. 2 – Система электрогенерации в поршневом компрессоре:

1 – поршень; 2 – обмотка генератора; 3 – постоянные магниты; 4 – шток.

Для расчета линейного генератора необходимо определить: номинальный ток, среднеквадратичное значение ЭДС, индуктивность и сопротивление машины, номинальные активную и реактивную мощность.

В результате алгоритм расчета выглядит следующим образом.

Полезная площадь для катушек:

$$A_t = h_{s0} \cdot b_{s0} + h_{si} \cdot b_{si}. \quad (1)$$

Общая среднеквадратичная магнитодвижущая сила ($F_o + F_i$):

$$F_o + F_i = (N_o + N_i)I_n = A_t \cdot K_{fill} \cdot j_{con}. \quad (2)$$

Тогда номинальный ток:

$$I_n = \frac{(N_o + N_i) \cdot I_n}{N_o + N_i}. \quad (3)$$

Средний диаметр двигателя D_{mav} составляет:

$$D_{mav} = D_i + h_{si} + 2h_{ssi} + 2g + h_{PM}. \quad (4)$$

Средний диаметр наружных обмоток статора D_o :

$$D_o = D_{mav} + h_{s0} + 2h_{ss0} + 2g + h_{PM}. \quad (5)$$

Средняя плотность потока в воздушном зазоре постоянных магнитов:

$$B_{gPM} = B_r \cdot \frac{h_{PM}}{h_{PM} + \mu_{rec}(4g + h_{PM})} \cdot \frac{1}{(1 + K_{fringe})(1 + K_S)}. \quad (6)$$

ЭДС:

$$E = \frac{2\pi f_1}{\sqrt{2}} B_{gPM} l_{stack} \pi D_{mav} (N_o + N_i). \quad (7)$$

Индуктивность генератора ($L_s = L_l + L_m$):

$$L_l = \mu_0 N_i^2 \left(\frac{h_{si}}{3b_{si}} + \frac{h_{ssi}}{b_{si}} \right) \pi D_i + \mu_0 N_o^2 \left(\frac{h_{s0}}{3b_{s0}} + \frac{h_{ss0}}{b_{s0}} \right) \pi D_o, \quad (8)$$

$$L_m = \frac{\mu_0 (N_o + N_i)^2 l_{stack} \pi D_{mav}}{(1 + K_S)(4g + h_{PM}(1 + \mu_{rec}))}, \quad (9)$$

Общее сопротивление R_s :

$$R_s = \rho_{c0} \frac{(\pi \cdot D_i N_i + \pi \cdot D_o N_o) I_n}{I_n} \cdot j_{con}. \quad (10)$$

Номинальные потери мощности:

$$P_{con} = R_s \cdot I_n^2. \quad (11)$$

Напряжение на клеммах V_l :

$$V_l = \frac{E_1 - R_s \cdot I_n}{\cos \phi_1}. \quad (12)$$

Активная мощность:

$$P_n = V_1 \cdot I_n \cdot \cos \phi_1. \quad (13)$$

Реактивная мощность Q_n :

$$Q_n = V_1 \cdot I_n \cdot \sin \phi_1. \quad (14)$$

В качестве примера рассмотрим линейный генератор, содержащий одиночную кольцевую катушку статора, окруженную U-слоистым сердечником, и двухполюсный цилиндрический двигатель с поверхностными магнитами. Подобные генераторы подходят для малой длины хода. Двигатель движется от крайнего левого к крайнему правому положению, тогда поток ПМ в катушках меняет полярность [4].

В таблице 1 приведены основные исходные параметры.

Таблица 1 – Исходные параметры

Наименование	Обозначение	Значение
Средний диаметр внутренней катушки, м	D_i	0,3
Длина хода, мм	l_{stroke}	30
Механический воздушный зазор, мм	g	1
Радиальная толщина ПМ, мм	h_{PM}	10
Размеры внешнего и внутреннего паза, мм	b_{so}, b_{si}	30
	h_{so}	45
	h_{si}	15
	h_{sso}	3
	h_{ssi}	3
Плотность ток, А/мм ²	j_{con}	12
Коэффициент заполнения щели	k_{fill}	0.5
Частота, Гц	f_1	60
Магнитная проницаемость, Н·А ⁻²	μ_{rec}	$1,05 \cdot 10^{-3}$
Остаточная индукция магнита, Тл	B_r	1,2

Полученные значения параметров приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета

Наименование	Обозначение	Значение
Полезная площадь для катушек, мм ²	A_t	1650
Общая среднеквадратичная магнитодвижущая сила, А·В	$F_0 + F_i$	4950
Номинальный ток, А	I_n	90
Средний диаметр двигателя, мм	D_{mav}	333
Средний диаметр наружных обмоток статора, мм	D_0	391
Среднюю плотность потока в воздушном зазоре ПМ, Т	B_{gPM}	0,3305
ЭДС, В	E	152,376
Индуктивности генератора, Гн	L_m	$4,633 \cdot 10^{-3}$
	L_l	$1,229 \cdot 10^{-3}$
	L_s	$5,8626 \cdot 10^{-3}$
Общее сопротивление, Ом	R_s	0,09742
Номинальные потери мощности, Вт	P_{con}	780
Напряжение на клеммах, В	V_1	245,2
Активная мощность, Вт	P_n	12924
Реактивная мощность, кВАр	Q_n	-17,88

В результате расчетов, значение активной мощности для данного линейного генератора составляет приблизительно 13 кВт, что говорит об эффективности применения линейного генератора совместно с поршневым компрессором на установке мембранного разделения для производства биотоплива.

В результате работы была рассмотрена возможность применения линейных генераторов для питания приборов технологических установок. Так же в статье приведен анализ основных величин линейного генератора. В итоге расчета получены значения активной и реактивной мощности. Это позволяет сделать вывод о том, что применение линейного генератора для электроснабжения установок по очистке газа целесообразно и может существенно расширить технологические возможности электропитания технологического оборудования.

Данное исследование выполняется по государственному заданию по проекту «Разработка комплекса научно-технических решений в области создания биотоплив и оптимальных биотопливных композиций, обеспечивающих возможность трансформации потребляемых видов энергоносителей в соответствии с тенденциями энергоэффективности, снижения углеродного следа продукции и использования видов топлива альтернативных ископаемому» (Контракт FSRZ-2021-0012) в научной лаборатории биотопливных композиций Сибирского федерального университета, созданной в рамках деятельности Научно-образовательного центра «Енисейская Сибирь».

Список литературы

1. Баимур К.А., Петровский Э.А., Шадчина Ю.Н. Гидродинамический модуль с рельефом для автономного электроснабжения технологического оборудования // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 218-223.
2. Harasek M., Makaruk A. and Miltner M. Application of Gas Permeation for Biogas Upgrade – Operational Experiences Of Feeding Biomethane into the Austrian Gas Grid. – 2008.
3. Kernitskii V.N. et al. Structure of electric power generation from different resources in Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919.
4. Boldea Ion. Variable speed generation : second edition, Ion Boldea. – New York : CRC Press, 2015. – 568 с.

05.13.06

В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, Д.И. Рогачев

Мытищинский филиал
Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана,
Факультет лесного хозяйства, лесопромышленных технологий
и садово-паркового строительства,
кафедра ЛТ7 «Транспортно-технологические средства и оборудование лесного комплекса»,
Мытищи, vklubnichkin@mgul.ac.ru, klubnichkin@mgul.ac.ru, rogachevdi@bmstu.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В статье изложена концепция автоматической системы помощи оператора харвестера при выполнении технологических операций. Применение данной системы способствует уменьшению экономических расходов, в связи оптимизации работы манипулятора и перемещения машины при валке деревьев. Работа данной системы обеспечивается за счет обработки данных, полученных с камеры видеонаблюдения, лидара и радара установленных на харвестере. В работе предложена функция приспособления для работы алгоритмом оптимизации роя частиц и представлены требования к конструкции лесозаготовительной машины.

Ключевые слова: *Лидар, Харвестер, Беспилотный харвестер, Облако точек, Метод роя частиц, Ассистент оператора харвестера.*

Введение

С приходом четвертой промышленной революции, а именно с развитием концепции «Интернет вещей», вопрос о внедрении систем автоматического управления лесных машин становится риторическим. Согласно данным аналитического центра Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, внедрение технологий цифровой экономики способствует снижению затрат на 23% при внедрении комплексного подхода [1]. Внедрение цифровых решений в машины лесного комплекса способствует увеличению производительности труда и развитию отрасли.

Роботизация в лесном комплексе

С целью разработки новых и адаптации существующих платформ для лучшей компоновки беспилотной лесозаготовительной машины (рис. 1), Сибирским государственным университетом науки и технологий проведено исследование «Роботизированной системы наведения харвестерной головки на дерево» [2].

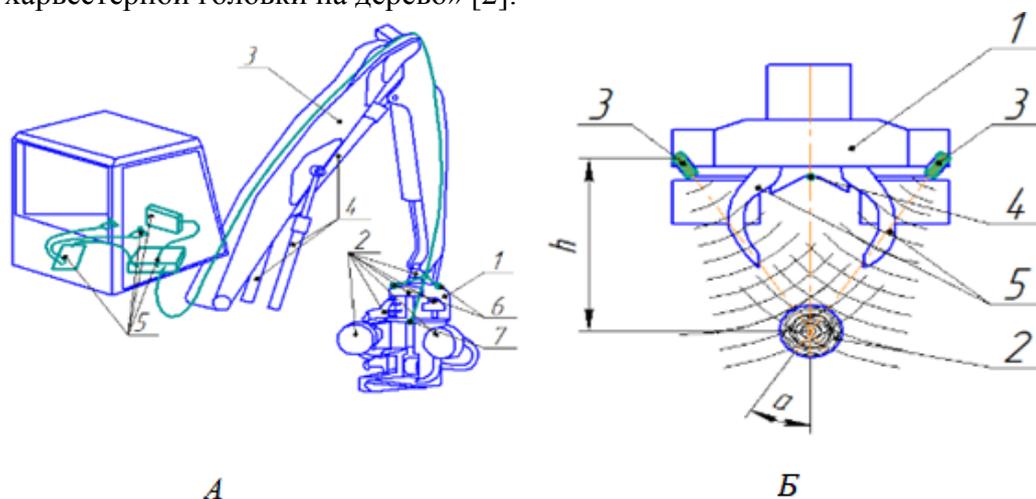


Рис. 1 – Роботизированная система наведения харвестерной головки на дерево

По данным разработчиков, в этой системе были применены: рисунок 1.А датчики расстояния 6 и датчики касания 7, рисунок 1.Б датчики расстояния 3 и датчики касания 4.

К примеру в Поволжском государственном технологическом университете, провели исследование и представили подход к вопросу автоматизации рабочего процесса захватно-срезающего устройства по удержанию срезанного дерева в вертикальном положении при его выносе из лесосеки. Спроектировав конструкцию устройства и разработав математическую модель для системы автоматического управления [3].

Представленные исследования и многие другие позволяют сделать вывод, что направление роботизации в сфере лесозаготовительных машин весьма актуально.

Концепция

На данный момент существуют лесозаготовительные машины, которые работают на дистанционном радиоуправлении, например: модель колёсного харвестера GremoBesten 106RH, однако серийных полностью автономных роботизированных моделей харвестера или форвардера пока нет. Это говорит о сложности поставленных задач перед разработчиками робототехнических систем.

При сортиментной технологии лесозаготовки на конкретной лесосеке могут использовать: – Харвестер предназначен для валки дерева, обрезке сучьев и раскряжёвки (деление на сортименты); – Форвардер предназначен для сбора и трелевки сортиментов с мест лесозаготовок на погрузочную площадку [4, 5].

В данной статье рассмотрена концепция системы помощи оператора харвестера. При разработке автономных лесозаготовительных машин можно выделить два основных этапа: создание систем помощи оператора и создание автономной машины [6].

Для уменьшения экономических расходов при разработке автономной лесозаготовительной машины оптимально начать разработку с систем помощи оператора, так как это позволит сформировать библиотеку данных для обучения искусственного интеллекта.

В качестве одного из ассистентов оператора может выступить система, которая оптимизирует вылет манипулятора и перемещение машины при валке деревьев. Данная система должна указать оператору наиболее экономически выгодное расположение харвестера относительно дерева. Концептуальный пользовательский интерфейс представлен на рисунке 2.

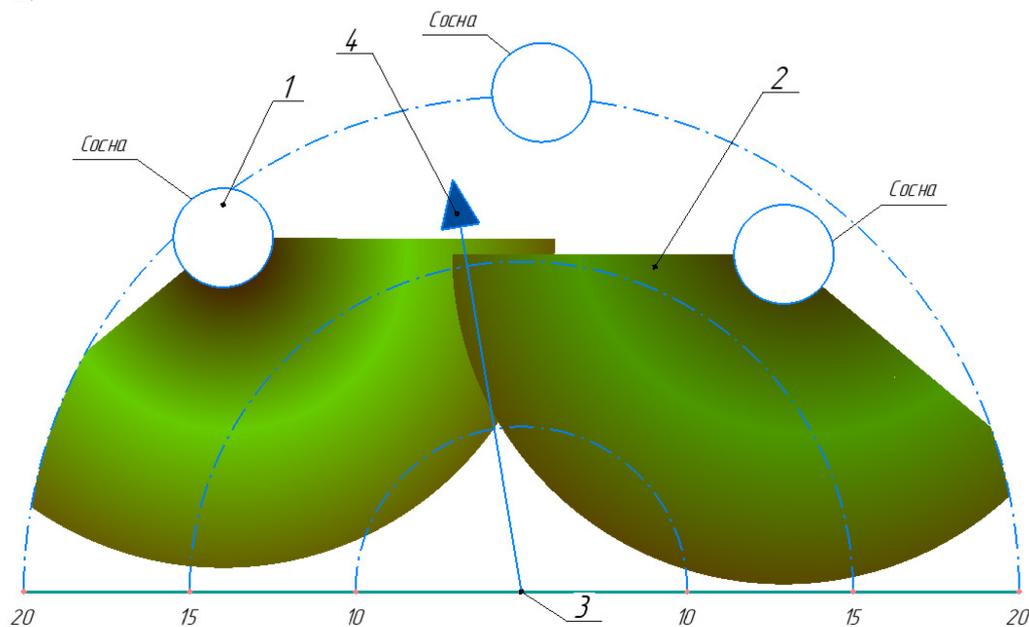


Рис. 2 – Концептуальный интерфейс

- 1 – Ствол дерева; 2 – Градиент, характеризующий оптимальное положения центра оси поворота манипулятора при валки дерева; 3 – Центр (ось поворота манипулятора); 4 – Направление движения технологического модуля машины.

Как видно из рисунка 1 оператор харвестера по градиенту 2 может определить допустимое расстояние от центра дерева 1 до оси поворота манипулятора при валке дерева и выбрать оптимальное направление движения машины. Вектор 4 показывает направление движения технологического модуля.

Для реализации системы необходимо применение камеры и лидара. За счет их совместного использования можно составить электронную карту делянки. На рисунке 3 представлен результат сканирования участка леса при помощи автомобильного лазерного лидара Velodine. С помощью данных, полученных с камеры и “LIDAR” возможно определить диаметр, породу дерева и расстояние до него, так же возможно реализовать сканирование микропрофиля делянки для более комплексной оценки экономичности харвестера при валки.

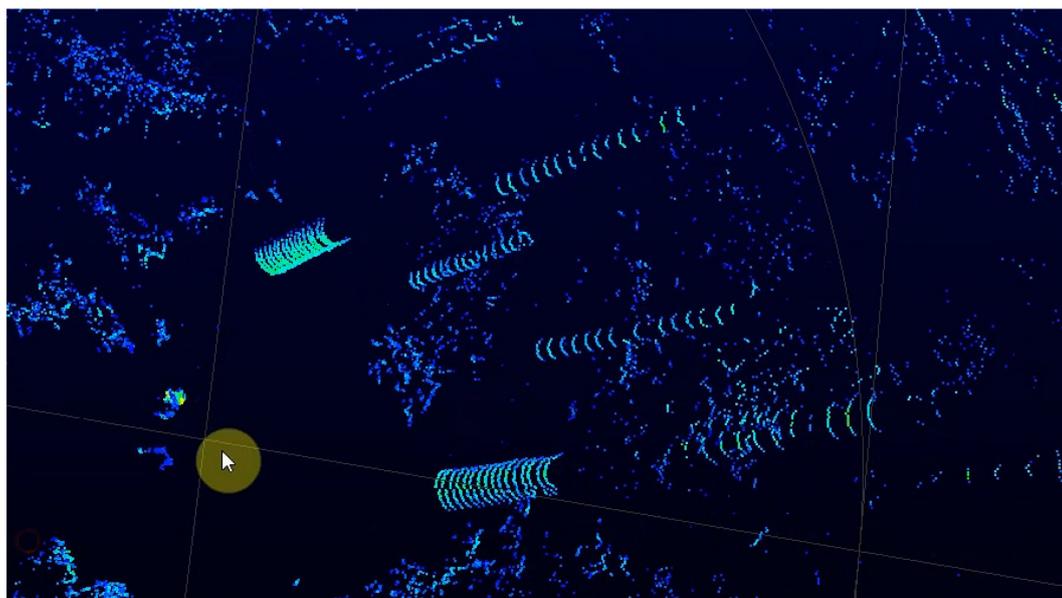


Рис. 3 – Стволы деревьев отсканированные автомобильным лазерным лидаром Velodine

Для решения задачи связанной с оптимизацией работы харвестера возможно применение метода роя частиц. Метод роя частиц (МРЧ) — метод численной оптимизации, для использования которого не требуется знать точного градиента оптимизируемой функции.

Для определения целевой функции МРЧ составим уравнение энергетических затрат при валки дерева:

$$A = A_m + A_{гц,п} + A_{п,м} + A_{гц,м} + A_{п,р}, \text{ Дж},$$

где A_m – работа, затрачиваемая при перемещении харвестера, Дж;

$A_{гц,п}$ – работа, затрачиваемая при ходе гидроцилиндров при повороте машины, Дж;

$A_{п,м}$ – работа, затрачиваемая при повороте манипулятора, Дж;

$A_{гц,м}$ – работа, затрачиваемая при ходе гидроцилиндров манипулятора, Дж;

$A_{п,р}$ – работа, затрачиваемая при повороте ротатора, Дж;

Так как работа алгоритма связана с минимизированием целевой функции, целевую функцию можно представить в виде:

$$f(X) = k_1 \cdot A_m + k_2 \cdot A_{гц,п} + k_3 \cdot A_{п,м} + k_4 \cdot A_{гц,м} + k_5 \cdot A_{п,р},$$

где $k_{1,2,3,4,5}$ – эмпирические весовые коэффициенты.

Требования к конструкции лесозаготовительной машины

Большая часть электронной аппаратуры устанавливается в кабине харвестера. Согласно действующим санитарным правилам по устройству кабин тракторов и сельскохозяйственных машин, в кабине в заданных пределах должны поддерживаться температура, относительная влажность воздуха, уровень акустического шума и уровень вибраций. Однако следует учитывать, что оператор харвестера может выполнять работу с открытой дверью кабины. В этом случае температура и относительная влажность воздуха в кабине могут быть равными

температуре и влажности наружного воздуха. Кроме того, при открытой двери кабины возможно воздействие на электронные блоки пыли, тумана и капель воды. Особо необходимо отметить, что при открывании двери кабины аппаратура может подвергаться воздействию резкого перепада температуры воздуха.

В связи с указанными факторами следует использовать аппаратуру в герметичном корпусе со степенью защиты не ниже IP67. Для нормального отвода тепла от аппаратуры, имеющей герметичный корпус, в кабине требуется дополнительное пространство, а также необходимо предусмотреть размещение данной аппаратуры на максимальном удалении от источников тепла.

Внутри кабины харвестера устанавливаются: навигационный компьютер, оснащённый твердотельным накопителем (SSD); блок сопряжения ПК с периферийным оборудованием; периферийное оборудование: сенсорный ЖК-монитор ПК (диагональ экрана не менее 11 дюймов); видеочасть (цветная, с трансфокатором (зумом), Full HD, на амортизирующем подвесе); концентратор лидаров (например, LiVOX Hub); приёмник ГЛОНАСС/GPS; блок измерения углов наклона кабины (крен, тангаж); блок преобразователя напряжения (БПН) бортовой сети харвестера (+24В) в напряжения питания ПК и периферийного оборудования; сигнальные кабели; кабели питания.

Снаружи кабины харвестера устанавливается один или большее число лидаров, обеспечивающих угол поля зрения не менее 180 градусов. Например, два твердотельных 3D-лидара LiVOX M-100, которые подключаются кабелями к концентратору лидаров. Питание лидаров осуществляется от БПН. Уровень защиты от воздействий окружающей среды не ниже IP67. С учётом возможного применения мойки под давлением (типа Керхер) для мытья харвестера класс защиты лидаров должен быть IP69. Также снаружи кабины устанавливается антенна навигационной системы ГЛОНАСС/GPS.

Выводы

В статье изложен подход к созданию беспилотной лесозаготовительной машины. Дальнейшая проработка этого вопроса упирается в частные случаи использования технологического оборудования.

Благодарности

Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения №075-11-2019-030 от 22 ноября 2019 г.

Список литературы

1. Точное земледелие: состояние и перспективы: [Электронный ресурс]. URL: <https://agriecommission.com/base/tochnoe-zemledelie-sostoyanie-i-perspektivy>. (Дата обращения: 23.11.2021).
2. Мохирев А.П. Роботизированная система наведения захватно-срезающего устройства на дерево / А. П. Мохирев, И. А. Мохирев, Д. М. Морозов // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 1(29). – С. 194-202. – DOI 10.12737/article_5ab0dfc77edc04.85487053.
3. Ласточкин Д.М. Автоматизация захватно-срезающего устройства лесозаготовительной машины / Д. М. Ласточкин, Е. М. Онучин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 91. – С. 521-536.
4. Клубничкин В.Е. Краткий анализ тенденций развития лесозаготовительных машин / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Б. Карташов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – № 3 (130). – С. 93–102.
5. Козлов И.В. Тенденции развития Отечественной лесовосстановительной техники / И. В. Козлов, Д. И. Рогачев // Матрица научного познания. – 2019. – № 12. – С. 36-40.
6. Рогачев Д.И. Развитие Отечественной робототехники в лесной отрасли / Д. И. Рогачев, И. В. Козлов // Студенческий вестник. – 2020. – № 1-6(99). – С. 22-23.

05.13.06

Е.С. Козин канд. техн. наук, Г.А. СофроновФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,
Тюмень, kozines@tyuiu.ru, sofronov.george@yandex.ru**ВНЕДРЕНИЕ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ
НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ**

В статье рассматривается внедрение прототипа системы дистанционного управления в конструкцию рулевой системы вездехода «Пелец». Представлена трехмерная модель внедряемой системы, указан принцип ее работы. Рассмотрена схема подключения электронных компонентов системы, выполненных на базе микроконтроллера Arduino, а также программный код управления, реализованный в среде программирования Arduino IDE. Разработанная система позволит повысить безопасность перевозочного процесса и расширить сферу применения указанного транспортного средства.

Ключевые слова: рулевая система, дистанционное управление, вездеход, микроконтроллер, безопасность перевозок, транспортно-технологические средства.

По оценкам экспертов рынок беспилотных транспортных средств специализированного применения в 2020 году имел объем более 600 млрд. долларов и, ввиду своей новизны, открыт для различных исследований. При этом согласно Дорожной карте НТИ «Автонет» подобные проекты имеют высокий потенциал для внедрения в производство: данные решения могут быть востребованы нефтегазовым сектором, МЧС, логистическими компаниями, Министерством обороны и т.п. [1]. Кроме того, Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года также предусматривает расширение доли транспорта без водителя и проведение исследований в этом направлении. Одним из распространенных транспортных средств специализированного применения являются компактные вездеходы «Пелец», которые являются объектом исследования в настоящей работе [2]. Из-за условий использования транспортных средств высокой проходимости персонал часто подвергается опасности во время работы. Перспективным вариантом обеспечения безопасности водителя может служить перевод на систему дистанционного управления.

Систему дистанционного управления вездеходом «Пелец» можно поделить на 5 составляющих: систему управления зажиганием, систему управления трансмиссией, систему рулевого управления, систему управления газом, управление тормозной системой.

Целью работы является повышение эффективности эксплуатации вездехода путем внедрения мехатронной системы дистанционного управления направлениям движения и повышение на этой основе безопасности перевозочного процесса.

Научная новизна исследования заключается в определении закономерностей влияния природно-климатических факторов и условий эксплуатации на процессы технической эксплуатации транспортных средств высокой проходимости, оснащенных системами дистанционного и автономного управления.

В рамках первого этапа научной работы для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. разработка модели системы дистанционного управления с использованием систем автоматизированного проектирования;
2. создание прототипа системы и его внедрение в лабораторное транспортное средство высокой проходимости «Пелец»;
3. тестирование работы прототипа системы с использованием программируемого микроконтроллера.

Конструкция штатной системы рулевого управления вездехода «Пелец» рассмотрена далее. На поперечине рулевой колонки размещены два задающих гидроцилиндра управления двумя бортовыми фрикционами. Фрикционы установлены на концах ведомых валов, идущих от коробки переключения передач к приводным звёздам гусениц. При повороте руля кулачок, установленный на рулевом валу, давит на шток одного из гидроцилиндров, тем самым приводя в действие соответствующий фрикцион. Тот, в свою очередь, затормаживает гусеницу, управление ходом которой он осуществляет, и машина выполняет поворот в сторону поворота руля [3].

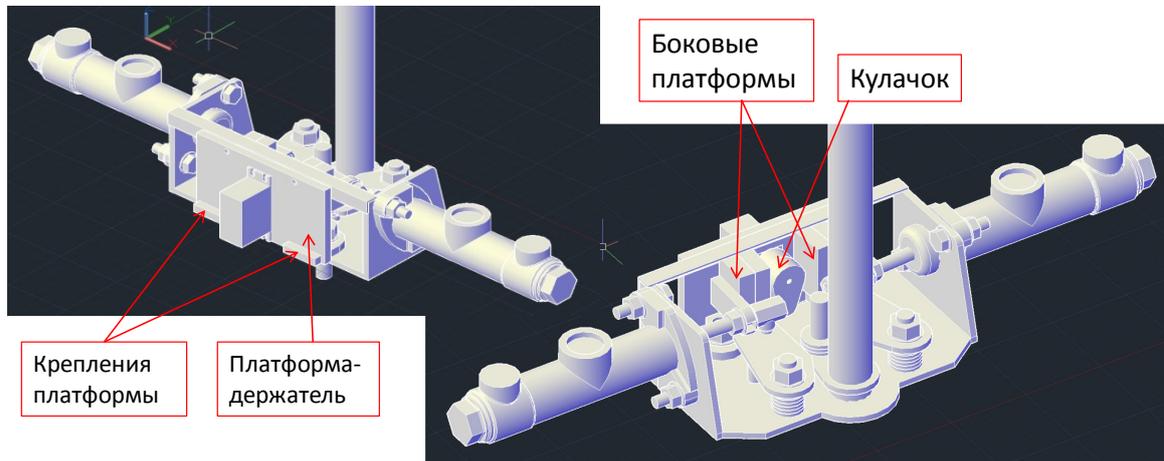


Рис. 1 – Трехмерная модель системы дистанционного рулевого управления вездехода «Пелец»

Существуют различные варианты конструкции систем дистанционного управления [4, 5]. Суть разработанной системы заключается в установке дополнительного кулачка в рулевой колонке, управляемого при помощи мехатронного модуля (рисунок 1).

Согласно спроектированной конструкции на штоках гидроцилиндров закрепляются дополнительные боковые платформы, на каркасе рулевой колонки устанавливаются крепления для площадки-держателя, а так же сама площадка под сервопривод. Сервопривод устанавливается в специально выполненный паз и фиксируется при помощи винтов и гаек. На вал сервопривода внатяг устанавливается кулачок и затягивается винтом.

Установленный кулачок приводится в действие от сервопривода, получающего управляющие команды от микроконтроллера. Через боковые платформы он оказывает давление на штоки гидроцилиндров. Предлагаемая система устанавливается поверх штатной, не изменяя ее конструкции.

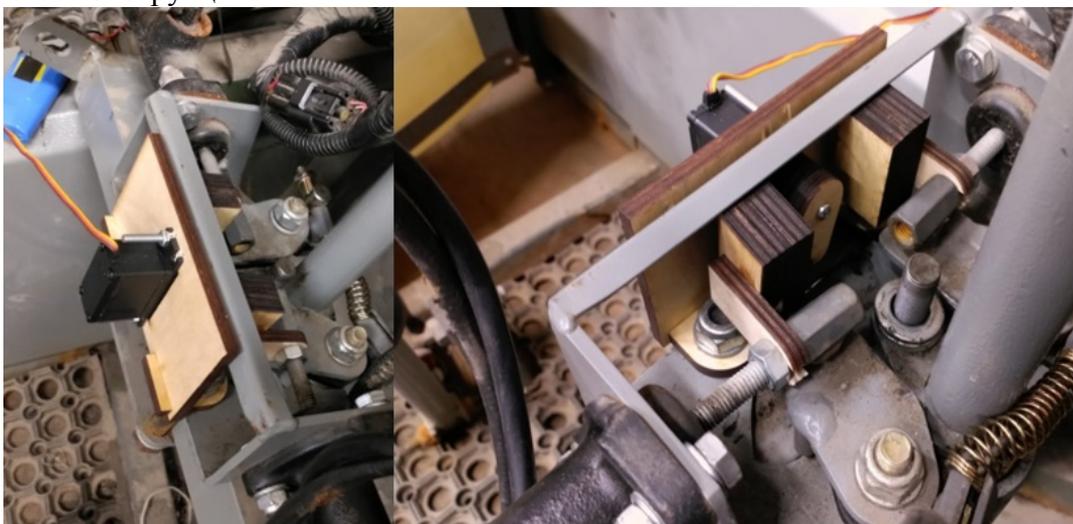


Рис. 2 – Установленная система дистанционного рулевого управления: вид с внутренней (слева) и внешней (справа) стороны

Элементы прототипа системы были установлена на лабораторный вездеход, после чего была произведена проверка работоспособности системы (рисунок 2).

Электронная составляющая прототипа системы управления выполнена на основе микроконтроллера Arduino UNO и состоит из сервопривода с усилием до 9 кг, Bluetooth модуля HC-06, аккумулятора и мобильного устройства для передачи управляющих сигналов с использованием приложений типа Bluetooth Terminal (рисунок 3).

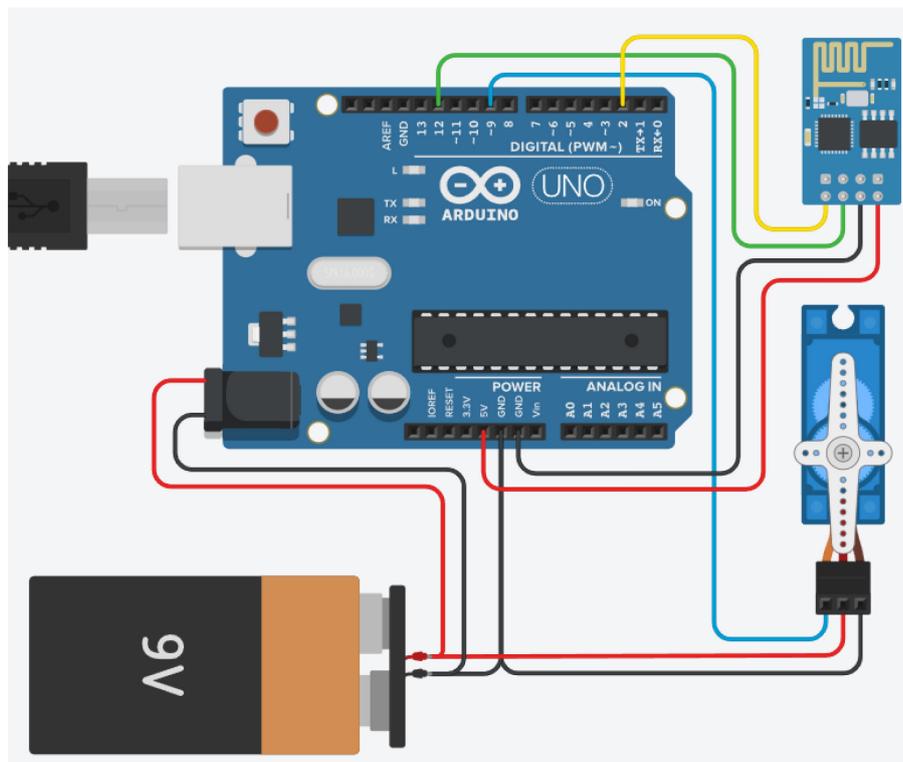


Рис. 3 – Схема подключения электронных элементов системы управления

Программный код управления системой реализован в среде программирования Arduino IDE и состоит из нескольких блоков: подключение библиотек управления сервоприводом `<Servo.h>` и работы с последовательным интерфейсом `<SoftwareSerial.h>`; определение портов передачи данных для Bluetooth модуля и сервопривода с помощью функций `BTSerial` и `attach`; настройка скорости передачи данных (38400 бод/с); условный блок с направлением сигнала на сервопривод при получении управляющего воздействия (оператор `switch/case`); функции управления углом поворота вала сервопривода (`void left/right`).

Таким образом, по итогам проделанной работы были выполнены все поставленные задачи и достигнуты следующие результаты:

1. с использованием САПР Autocad была разработана трехмерная модель элементов системы рулевого управления транспортным средством высокой проходимости и определены элементы конструкции внедряемой системы дистанционного управления;
2. создан прототип системы дистанционного рулевого управления и внедрен на лабораторное транспортное средство высокой проходимости «Пелец» параллельно штатной системе управления, что позволяет использовать обе системы в зависимости от задач;
3. проведено тестирование прототипа разработанной системы дистанционного рулевого управления, которое доказало работоспособность спроектированной конструкции и возможность использования программируемых микроконтроллеров в качестве электронного блока управления;
4. сформированы задачи на переход к промышленному варианту системы, а также на разработку остальных элементов управления движением для реализации системы дистанционного управления всеми функциями транспортного средства высокой проходимости.

Список литературы

1. Дьяков А.С. Анализ отечественного и зарубежного опыта создания безэкипажных наземных транспортных средств специального назначения // Труды НАМИ. – 2017. - №4 (271). – С. 75-90
2. Мерданов Ш.М. Механизированные комплексы для строительства временных зимних дорог: монография. – Тюмень : ТГНГУ, 2013. – 196 с.
3. Эксплуатация подъёмно-транспортных, строительных и дорожных машин. Строительные машины / Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М., Шефер В.В., Иванов А.А. 2-е изд., перераб. и доп. Тюмень : ТГНГУ, 2012. – 456 с.
4. Принципы построения систем управления роботизированных транспортных средств с автономным и дистанционным режимом управления / Сусарев С.В., Сидоренко К.В., Морев А.С., Гашенко Ю.В. // Труды XXI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – 2019. – С. 107-110
5. Патент РФ № RU 2737080 С1, 15.07.2020. Хиромицу У., Сё О., Хочон Ч. Система дистанционного управления транспортным средством и устройство дистанционного управления // Патент России № 2737080 С1. 2020.

05.13.06

¹Т.А. Парникова, ²А.В. Спиридонова¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
автодорожный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com, tatyana-parnikov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ БАЛАНСИРОВКИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРИ РЕМОНТЕ ДВИГАТЕЛЕЙ

Опыт использования сельскохозяйственной техники показывает, что, применяя средства обслуживания и ремонта, не требующие больших капиталовложений, можно значительно уменьшить простой машинно-тракторного парка. С внедрением в технику новых более прогрессивных технологических процессов, повышением скоростей и мощностей техники, а также с задачами автоматического регулирования и управления машинами коренным образом изменились конструкции машин. наряду с механическими в состав машин входят гидравлические, и пневматические, электрические, электронные устройства. В настоящей статье рассмотрены проблемы долговечности и надежности машин. Статья посвящена частному вопросу, связанному с обширной проблемой надежности машин-вопросу надежности техники.

Ключевые слова: *надежность машин, эксплуатация машин, мощность, периодический контроль, техническое состояние.*

Колебания и вибрации, внутренний и внешние шумы сельскохозяйственных и транспортных машин в основном обусловлены виброакустическими показателями двигателями. один из основных источников вибрации и механического шума двигателей-дисбаланс в плоскостях коррекции. он влияет также на ресурс, степень изнашивания коренных подшипников коленчатого вала и является показателем качества проектирования, производства, эксплуатации и ремонта, определяется отклонениями массогеометрических параметров, остаточным дисбалансом и эксцентриситетом деталей, монтажными и текущими зазорами в соединениях, различными эксплуатационными и ремонтными факторами.

Техническое состояние регулятора частоты вращения коленчатого вала дизеля, более верно можно оценить по соотношению [1,3]:

$$\delta_p = \frac{H_p}{H_{p_n}}, \quad (1)$$

где δ_p – относительная неравномерность работы регулятора; H_p, H_{p_n} – соответственно действительное и номинальное значения неравномерности работы регулятора, которые представляют собой приращение частоты вращения на единицу цикловой подачи топлива.

$$H_p = (n_1 - n_2)/(q_{ц2} - q_{ц1}), \quad (2)$$

где n_1 и $q_{ц1}$ – соответственно частота вращения кулачкового вала топливного насоса и цикловая подача топлива при пониженной нагрузке; n_2 и $q_{ц2}$ – то же при повышенной нагрузке.

В геометрической интерпретации неравномерность H_p работы регулятора характеризуется угловым коэффициентом кривой $n = f(q_{ц})$. Величину H_p можно измерить как непосредственно на дизеле, так и на безмоторном стенде. Для одного и того же топливного насоса значение H_p в обоих случаях будет одинаковым.

По значению H_p оценивают конструктивные особенности нового регулятора в комплекте с эталонным насосом, а по значению δ_p – техническое состояние изношенного регулятора.

Один из основных параметров, характеризующих работоспособность регулятора, – это неравномерность δ_p работы, по которой можно оценивать техническое его состояние, обусловленное износом сопряжений. В качестве частных функций приняты степень неравномерности Y_δ регулятора и относительная неравномерность $Y_{\delta p}$ его работы. Установлены следующие нормативные значения этих величин: $Y_{\delta \max} = 11.6\%$; $Y_{\delta \min} = 3.7\%$, номинальное (с оценкой «хорошо») $Y_\delta^{\text{хор}} = 7\%$ [4]; $Y_{\delta p \max} = 2.1$; $Y_{\delta p \min} = 0.5$; $Y_{\delta p}^{\text{хор}} = 1.0$ [1-5].

Известны различные способы правки: холодный – на прессах путем многократного перегиба; горячий – чаще всего на винтовых прессах; тепловой – путем нагрева средних шатунных шеек с использованием тока высокой частоты (ТВЧ) и охлаждения водой с вогнутой стороны; идентификатором на прессе; избирательной накаткой галтелей; чеканкой галтелей и щек. Основные характеристики уравнений регрессии с наиболее значимыми членами, оказывающими значительное влияние на D_1 , (Y_δ) и D_2 , ($Y_{\delta p}$), представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные характеристики уравнения регрессии, оказывающие наибольшее влияние на D_1 , (Y_δ)

Наименование характеристик	Факторы		
	X_1, X_3, X_4, X_5	X_3, X_5	X_1, X_3, X_5
Коэффициенты b уравнения	3.0272	-0.7256	1.1310
t -соотношения Стьюдента	3.4281	-2.4219	2.1986
Общие характеристики уравнения:			
$R = 0.5840$	– Уточненный коэффициент множественной корреляции		
$D_1 = 0.3411$	– Коэффициент множественной детерминации		
$b_0 = 0.5374$	– Свободный член уравнения		

В результате правок валов на прессах путем перегиба их усталостная прочность снижается в среднем на 10–15% (максимально на 30%) [1-5].

Таким образом, износ основных сопряжений и жесткость пружины регулятора частоты вращения оказывают существенное влияние на неравномерность его работы, которую можно принять в качестве одного из диагностических параметров, характеризующих работоспособность системы автоматического регулирования дизеля.

Список литературы

1. Кокиева Г.Е. Анализ технологии измерения рабочих поверхностей при дефектации аппаратов для культивирования микроорганизмов / Г. Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 137-139. Москва: Высшая школа, 2017. 232
2. Kokieva G.E., Voinash S.A., Sokolova V.A., Fedyaev A.A., IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 548(6), 062036 (2020)
3. Kokieva G.E., Voinash S.A., Sokolova V.A., Gorbachev V.A., Fedyaev A.A. and Fedyaev A.A, Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk, Russia: Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations (2020).
4. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей : учеб. пособие. - Улан-Удэ : Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2010. - 160 с.
5. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В., Маломыжнев О.Л. Совершенствование технического сервиса элементов подвески транспорта АПК // Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе : материалы Всероссийской науч.-практ. конф. - Чебоксары, 2018. - С. 280-285

05.13.06

Н.В. Петров, И.И. Дмитриев, Ф.А. Скрыбыкин

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
 автодорожный факультет,
 кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»,
 ФГАОУ ВО Октмский филиал
 Арктического государственного агротехнологического университета,
 кафедры «Механизация сельскохозяйственного производства»,
 Якутск, petnikvad1988@mail.ru

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УМП-350

В работе рассматривается эксплуатация и доработка унифицированного моторного подогревателя УМП – 350. При эксплуатации воздушного судна при низких температурах требуется обязательный подогрев с помощью специальной машины УМП - 350.

Для эффективности работы данного устройства в условиях низких температур решено было разработать раструбы. По данным испытания в разных минусовых температурах при подогреве одного воздушного судна требуется от 15 минут до 4 часов времени и расходуется от 15 до 57 л/час керосина ТС-1. Оснащенный раструбом УМП - 350, может расходовать меньше топлива, чем без раструба.

Ключевые слова: *моторный подогреватель, раструб, температура, давление, испытание, воздух.*

Унифицированный моторный подогреватель УМП-350, изготовленный согласно ТУ В 22-21-95 предназначен для обогрева двигателей и обогрева кабин летательных аппаратов горячим воздухом. Конструкция моторного подогревателя позволяет подавать атмосферный воздух, подогретый до температуры 80-115 градусов, со скоростью до 25м/с [1, 2, 3].

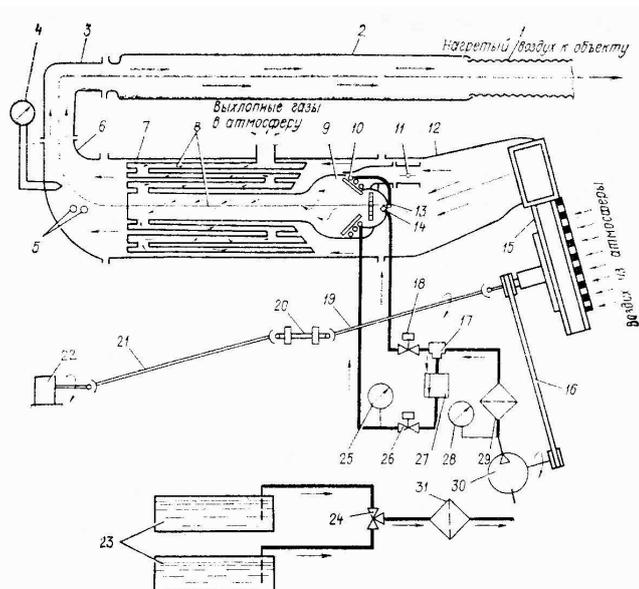


Рис. 1 – Комбинированная принципиальная схема подогревателя УМП-350

- 1 - воздушный напорный рукав; 2 - рукавная гильза; 3 - коллектор;
 4 - дистанционный термометр ТЦТ-9; 5 - термовыключатели; 6 - выходной патрубкок;
 7 - подогреватель воздуха; 8 - газоходы калорифера; 9 - камера сгорания калорифера.

Работа подогревателя основана на передаче тепла от раскаленных стенок калорифера воздуху, поступающему из атмосферы. Тепло для нагрева воздуха выделяется при сжигании топлива (авиационного керосина Т-1 или ТС-1) в камере сгорания калорифера подогревателя воздуха [4,5,6].

Материалы и методы

УМП-350 смонтирован на шасси грузового автомобиля (ЗИЛ-131, Газ 33106 Валдай). Для эффективности работы данного устройства в условиях низких температур решено было разработать раструб по следующей конструкции:

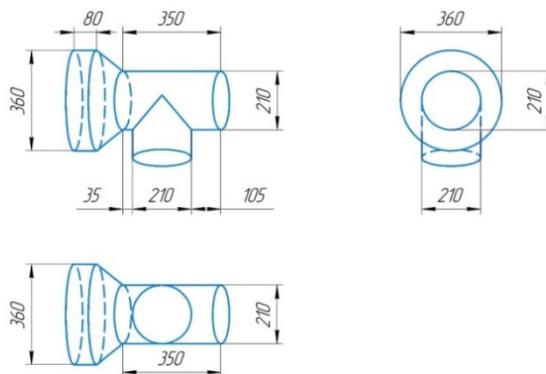


Рис. 2 – Конструкция изготавливаемого устройства

После изготовления конструкции были произведены монтажные работы на действующем УМП-350 для проведения натурных испытаний.



Рис. 3 – Установленные раструбы в УМП-350

Для проведения натурных испытаний нами были использованы следующие приборы: Термометр жидкостный технический ТТЖ-М, манометр МТП -3М, термометр ТУЭ-48, калорифер 350-10-08-00.

Результаты проведенных испытаний

Проведены испытания работы установки ГАЗ-331061 УМП-350 госуд. №К378КУ гар. №2. после установки раструба (тройника) на рукавах для подачи нагретого воздуха в всасывающий вентилятор установки.

В результате испытаний при запуске установки без тройника в штатном режиме показали следующие данные: время запуска установки 09:50 (местного времени), при температуре окружающей среды: -49°C , основное давление установки $2,5 \text{ см}^2$, рабочее давление установки $0,9 \text{ см}^2$.

Параметры нагрева воздуха на выходе рукавов: 09:50 (запуск установки), 09:54 (40°C), 09:55 (50°C), 10:00 (80°C), 10:04 (100°C)

Итого: время прогрева до 100°C , составило 14 минут

В 27 января 2021 года была проверка работы установки УМП-350 с тройником для циркуляции воздуха в калорифер.

В 13:03 запуск установки, с текущими показаниями: 49С - температуры окружающей среды, основное давление установки 2,5 см², рабочее давление установки 0,9см².

Параметры нагрева воздуха на выходе рукавов: в 13:03 (запуск установки), 13:07 (100⁰С)

После прогрева рабочее давление установки уменьшили до 0,25см² для стабильной температуры выхода воздуха 100⁰С

Итого: время прогрева до 100⁰С, составило 4 минуты

Замеры произведены, техническим термометром жидкостный ТТЖ-М код ОКП 432100, №85179 предназначен для измерения температур от 10 до плюс 200⁰С градусов в технических установках.

Далее результаты натурных испытаний представлены в виде графика

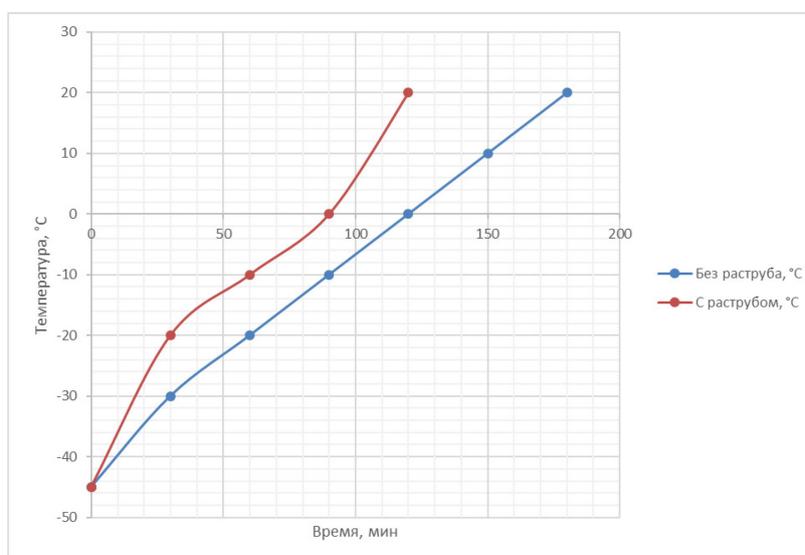


Рис. 4 – График времени прогрева воздушного судна АН-24 при длительной стоянке -45° С, с УМП-350 с раструбом и без раструба.

Из представленного графика, можно сделать вывод о том, что предлагаемая конструкция является эффективной. Проведенные экспериментальные испытания показали, что достигаемая температура в 100 °С обеспечивается при давлении равной 0,9 кг/см, Но при этом для поддержания определенной температуры необходимо уменьшить давление до 0,25 кг/см..

Выводы

Разработанное устройство, может служить для одновременного подогрева 4-х двигателей и обогрева кабины самолетов (вертолетов). В летний период – для продувки кабин и других объектов. Работа основана на передаче тепла со стенок калорифера воздуху, поступающему из атмосферы. УМП-350 не требует специального обслуживания и особых условий предохранения от атмосферных осадков. Все агрегаты и приборы смонтированы внутри кузова. Обслуживающий персонал – 1 человек. Работает при температуре до -50 градусов.

При эксплуатации воздушного судна при низких температурах требуется обязательный подогрев с помощью специальной машины УМП 350.

По нашим испытаниям в разных минусовых температурах при подогреве одного воздушного судна требуется от 15 минут до 4 часов времени и расходуется от 15 до 57 л/час керосина ТС-1.

Оснащенный раструбом, сможет расходовать меньше топлива на 3 600 литров в год, чем без раструба.

Список литературы

1. Кисиев П.А. Вспомогательное оборудование (8Ш31, 15Ш26, УМП-350, 8Т311М) учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Издательский центр «Московский авиационный центр», 2018 г.1 - 88 с.
2. УМП-350 URL: <https://concern-kemz.ru/ump-350> (дата обращения: 15.04.2021). Текст: электронный.
3. Назначение, конструкция основных узлов техники URL:https://studopedia.net/2_38963_lektsii---naznachenie-konstruktsiya-osnovnih-uzlov-teh (дата обращения: 15.04.2021). Текст: электронный.
4. Как отрегулировать пусковые форсунки УМП-350 URL:<https://www.trophywolf.ru/kak-otregulirovat-puskovuyu-forsunku-ump-350-unificirovannye.html> (дата обращения: 15.04.2021). Текст: электронный.
5. Использование погружного центробежного электронасоса URL:<https://studfile.net/preview/8803276/page:39/>(дата обращения: 15.04.2021). Текст: электронный.
6. Производственно-технологическое назначение оборудования URL:<http://kizlyar-kemz.ru/produktsiya/proizvodstvenno-tehnicheskogo-naznacheniya/oborudovaniya-dlya-obsluzhivaniya-letatelnyh-apparatov-i-obektov-spetsialnogo-naznacheniya/unifitsirovannyj-motornyj-podogrevatel-ump-350.html> (дата обращения: 15.04.2021). Текст: электронный.

05.13.06

Н.В. Петров, Ф.А. Скрыбыкин, А.Н. Матвеев, М.Ю. Прокопьев

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
автодорожный факультет,
кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»,
ФГАОУ ВО Октмский филиал
Арктического государственного агротехнологического университета,
кафедры «Механизация сельскохозяйственного производства»,
Якутск, petnikvad1988@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ВПРЫСКА ВОДЫ В ЦИЛИНДР ДВИГАТЕЛЯ НА ЛЕГКОВОМ АВТОМОБИЛЕ «ТОУТОА PROBOX»

В работе рассматривается создание экспериментального стенда на базе автомобиля Toyota Probox с системой впрыска воды в цилиндр двигателя внутреннего сгорания. Показана основная схема и алгоритм подключения шлангов и проводов в системе с автоматическим насосом. Расход воды для карбюраторного двигателя должен составлять ориентировочно 15% от расхода топлива при движении по трассе. Для увеличения эффективности впрыска воды рекомендуется изменить угол зажигания до 5° в сторону опережения и отрегулировать подачу топлива в сторону небольшого обеднения, примерно на 10 – 15%.

Ключевые слова: *двигатель, экспериментальный стенд, датчик, форсунка, фильтр.*

Важным этапом при создании двигателя с системой впрыска воды является его экспериментальное исследование. При проведении экспериментальных исследований проверяется адекватность математических моделей, применяемых для расчётного исследования различных процессов в двигателе, а также основные расчётные результаты, полученные с их помощью.

Следовательно, создание экспериментального стенда на базе автомобиля Toyota Probox является наиболее ответственным этапом в его исследовании, и соответственно – актуальной задачей.

В качестве базы для создания экспериментального стенда был выбран серийно выпускаемый в настоящее время фирмой «Toyota Motor Corporation» и устанавливаемый на автомобили «Toyota Probox, Toyota Ractis, Toyota Raum, Toyota Porte, Toyota Platz, Toyota Auris, Toyota Premio, Toyota Allion, Toyota Succeed, Toyota Corolla Fielder и т.д., двигатель 1NZ-FE (основное топливо – бензин АИ-95). В серийном исполнении этот двигатель имеет следующие конструктивные и эксплуатационные характеристики: диаметр цилиндра – 75 мм; ход поршня – 84,7 мм; степень сжатия 10,5; эффективная мощность – 76 кВт при частоте вращения коленчатого вала $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$ [3].

Основная схема подключения шлангов в системе с автоматическим насосом приведена на рис. 1.



Рис. 1 – Схема подключения шлангов в системе с автоматическим насосом

1. Определить место для блока управления, блока насоса и бачка под капотом автомобиля. При этом насос должен находиться ниже уровня воды в бачке и не более 0,5м от бачка. Блок управления должен устанавливаться вдали от источников тепловыделения и мест попадания дождевой воды. Форсунку впрыска воды необходимо присоединить к впускному коллектору так, что бы обеспечить наилучшее распыление. Форсунка должна устанавливаться после дроссельной заслонки [5], (рис. 2.).



Рис. 2 – Установка водотопливной форсунки

2. Необходимо просверлить в бачке 1 отверстие $d = 10\text{мм}$ [4]. Отверстие должно располагаться в нижней части бачка. В отверстие вставить штуцер, входящий в комплект. Штуцер бачка можно протянуть в отверстие при помощи проволоки. Нужно надеть штуцер с прокладкой на проволоку и протянуть проволоку через горловину бачка в отверстие.

3. После выбора места необходимо установить все узлы системы: блок управления, насос, бачок, форсунку[2].

4. Присоединяем шланги, входящие в комплект (см. рис. 3.). Шланг от форсунки подключаем к выходу насоса. Подключения шланга к форсунке затягивается хомутом [4]. Насос подключается к штуцеру бачка через фильтр. При использовании простого насоса, фильтр устанавливается между насосом и форсункой. Длина трубки от насоса к форсунке должна быть не менее 1,5м.

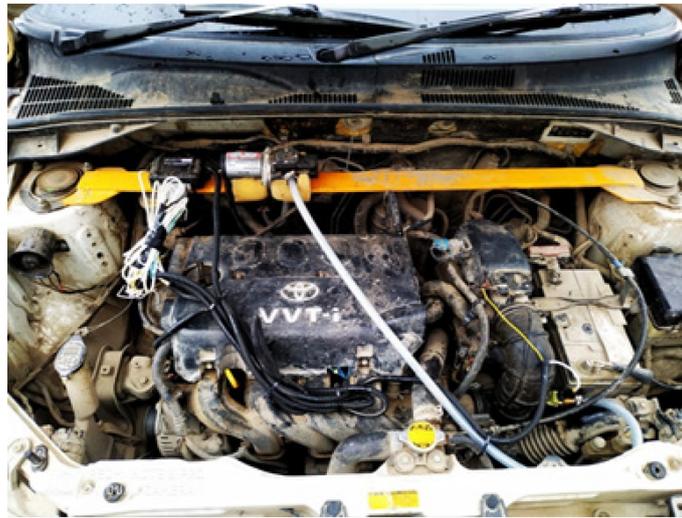


Рис. 3 – Установка всех узлов водотопливной системы

5. Подключаем провода как показано на рис. 4. Лямбда зонды подключаются после процесса самообучения [6]. Можно использовать 4 форсунки для впрыска воды.

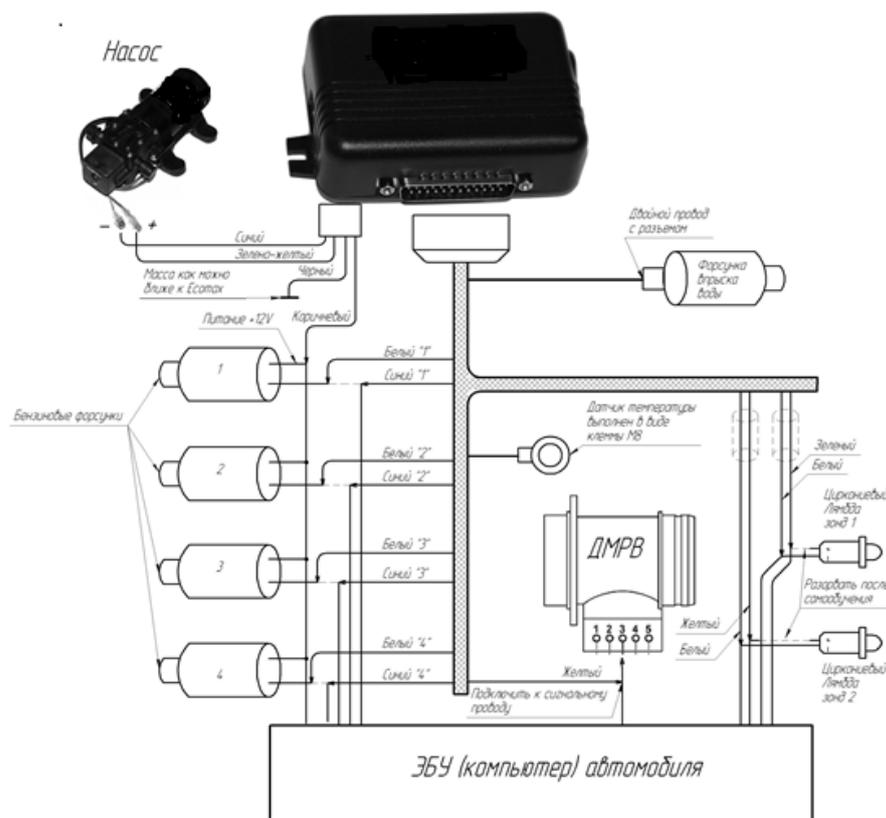


Рис. 4 – Подключение коммутационных проводов

6. Устанавливаем датчик температуры на головке цилиндра двигателя.

7. Проводим провод светодиодного индикатора в салоне так, чтобы индикатор был виден водителю. Подключаем разъём к блоку управления.

Расход воды для карбюраторного мотора должен составлять ориентировочно 15% от расхода топлива при движении по трассе. Для увеличения эффективности впрыска воды рекомендуется изменить угол зажигания до 5° в сторону опережения и отрегулировать подачу топлива в сторону небольшого обеднения, примерно на 10 – 15% [1].

Заключение

При использовании впрыска воды двигатель работает более плавно, чем на бензине. В городских условиях на преодоление определенного участка пути бензин расходуется на 15% меньше при использовании впрыска воды, чем бензина.

Чтобы автомобиль стал экологически чистым, должно быть экологически чистым и топливо. По сравнению с чистым бензином применение впрыска воды заметно снижает суммарную токсичность (ядовитость) отработавшего топлива (выхлопа).

Список литературы

1. *Грибков А.Ю.* Расчет топлива и ГСМ. Москва. 2006-279с.
2. *Зарубин А.Г.* Устройство, обслуживание и ремонт систем современного впрыска. Минск. Высшая школа. 2002-233с.
3. Книга Toyota probox, succeed с 2002, toyota bb, scion xb 2000-2006 бензин, каталог з/ч, электросхемы. Руководство по ремонту и эксплуатации автомобиля. Профессионал. Легион - автодата, 470 с.
4. Нормокомплект оборудования и специального инструмента для АТП. Москва ЦБНТИ Минавтотранса РФ. 2003-238с.
5. *Павленко Е.П.* Система питания современного двигателя. Москва. Машиностроение, переработано и дополнено. 1998-357с.
6. *Хромченко В.А.* Система впрыска серии Jetronic. Москва. Машиностроение. 2001-446с.

05.13.06

Н.О. Сапоженков канд. техн. наук, А.А. Панфилов канд. техн. наук, В. С. ПетровТюменский индустриальный университет,
Тюмень, Slava99-04@mail.ru**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ
ЗИМНИХ ШИПОВАННЫХ ШИН**

Применение шипованных шин в зимнее время значительно повышает коэффициент сцепления с дорожным покрытием. Однако в современных условиях неизбежна потеря шипов, что увеличивает износ протектора и снижает сцепные свойства. Чтобы этого не происходило, необходимо своевременно проходить диагностику и обслуживание зимних шин. Многие водители отказываются от этих услуг из-за высоких временных и денежных затрат. Решить данную проблему может стенд для автоматизированного подсчёта шипов.

Ключевые слова: *диагностика шин, шипы, коэффициент сцепления.*

Современная эксплуатация автомобилей связана с эксплуатационными расходами [1–5]. Помимо затрат на топливо, техническое обслуживание и налоги, водителям необходимо своевременно менять как летние, так и зимние шины на новые. Кроме того, зимние шины дорожке летних и подвержены большему износу, что связано с особенностями состава резины в протекторе и выпадением шипов.

Так как во многих регионах России эксплуатация фрикционных шин не рекомендуется, а часто менять шины на новые слишком затратно, появилась услуга дошиповки колёс ремонтными шипами. Это позволяет вернуть сцепные свойства, близкие к заводским параметрам и значительно продлить срок эксплуатации шин. Однако, с уменьшением количества шипов, увеличивается пробуксовка ведущих колёс, что ускоряет уменьшение глубины протектора. Поэтому для своевременной дошиповки колёс необходимо регулярно проводить диагностику зимних шипованных шин.

Сегодня лишь немногие предприятия предоставляют услуги по диагностике шин, но процедура дошиповки колёс уже получила широкое распространение.

Сервисные центры, предоставляющие данную услугу, выделяют время отдельного сотрудника, который считает шипы на колесе и измеряет глубину протектора. Такая методика оценки занимает много времени, из-за чего большинство клиентов отказываются от данной услуги, что приводит к неосведомлённости водителей о состоянии их шин, что может повлечь возникновение ДТП. Таким образом, разработка новых методов оперативной диагностики зимних шипованных шин на основе автоматизированных устройств для сокращения трудозатрат на данную процедуру является актуальной задачей.

Целью данного исследования является повышение эффективности эксплуатации автомобилей на основе методики автоматизированной диагностики зимних шипованных шин.

Для создания адекватных критериев работоспособности зимних шипованных шин, необходимо исследовать изменение сцепных свойств, в зависимости от количества шипов. В качестве метода получения этих критериев был выбран эксперимент [3–5], результатом которого является информация о зависимости тормозного пути от дорожного покрытия и от количества шипов. Для проведения эксперимента были выбраны 4 участка с различным дорожным покрытием: асфальт, рыхлый снег, уплотнённый снег и обледенелая дорога.

Для начала испытаний после проверки целостности протектора и других параметров технического состояния с автомобильных шин были удалены все шипы. Остаточная глубина протектора составила 7мм, что позволяет производить постепенную дошиповку после

каждой серии испытаний шипами ШР12-8-2. Сами испытания были разделены на 5 этапов с последовательной дошиповкой по 25%. Для изменения количества шипов, после каждой серии испытаний, автомобиль передвигался на шиноремонтную станцию, где проводилась дошиповка. Далее новые шипы проходили обкатку от 30 до 50 км. После этого автомобиль направлялся на проведение следующей серии испытаний.

Для проведения расчётов дорожным покрытиям были присвоены соответствующие коэффициенты сцепления: асфальтовое покрытие – 0,8, рыхлый снег – 0,3, уплотнённый снег – 0,2 и обледенелое покрытие – 0,1.

В результате обработки данных в среде MS Excel были получены закономерности изменения тормозного пути, в зависимости от количества шипов и типа дорожного покрытия [3]:

$$D=a(n) \cdot K_c^2 + b(n) \cdot K_c + c \quad (1)$$

где D – длина тормозного пути, м;

K_c – коэффициент сцепления;

n – количество шипов;

a, b, c – параметры модели

Обработка полученных зависимостей позволяет также представить данные эксперимента в графическом виде (рис. 1).

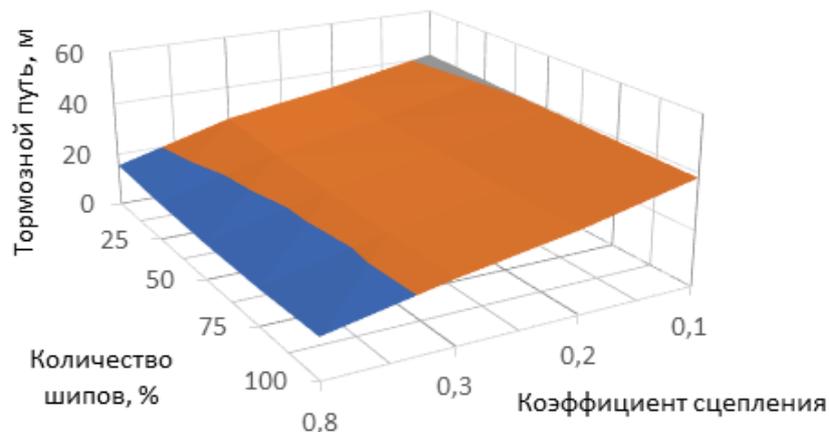


Рис. 1 – Зависимость тормозного пути от количества шипов и типа дорожного покрытия

Результаты эксперимента показали, что тормозной путь значительно увеличивается при потере шипов, особенно на снежном и ледяном дорожном покрытии. Из этого следует, что проведение своевременной диагностики и дошиповки шипованных шин позволит не только продлить срок эксплуатации шин, но и снизить вероятность возникновения ДТП

На основе полученных результатов сервисные консультанты могут предоставлять клиентам объективную информацию для взвешенного и обоснованного решения о необходимости проведения дошиповки. Однако сам подсчёт шипов ручным способом занимает достаточно много времени, на что большинство клиентов не согласны. Кроме того, работа человека требует оплаты, что увеличивает стоимость данной услуги. Решением данной проблемы может стать устройство, которое в автоматическом режиме осуществляет подсчёт шипов.

Для автоматизации процесса подсчёта шипов был разработан стенд, принцип работы которого основан на инфракрасных датчиках (рис. 2).



Рис. 2 – Макет станда для автоматизированного подсчёта шипов

После подсчёта данные обрабатываются и на монитор выводится количество шипов. Недостатком макета является то, что он не способен отличить исправный шип от сломанного. Для решения данной проблемы ведётся разработка промышленного образца с применением компьютерного зрения и нейронных сетей.

Для работы с готовым стандом оператору нужно закрепить колесо на валу, нажать на кнопку «Старт» и дождаться результата подсчёта. Вся процедура для одного колеса, включая снятие и установку, займёт около 45 секунд, при том, что вручную на это потребовалось бы не менее 3 минут.

Взаимодействие с клиентом может быть выстроено на основе алгоритма, показанного на рис. 3.



Рис. 3 – Рекомендации для клиента в зависимости от состояния шин

Таким образом, зависимости, которые были получены в результате эксперимента, указывают на то, что своевременная диагностика и обслуживание зимних шипованных шин позволяют не только продлить срок их эксплуатации, но и уменьшить вероятность возникновения ДТП.

Распространению этой услуги препятствует её стоимость и время выполнения. Для решения этой проблемы был разработан макет стенда, который определяет количество шипов при помощи индуктивных датчиков. В промышленном образце планируется внедрить компьютерное зрение и нейронные сети для повышения качества его работы. Данный стенд позволит предприятиям повысить популярность услуги подсчёта шипов.

Список литературы

1. *Конев В.В.* Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // Материалы Национальной научно-практической конференции: Нефть и газ: технологии и инновации. – 2020. – С. 194-196.
2. *Русмиленко А.К.* Определение основных технических параметров комбинированной машины для строительства автозимников [Текст] / А.К. Русмиленко, Ш.М. Мерданов // Проблемы функционирования систем транспорта. материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень – 2020. – С. 240-242.
3. *Захаров Н.С.* Моделирование процессов формирования уровня заряженности автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период [Текст] / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51). – С. 232-237.
4. *Захаров Н.С.* Определение оптимальной периодичности заряда автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период [Текст] / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков // Материалы Международной научно-технической конференции: Транспортные и транспортно-технологические системы. – 2016. – С. 134-139.
5. *Сапоженков Н.О.* Изменение температуры автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период [Текст] / Н. О. Сапоженков // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3 (37). – С. 188.

05.13.06

Л.А. Симонова д-р техн. наук, Д.Н. Демьянов канд. техн. наук, А.А. Капитонов

Набережночелнинский институт (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ДВС НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В работе описана новая методика, позволяющая оценить величину остаточного ресурса основных узлов двигателя внутреннего сгорания. Ее отличительной особенностью является использование методов нечеткой логики для формализации зависимости между величиной остаточного ресурса и значениями диагностических параметров. Применение предлагаемой методики позволяет получить достаточно точные оценки без построения сложных математических моделей процесса износа при значительных шумах и погрешностях измерения.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, остаточный ресурс, методика оценки, нечеткий логический вывод, структурная идентификация, параметрическая идентификация.

Введение. Одной из основных тенденций развития автомобильной техники в настоящее время является активное внедрение систем предиктивной диагностики, позволяющих оценивать величину остаточного ресурса (ОР) отдельных узлов или автомобиля в целом [1]. Корректное определение ОР позволяет существенно сократить расходы на техническое обслуживание и ремонт автомобильной техники, приводит к сокращению времени простоя, обеспечивает достижение высоких топливно-экономических и экологических показателей эксплуатации и т.д. [2]. При этом наиболее важной практической задачей является оценка состояния двигателя внутреннего сгорания (ДВС), так как именно его работа в первую очередь определяет эффективность функционирования автомобиля в целом.

Наиболее широкое распространение получил подход к оценке состояния, основанный на использовании функциональной зависимости между величиной ОР и пройденным автомобилем расстоянием [3]. Методики такого рода достаточно просты и удобны с точки зрения практической реализации. Однако, они имеют невысокую точность, так как не учитывают фактические условия эксплуатации автомобиля.

Достаточно большое количество научных исследований посвящено вопросу оценивания ОР по значениям диагностических параметров [4]. Этот подход позволяет обеспечить более высокую точность оценивания, однако требует построения достаточно сложных моделей износа на основе значительного объема экспериментальных данных.

Весьма перспективным направлением является использование концепции «цифровых двойников», которая предполагает создание полной компьютерной модели автомобиля и использование ее на всех этапах жизненного цикла [5]. Такой подход позволяет обеспечить наибольшую точность прогнозирования, однако требует применения специализированного и, как правило, дорогостоящего программного и аппаратного обеспечения.

Таким образом, можно считать весьма актуальной проблемой необходимость разработки новой методики для оценки величины ОР основных узлов ДВС. Такая методика должна обеспечивать достаточно высокую точность без построения сложных математических моделей и не требовать значительных ресурсов вычислительной системы в процессе использования.

Разработка методики оценки величины остаточного ресурса. Одним из способов решения указанной проблемы является применение интеллектуальных алгоритмов обработки и анализа данных. Практика показывает, что опытный эксперт в области ремонта и технического обслуживания ДВС может с достаточно высокой точностью определить по эксплуатационным показателям степень износа того или иного узла, а также оценить величину его ОР. Таким образом, обобщение и формализация знаний экспертов позволят разработать методику определения величины ОР, не требующую построения сложных математических зависимостей для описания процессов износа. Эффективность подобного подхода подтверждается успешным опытом его использования при решении задач управления и диагностики в иных отраслях [6, 7].

Весь процесс разработки подсистемы оценки величины ОР основных узлов ДВС можно разбить на 3 основных этапа: выбор диагностических параметров, структурная идентификация, параметрическая идентификация.

На первом этапе для заданного узла ДВС определяется перечень диагностических параметров – эксплуатационных показателей, изменяющих свое значение в процессе износа. Их выбор производится путем обработки знаний экспертов в области технического обслуживания и ремонта соответствующего узла ДВС. Диагностические параметры должны удовлетворять следующим критериям:

- измеримость (измерение параметра должно осуществляться штатными датчиками транспортного средства);
- динамичность (изменение параметра в процессе износа должно быть существенным и превосходить погрешности измерения и шумы);
- однозначность (изменение диагностического параметра в процессе износа должно быть монотонным);
- стабильность (значение параметра не должно существенно зависеть от текущих условий эксплуатации, а только лишь от режимов работы автомобиля и величины износа);
- взаимозависимость (параметры должны быть независимы друг от друга).

Из полученного перечня следует отобрать 3-5 параметров, которые будут использоваться в дальнейшем. Меньшее количество параметров, как правило, не позволяет получить адекватное описание процесса износа, а при большем количестве параметров получаемое описание будет слишком громоздким и неудобным для практического использования. В случае возникновения разногласий между экспертами рекомендуется использовать для отбора стандартные методы, основанные на применении матрицы парных сравнений.

Далее определяются режимы работы, на которых должно производиться измерение диагностических параметров. Рекомендуется использовать для измерения типовые статические и/или динамические режимы, в которых автомобиль находится регулярно в процессе штатной эксплуатации (холостой ход, разгон, движение с постоянной скоростью и т.д.).

На этапе структурной идентификации определяются общие закономерности функционирования разрабатываемой подсистемы оценки величины ОР. При этом определяются терм-множества для диагностических параметров и степени износа, границы всех термов, форма и характеристики функций принадлежности для всех лингвистических переменных. Затем формируется база правил, описывающих взаимосвязь между значениями диагностических параметров и степенью износа в лингвистической форме. Рекомендуется использовать при создании базы стандартные продукционные правила вида: «ЕСЛИ...И/ИЛИ...ТО...». На этом этапе рекомендуется принять веса всех правил равными единице.

Для упрощения дальнейшей настройки рекомендуется рассматривать степень износа в нормированном виде как безразмерную величину, принимающую значения от 0 до 1 (отсутствие износа и полный износ соответственно). Тогда расчетное значение величины ОР в километрах пробега или моточасах R будет связано со степенью износа P и регламентным значением ресурса рассматриваемого узла R_0 очевидным соотношением:

$$R = R_0(1 - P)$$

На этапе параметрической идентификации путем компьютерного моделирования производится изменение настроек подсистемы нечеткого логического вывода. Для этого формируется массив исходных данных для настройки, включающий в себя информацию о значениях диагностических параметров и величине износа для реальных автомобилей, а также определяется критерий, позволяющий рассчитать степень точности оценивания величины ОР. В простейшем случае таким критерием может выступать сумма квадратов отклонений расчетных и фактических данных или величина максимального отклонения.

В ходе оптимизационного компьютерного эксперимента производится изменение настроек подсистемы нечеткого логического вывода для получения оптимального значения выбранного целевого критерия. При этом могут быть изменены следующие параметры:

- параметры функций принадлежности нечетких термов (вид функции принадлежности, координаты максимума и т.д.);
- весовые коэффициенты отдельных правил.

Полученные в процессе оптимизации параметры подсистемы нечеткого логического вывода используются в дальнейшем для оценки величины ОР в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.

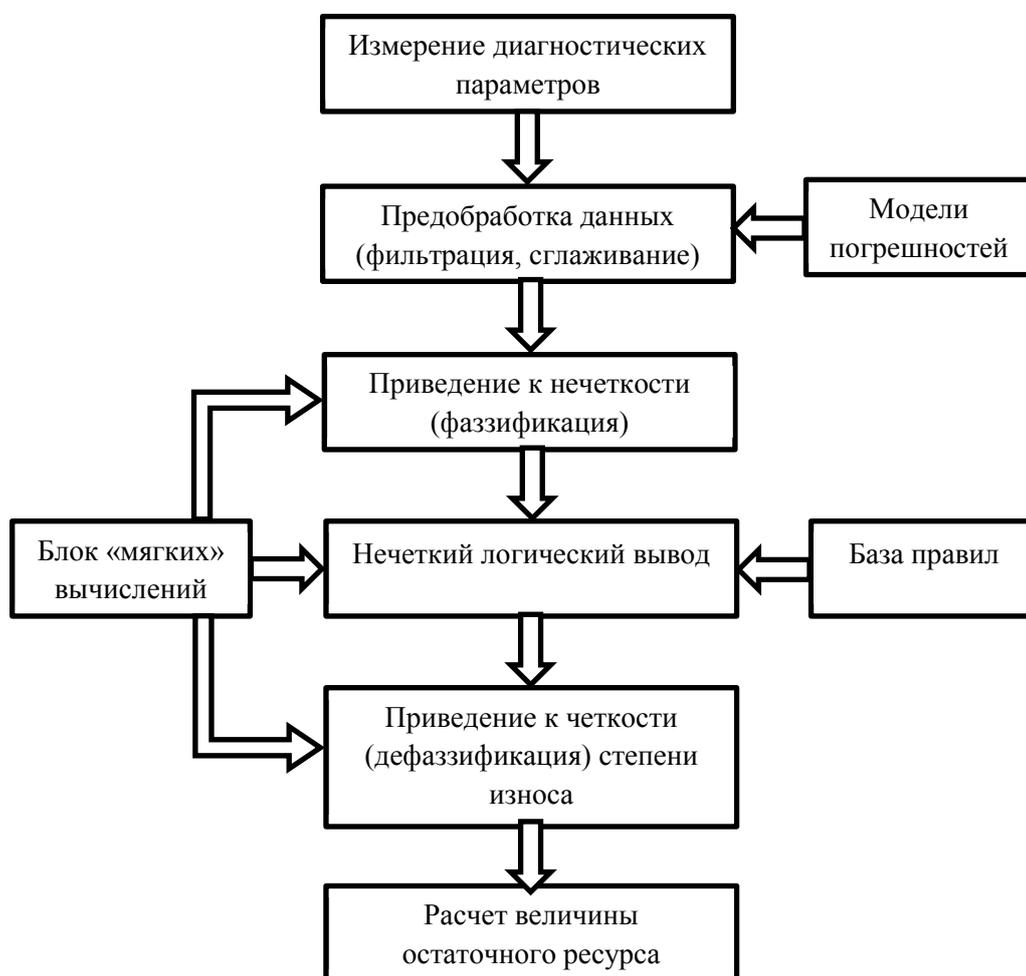


Рис. 1 – Схема оценки величины остаточного ресурса

Следует отметить, что при использовании телематических комплексов становится возможен сбор данных с автомобилей непосредственно в процессе эксплуатации. Тогда процедура параметрической идентификации может проводиться многократно по мере накопления массива данных о значениях диагностических параметров и величине ОР. Это

позволит более эффективно корректировать параметры подсистемы нечеткого логического вывода и повысить точность оценивания.

Заключение. Таким образом, в представленной работе была предложена новая методика определения величины остаточного ресурса основных узлов ДВС, основанная на применении аппарата нечеткой логики. Основным достоинством разработанной методики является то, что она основана на формализации экспертных знаний и не требует построения сложных нелинейных моделей износа. Предлагаемая методика с некоторыми модификациями может быть использована для оценки величины остаточного ресурса иных узлов и агрегатов грузового автомобиля.

Список литературы

1. Адакин Р.Д., Дмитренко В.П., Карпов Д.С., Несиоловский О.Г. Современная диагностика электронных систем контроля состояния автомобилей // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 1. С. 85-90.
2. Пестриков В.М., Евкарпиев В.Е. Особенности диагностики современных авто-транспортных средств // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2014. № 4. С. 14-19.
3. Павленко Е.А., Макаров А.М. Статистические методы диагностирования технического состояния автомобильных транспортных средств // Автомобильная промышленность. 2009. № 7. С. 29-30.
4. Баженов Ю.В., Баженов М.Ю. Исследование эксплуатационной надежности автомобильных двигателей // Надежность. 2018. Том 18. № 4. С. 22-27.
5. Бахмутов С.В., Келлер А.В. Концепция цифрового проектирования наземных транспортных средств // Актуальные вопросы машиноведения. 2019. № 8. С. 9-13.
6. Чернова М.А., Симонова Л.А., Абрамова В.В. Применение нечеткой логики в системе управления процессами в вакуумно-напылительном технологическом комплексе // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-4. С. 744-750.
7. Симонова Л.А., Гавариева К.Н. Разработка базы знаний для системы нечеткого логического вывода процесса прецизионной штамповки // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 1. С. 62-64.

05.13.06

¹С.В. Степанова, ²В.П. Друзьянова, ³О.М. Осмонов, ⁴Л.А. Аммосова, ⁴Л.Х. Абрамова

¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com,

²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
автодорожный факультет,
Якутск, druzvar@mail.ru

³Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева,
Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина
Москва, oosmonov@rgau-msha.ru,

⁴2 Мальжагарская СОШ им. М. Е. Васильевой,
Якутск, 2maljsch@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЕПЛИЧНО-ПАРНИКОВОГО ХОЗЯЙСТВА

Об эффективности теплиц можно судить, если известны графические зависимости необходимой и избыточной тепловой мощности по месяцам года. Метод математического моделирования основан на изучении явления в моделях, отличающихся по своей физической природе от оригинала, но описываемых идентичными математическими соотношениями. В статье описывается система объекта управления температурным режимом теплицы. Описан характер изменения температурного поля в зависимости от уровня солнечной радиации, температуры наружного воздуха, скорости ветра, относительной влажности воздуха и температуры поверхности почвы в ней, расхода теплоносителя в регистрах обогрева воздуха, конструктивных особенностей системы отопления и факторов.

Ключевые слова: *микроклимат теплицы, автоматизация производственных процессов.*

В обогреваемых теплицах чаще всего стремятся повысить их энергетическую экономичность как средствами автоматизации, так и изменением конструкции. При этом теплицу рассматривают как объект с сосредоточенными параметрами теплового состояния, средними по объему и площади ограждения. В этом случае не следует использовать детализованные теплофизические модели. Опыт эксплуатации теплиц показывает, что выращивание растений на искусственных средах позволяет существенно повысить урожай овощей при сокращении вегетативного периода, снизить затраты труда по уходу за растениями, полностью исключить такие трудоемкие операции, как обработка и замена грунта в теплицах, а также значительно упростить процесс дезинфекции субстрата. Основными операциями, подлежащими автоматизации при выращивании овощей на искусственных средах, являются периодическая подача питательного раствора в рабочие стеллажи и отвод его в накопительный резервуар, а также подпитка раствора водой с периодическим или постоянным добавлением соответствующих солей. Необходимость в дополнительной подпитке раствора вызывается частичным поглощением его при прохождении через минеральный субстрат. Чтобы текущая температура воздуха не превышала допустимую агротехническими требованиями, зимние блочные теплицы оснащают системами автоматического регулирования параметров микроклимата. Однако опыт эксплуатации показал, что такие системы не позволяют добиться высокого качества формирования температуры воздуха в установившемся и переходном режимах. Это объясняется тем, что динамические свойства и параметры теплицы, а также возмущающие воздействия изменяются в широких пределах и носят случайный характер [1-5].

В таблице 1 приведена техническая характеристика контролируемых параметров микроклимата теплицы.

Таблица 1 – Техническая характеристика контролируемых параметров микроклимата теплицы

№п/п	Контролируемые параметры (температура воздуха)	Значения
1	Относительная влажность воздуха	От 30 до 98%
2	Влажность почвы	От 40 до 95 НВ
3	Освещенность	От 0 до 100клк

Максимальное отклонение температуры воздуха в теплице в процессе эксперимента $\pm 0,7$ °С. В таблице приведены сравнительные показатели качества формирования температуры воздуха в земной блочной теплице с устройством комбинированного регулирования и системой автоматики. Устройство комбинированного регулирования температуры воздуха в зимней блочной теплице с водяным отоплением по качественным показателям работы существенно отличается от САУ, работающих по принципу компенсации отклонений.

Дальнейшее совершенствование устройства формирования температуры воздуха в зимних блочных теплицах с водяным отоплением связано с расширением его функциональных возможностей.

Математическая модель процесса тепловлагоденоса в субстрате и элементах таких стеллажей имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial T_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 T_1(x, \tau)}{\partial x_1^2} + \varepsilon_1 \frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau}, \quad \tau > 0; \\ \frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x_1^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 T_1(x, \tau)}{\partial x_1^2}, \\ b_0 < x_1 < b_1; \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 T_2(x, \tau)}{\partial x_2^2} + \frac{a_2 q_0(x, \tau)}{\lambda_2}, \quad \tau > 0, \quad b_1 < x_2 < b_2; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_3(x, \tau)}{\partial \tau} = a_3 \frac{\partial^2 T_3(x, \tau)}{\partial x_3^2}, \quad \tau > 0, \quad b_2 < x_3 < b_3; \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_4(x, \tau)}{\partial \tau} = a_4 \frac{\partial^2 T_4(x, \tau)}{\partial x_4^2}, \quad \tau > 0, \quad b_3 < x_4 < b_4; \quad (5)$$

при начальных условиях:

$$T_i(x, 0) = T_0(x); \quad U(x, 0) = U_0(x), \quad (6)$$

где $T_i(x, \tau)$ – температура элементов конструкции стеллажной теплицы;

$i = 1, 2, 3, 4$ – слой субстрата, электронагревательный элемент, железобетонное основание и теплоизоляция; $U(x, \tau)$ – влагосодержание субстрата, кг в 1 кг материала; τ – время, с; x – пространственная координата, м; a_i – коэффициенты температуропроводности элементов стеллажа, m^2/c ; ε_1 – коэффициент, учитывающий фазовые превращения; δ – термоградиентный коэффициент; $q_0(\tau)$ – плотность источника внутренних тепловыделений, $Вт/м^3$; λ_i – коэффициенты теплопроводности элементов стеллажа; b_i – толщина элементов стеллажа, м; a_m – коэффициент диффузии влаги. Помимо алгоритма управления с помощью ПК программируются прием информации от внешних датчиков, управление выходами на исполнительные устройства, формирование задержек времени, связь с вычислительным комплексом старшего уровня через модуль последовательной передачи данных. Кроме того, он обеспечивает запись программы и исходных данных у клавиатуры пульта управления и через модуль последовательной передачи данных с внешними устройствами. На рис. 1 в качестве показано распределение влагосодержания в слое субстрата при двухпозиционном законе регулирования увлажнением.

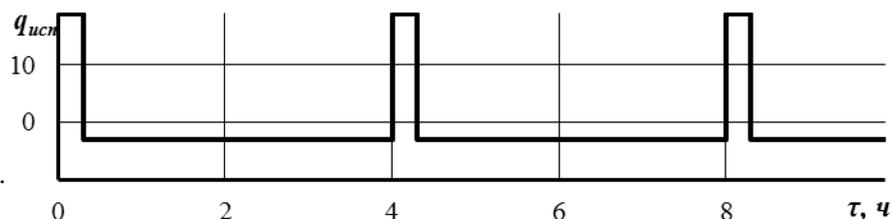


Рис. 1 – Распределение влагосодержания в центре слоя субстрата (1)

и на расстоянии 5-6 см от поверхности (2) (поливают в течение 10 мин через 5 ч.

Для улучшения теплового режима теплиц нужно учитывать зависимость необходимой и избыточной мощности от погодных-климатических условий местности. Отсутствие достаточно обоснованных математических моделей обогреваемых теплиц сдерживает их разработку и совершенствование. Дополнительные сложности возникают из-за того, что требования предъявляемые к моделям, нередко не соответствуют поставленной цели наследования или не отражают условий ее использования.

Список литературы

1. *Кокиева Г.Е.* Исследование физических процессов в оборудовании по модулю "Фиксированные нелинейные модели" // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2018. № 6. с. 121-123.
2. *Кокиева Г.Е., Елтунова И.Б., Рабданова В.В.* Математическое компьютерное моделирование конструктивно-режимных и технологических параметров установки // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2018. № 4. с. 112-117.
3. *Корякин А.К., Кокиева Г.Е., Ноев Д.М.* Реализация метода технико-экономического сравнения вариантов энергосберегающих технологий // *Агрэкоинфо*. 2019. № 2 (36). с. 37.
4. *Шуханов С.Н.* Механическая работа в селекционных теплицах // *Картофель и овощи*. - 1984. - № 4. - С. 26-27.
5. *Шуханов С.Н., Кузьмин Б.С.* Механизация трудносыпучих процессов в селекционных теплицах // *Пути интенсификации карто-фелеводства, плодоводства и овощеводства : тез. докл. науч.-практ. конф.* - Минск, 1981. - Ч. 2. - С. 120-122..

05.13.06

¹Ш.Т. Юсупов, ²В.П. Друзьянова, ³О.М. Осмонов, ⁴З.А. Васильева, ⁴А.Ю. Никифорова

¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com,

²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
автодорожный факультет,
Якутск, druzvar@mail.ru,

³Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева,
Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина,
Москва, oosmonov@rgau-msha.ru,

⁴2 Мальжагарская СОШ им. М. Е. Васильевой,
Якутск, 2maljsch@mail.ru

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Практика массового внедрения типовой технологии и нормативов подтвердила их высокую эффективность. Экономическую целесообразность восстановления деталей принято оценивать путём сопоставления стоимости новой детали и затрат на ремонт изношенной. Но при этом не учитываются разность в сроках службы новой и восстановленной детали и связанные с этим дополнительные затраты. В статье описывается инженерное обеспечение агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, восстановление деталей, оптимизация уровня механизации.

Качество ремонта машин и их двигателей оценивают, используя как объективные, так и субъективные методы. Цель испытания состоит в том, чтобы по результатам наблюдений за некоторым числом случайно отобранных объектов получить максимум полезной информации о надежности и долговечности всех машин, на основе которой можно было бы сделать выводы о средних сроках нормальной работы техники и о вероятности выхода ее из строя в тот или иной момент времени. В таблице 1 приведены характеристики по которым оценивается обслуживание

Таблица 1 – Характеристики оценивания обслуживания

№п/п	Характеристики
1	Коэффициент простев машин на обслуживании и в его ожидании
2	Коэффициент загрузки средств технического обслуживания
3	Вероятность того, что потребовавшая технического обслуживания машина будет обслужена не позднее чем через заданный промежуток времени
4	Вероятность наличия в хозяйстве из общего числа машин на ходу

Целевая функция, реализующая стохастический вариант технико-экономического критерия, имеет вид:

$$G(D, t_M) = \min_{\Pi_H < D < \Pi_P \leq t_M} \{ [AQ(D, t_M) + C[1 - Q(D, t_M)] + BK_{\Pi}(D, t_M) + S(D, t_M)] / [T_{\Phi}(D, t_M)] \}, \quad (1)$$

где $G(D, t_M)$ – удельные эксплуатационные издержки в зависимости от допускаемого значения параметра D , периодичности проверки t_M ; A , C , B – издержки на устранение последствий отказа, плановое восстановление, диагностирование; K_{Π} – среднее число проверок за период эксплуатации элемента; S – непрерывные издержки, обусловленные изменением технико-экономических показателей работы дизеля по мере изменения параметра; Q – вероятность отказа за период эксплуатации элемента; T_{Φ} – фактически используемый ресурс элемента; Π_H , Π_P – номинальное, предельное значения параметра [4,5].

Выражение (1), однако, не предполагает наличие в эксплуатации элементов с запредельными значениями параметров. В качестве количественной характеристики этого явления предлагается ввести показатель «вероятность обнаружения отказа», представляющий собой отношение числа выявленных отказов к общему числу отказавших в межконтрольный период элементов:

$$Q_{об} = n_B / (n_B + m), \quad (2)$$

где n_B – среднее число восстановлений исходного значения параметра в межконтрольном периоде; m – среднее число параметров, превысивших в момент контроля предельное значение более чем на 10%. Вероятность одновременного наступления двух случайных событий (первое – отказ наступил, второе – он обнаружен) определяет вероятность устранения последствий отказа:

$$Q_y = Q \cdot Q_{об} + K_{Q \cdot Q_{об}}, \quad (3)$$

где $K_{Q \cdot Q_{об}}$ – корреляционный момент.

Очевидно, что фактически используемый ресурс T_Φ выражения (1) также не совпадает с наработкой до момента реального восстановления, поскольку они отличаются на значение наработки элемента, эксплуатирующегося с запредельным значением параметра. Если в выражении (1) они определялись по формуле :

$$S = aU'_A, \quad (4)$$

где a – коэффициент, связывающий приращение непрерывных издержек (потери от падения мощности двигателя, перерасхода топлива, масла и др.) при изменении параметра от номинального до предельного значения; U'_A – интегральное изменение совокупности одноименных параметров до предельного значения, то при условии, что значение параметра в эксплуатации может превосходить предельное, формула для определения непрерывных издержек примет вид:

$$S = cU'_B + (a - c)U'_A \frac{T_\Phi}{T_B}, \quad (5)$$

где c – коэффициент, связывающий приращение непрерывных издержек при изменении параметра за предельное значение; U'_B – интегральное изменение совокупности одноименных параметров до значения, соответствующего реальному восстановлению. Характеристику надежности машины определяем по формуле:

$$\lambda_M(t) = \sum_{i=1}^{i=s} \lambda_i(t) + \sum_{j=1}^{j=z} \xi_j(t), \quad (6)$$

где $\lambda_i(t)$ и $\xi_j(t)$ – опасность отказов соответственно конструктивных и неконструктивных элементов. Но неконструктивные элементы (смазка, окраска и др.) влияют на условия работы и эксплуатации конструктивных элементов и, следовательно, $\lambda_i(t)$ есть функция от $\xi_j(t)$. Таким образом, введение параметров $\lambda_i(t)$ и $\xi_j(t)$ не является оправданным, так как невозможно получить численных значений раздельно для $\lambda_i(t)$ и $\xi_j(t)$ и дать, основываясь на них, расчет или оценку надежности машины.

Предлагаемая для суммирования опасности отказов формула [1-3]:

$$\sum_{t=0}^{t=T} \lambda_M(t) \cdot \Delta t = \sum_{t=0}^{t=T} \left[\sum_{i=1}^{i=s} \lambda_i(t) + \sum_{j=1}^{j=z} \xi_j(t) \right] \Delta t \quad (7)$$

В таком виде теряет даже принятый ранее по формуле (1) смысл для $\lambda(t)$, так как в каждом частном случае при подсчете $\lambda_M(t)$, $\lambda_i(t)$ и $\xi_j(t)$ их следует умножить на отрезок времени Δt . При этом:

$$\lambda_i(t) \cdot \Delta t = \frac{h(t)}{H(t) \cdot \Delta t} \Delta t = \frac{h(t)}{H(t)}. \quad (8)$$

Конечным результатом разнообразных исследований по износам машин является определение закономерностей нарастания износа и установления срока их службы. К тому же в период, когда машина не работает, продолжает расти износ, происходящий в процессе хранения.

Список литературы

1. Кокиева Г.Е., Герасимова Г.А., Гоголева И.В. Производственные факторы интенсификации процесса микробного синтеза в автоматизированной ферментационной установке // Г. Е. Кокиева, Г.А. Герасимова Г.А., И.В. Гоголева// Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 9. – С. 42-44
2. Кокиева Г.Е., Соколов Д.А. Расчет экономического обоснования технологического оборудования. Сб. материалов научно-практической конференции "Ларионовские чтения", 2019.с.1-188
3. Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission SB: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32007
4. Шуханов С.Н. Интерпретация качественных показателей функционирования двигателя узам-331.10 при работе на газообразном топливе // Известия Международной академии аграрного образования. - 2020. - № 51. - С. 32-36.
5. Шуханов С.Н., Кузьмин, А.В., Маломыжев О. Л. Совершенствование технического сервиса элементов подвески транспорта АПК // Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе : материалы Всероссийской науч.-практ. конф. - Чебоксары, 2018. - С. 280-285

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

05.13.11

О.В. Бен, Ю.П. Москалева, З.С. Сейдаметова

ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
факультет экономики, менеджмента и информационных технологий,
кафедра прикладной информатики,
Симферополь, ben.oleg.i.1.17@gmail.com, yulmosk@gmail.com, z.seydametova@gmail.com

**РЕАЛИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯ
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

Рассмотрены теоретические и практические аспекты, связанные с реализацией базы данных приложения для организации и проведения онлайн-мероприятий (конференций). Представлена реализация таблиц в Python Django с помощью классов, который наследуемых от класса Model. Описана настройка сервера под работу в REST API формате через библиотеку `django_rest_framework` и классы-сериализаторы.

Ключевые слова: *iOS, Swift, Python Django, MVVM.*

Глобальная пандемия COVID-19 потребовало от организаций изменения бизнес-процессов, сотрудники должны были перейти на удаленный формат работы. В результате резко вырос спрос на видеоконференцсвязь, использование приложений для организации виртуальных встреч.

Авторы статей [1], [2], [3] обсуждают вопросы, связанные с организацией и проведением виртуальных собраний, встреч, различных мероприятий. В статье [4] представлен анализ сервисов, ориентированных на видеосвязь и организацию видеоконференций. В работе [5] представлен программный продукт для организации мероприятий в формате видеосвязи.

Цель статьи – представить структуру базы данных приложения для организации и проведения онлайн-мероприятий (конференций).

Программный продукт содержит клиентскую и серверную части. Серверная часть приложения реализована в Python Django. На рисунке 1 изображена схема базы данных приложения, а также показаны связи между таблицами. Таблица Presentation имеет связь с таблицей Event, в соотношении как один ко многим, так как одно событие может хранить несколько докладов или презентаций, но все эти доклады могут проходить только в течении одного события. Таблица Speaker имеет связь один ко многим с таблицей Presentation, так как к одному докладу может быть привязано несколько докладчиков.

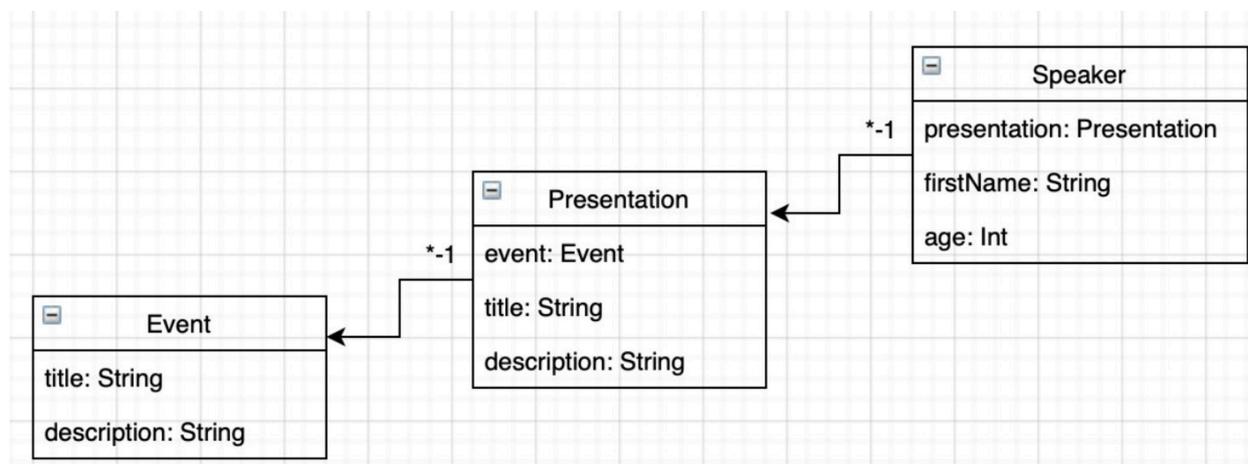


Рис. 1 – Схема таблиц БД

Для реализации таблиц в Python Django используется класс, который наследуется от класса Model. Этот класс становится отдельной моделью, служащей основой для создания таблицы, все параметры в нем будут становиться строками таблицы. В Листинге 1 приведен пример создания такой модели на примере класса Presentation. Метод models.ForeignKey указывает на ссылку к модели Event, и настройку этой связи. Метод models.CharField описывает поле, позволяющее хранить небольшой текст, в отличие от поля models.TextField, оно позволяет хранить большое количество текста. Описание поля в параметре start_date разрешает хранить в нем дату выступления.

Листинг 1. Модель Presentation, для создания таблицы в БД

```
class Presentation(models.Model):
    event = models.ForeignKey(Event,
                              on_delete=models.CASCADE,
                              related_name='presentations',
                              related_query_name='presentation')
    title = models.CharField('Название доклада', max_length=200)
    description = models.TextField('Описание доклада')
    image = models.TextField('Логотип доклада')
    start_date = models.DateTimeField('Дата выступления')
```

Для импортирования этого кода в БД необходимо сделать миграцию. При миграции создаются специальные файлы, в которых хранится SQL код, автоматически сгенерированный по моделям, которые были созданы выше. Поэтому при изменении моделей необходимо повторно использовать миграцию для обновления SQL кода.

Для быстрой настройки сервера под работу в REST API формате, можно подключить библиотеку django_rest_framework, которая уже имеет все необходимые настройки. После добавления библиотеки, нужно создать классы сериализаторы, которые служат прослойкой между базой данных и клиентской частью, так как они достают данные из БД и преобразуют их в JSON формат. На примере классов PresentationReadSerializer (Листинг 2) и PresentationWriteSerializer (Листинг 3), рассмотрены основные возможности сериализаторов.

Класс PresentationReadSerializer является сериализатором позволяющим считывать данные, для того чтобы объяснить классу что он является сериализатором наследуются от класса ModelSerializer. После этого необходимо обязательно переопределить класс Meta, в котором хранится информация, в нем указывается модель (Листинг 1), благодаря которой будет известно ее содержимое в базе и поля, которые хотим отправить в ответ на запрос.

Листинг 2. Сериализатор PresentationReadSerializer для считывания

```
class PresentationReadSerializer(serializers.ModelSerializer):
    class Meta:
        model = Presentation
        fields = ['id', 'event', 'title', 'description', 'image', 'start_date', 'speakers']
```

Класс PresentationWriteSerializer (Листинг 3) используется для записи данных в БД и наследуется от класса ModelSerializer, но в отличие от него он переопределяет дополнительные методы create и update. Метод create прослушивает только POST запросы, а update – PUT запросы. В параметре validated_data передаются данные из формы для заполнения таблицы.

Листинг 3. Сериализатор PresentationWriteSerializer для записи данных

```
class PresentationWriteSerializer(serializers.ModelSerializer):
    def create(self, validated_data):
        presentation = Presentation.objects.create(
            event=validated_data['event'],
            title=validated_data['title'],
            description=validated_data['description'],
            image=validated_data['image'],
            start_date=validated_data['start_date'],
```

```
)  
    return presentation  
def update(self, instance, validated_data):  
    instance.title = validated_data['title']  
    instance.description = validated_data['description']  
    instance.image = validated_data['image']  
    instance.start_date = validated_data['start_date']  
    instance.save()  
    return instance  
class Meta:  
    model = Presentation  
    fields = ['id', 'event', 'title', 'description', 'image', 'start_date', 'speakers']
```

Важным классом, принимающим участие в прослойке между сериализаторами и приложением являются классы `ViewSets`, с помощью которого и происходит отправка данных в формате JSON. В Листинге 4 показан класс `PresentationViewSet`, с помощью которого происходит отправка данных, связанных с таблицей, хранящей информацию о докладах. В параметр `queryset` переносим все записи из таблицы `Presentation`. С помощью параметра `permission_classes` настраивается доступность. В `serializer_class` присваивается класс сериализатор для чтения или записи, с помощью метода `@action(methods=['get'], ...)` можно определить какой запрос приходит в данный `ViewSet`.

Листинг 4. Класс `ViewSet` – `PresentationViewSet`

```
class PresentationViewSet(viewsets.ModelViewSet):  
    queryset = Presentation.objects.all()  
    permission_classes = [permissions.IsAuthenticated]  
    serializer_class = PresentationWriteSerializer  
    @action(methods=['get'], detail=True, permission_classes = [permissions.IsAuthenticated])  
    def getSerializer(self):  
        self.serializer_class = PresentationReadSerializer
```

Для того чтобы можно было обратиться к `ViewSets`, необходимо привязать их к ссылкам, которые они по запросу будут обрабатывать. После регистрации ссылок в роутере и привязки к ним `ViewSets` при попытке клиента обратиться на зарегистрированную ссылку отработает класс `ViewSets`; он вызовет необходимый класс сериализатора, который подготовит данные в виде JSON файла и вернет его клиенту. Кроме зарегистрированных ссылок, есть и стандартные, позволяющие получить доступ к администрации сервера, в которой можно редактировать, создавать и удалять данные в БД. Учитывая требования к приложению, наиболее подходящей архитектурой является архитектура `MVVM`, поскольку бизнес-логика приложения будет доступна для масштабирования, изменений и переиспользования `ViewModel` для других платформ.

Список литературы

1. *Davis R.K., Chunta K.S., Gerwick M.* Virtual meetings: reflecting on lessons learned from the past year to create a systematic approach to more effective meetings // *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 52(9), 2021. – P.423-428.
2. *Buengeler C., Klonek F., Lehmann-Willenbrock N., Morency L.P., Poppe R.* Killer apps: Developing novel applications that enhance team coordination, communication, and effectiveness // *Small group research*, 48(5), 2017. – P. 591-620.
3. *Leppilampi A.* Developing the effectiveness and cooperation of virtual meetings: case: International Deus Project. 2020. URL: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202101041011>
4. *Давыдова Т.Е.* От «ВКонтакте» до Coursera: цифровые сервисы в образовательной системе современного университета // *Теоретические и практические аспекты педагогики*. – Чебоксары: ИД «Среда», 2020. – С. 51-60.
5. *Абдураманов З.Ш., Сейдаметова З.С., Сейдаметов Г.С.* Сервис для проведения онлайн конференций `webconf`. Свид-во о регистрации программы для ЭВМ 2020665116, 23.11.2020.

05.13.11

С.С. Емельянова, Н.Н. ИващенкоСаровский физико-технический институт,
Национального исследовательского ядерного университета МИФИ,**ИССЛЕДОВАНИЕ DOCKER
В ЧАСТИ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ НА УРОВНЕ ОС**

В данной работе рассматриваются вопросы использования контейнеров для удобства использования приложений вне зависимости ОС. Детально рассматривается программное обеспечение Docker, его характеристики, возможности, преимущества. Также рассматривается архитектура ПО Docker и процесс работы данного ПО. Кроме того, приводятся несколько примеров использования ПО Docker в крупных производственных системах.

Ключевые слова: *контейнеризация, виртуализация, docker, контейнер.*

Термин виртуализация крайне плотно засел в нашу жизнь. Любое производство в какой-то мере использует такие вещи как виртуальная инфраструктура, виртуальные машины, хосты виртуализации, гипервизор. Всё это основано на аппаратной виртуализации, с помощью которой возможно использование изолированных гостевых систем.

Хорошей альтернативой аппаратной виртуализации является контейнеризация.

Контейнеризация позволяет существенно экономить ресурсы за счет того, что все процессы в ней протекают на уровне операционной системы, кроме того, это увеличивает эффективность работы с приложениями. Одним из наиболее популярных инструментов для программной виртуализации является Docker (разработан в 2013г.). Docker – автоматизированное средство управления виртуальными контейнерами (Контейнер – элемент интерфейса, который может содержать в себе другие элементы).

Docker (Докер) – программное обеспечение с открытым исходным кодом, применяемое для разработки, тестирования, доставки и запуска веб-приложений в средах с поддержкой контейнеризации. Docker решает множество задач, связанных с созданием контейнеров, размещением в них приложений, управлением процессами, а также тестированием ПО и его отдельных компонент.

Основной принцип работы Docker — контейнеризация приложений [1]. Этот тип виртуализации позволяет упаковывать программное обеспечение по изолированным средам — контейнерам. Каждый из этих виртуальных блоков содержит все нужные элементы для работы приложения. Это дает возможность одновременного запуска большого количества контейнеров на одном хосте.

Использование технологии Docker имеет следующие преимущества [2]:

1. Минимальное потребление ресурсов — контейнеры не виртуализируют всю операционную систему (ОС), а используют ядро хоста и изолируют программу на уровне процесса. Данный процесс потребляет намного меньше ресурсов локального компьютера, чем виртуальная машина.

2. Скоростное развертывание — вспомогательные компоненты можно не устанавливать, а использовать уже готовые docker-образы (шаблоны). Например, не имеет смысла постоянно устанавливать и настраивать ОС Linux Ubuntu. Достаточно 1 раз ее инсталлировать, создать образ и постоянно использовать, лишь обновляя версию при необходимости.

3. Удобное скрывание процессов — для каждого контейнера можно использовать разные методы обработки данных, скрывая фоновые процессы.

4. Работа с небезопасным кодом — технология изоляции контейнеров позволяет запускать любой код без вреда для ОС.

5. Простое масштабирование — любой проект можно расширить, внедрив новые контейнеры.

6. Удобный запуск — приложение, находящееся внутри контейнера, можно запустить на любом docker-хосте.

7. Оптимизация файловой системы — образ состоит из слоев, которые позволяют очень эффективно использовать файловую систему.

Программное обеспечение Docker содержит в себе следующие компоненты (рисунок 1) [2]:

1. Docker-демон (Docker-daemon) — сервер контейнеров, входящий в состав программных средств Docker. Демон управляет Docker-объектами (сети, хранилища, образы и контейнеры). Демон также может связываться с другими демонами для управления сервисами Docker.

2. Docker-клиент (Docker-client / CLI) — интерфейс взаимодействия пользователя с Docker-демоном. Клиент и Демон — важнейшие компоненты «движка» Докера (Docker Engine). Клиент Docker может взаимодействовать с несколькими демонами.

3. Docker-образ (Docker-image) — файл, включающий зависимости, сведения, конфигурацию для дальнейшего развертывания и инициализации контейнера.

4. Docker-файл (Docker-file) — описание правил по сборке образа, в котором первая строка указывает на базовый образ. Последующие команды выполняют копирование файлов и установку программ для создания определенной среды для разработки.

5. Docker-контейнер (Docker-container) — это легкий, автономный исполняемый пакет программного обеспечения, который включает в себя все необходимое для запуска приложения: код, среду выполнения, системные инструменты, системные библиотеки и настройки.

6. Том (Volume) — эмуляция файловой системы для осуществления операций чтения и записи. Она создается автоматически с контейнером, поскольку некоторые приложения осуществляют сохранение данных.

7. Реестр (Docker-registry) — зарезервированный сервер, используемый для хранения docker-образов. Примеры реестров:

- Центр Docker — реестр, используемый для загрузки docker-image. Он обеспечивает их размещение и интеграцию с GitHub и Bitbucket.

- Контейнеры Azure — предназначены для работы с образами и их компонентами в директории Azure (Azure Active Directory).

- Доверенный реестр Docker или DTR — служба docker-реестра для инсталляции на локальном компьютере или сети компании.

Кроме того, присутствуют еще такие обязательные элементы, как:

- Docker-hub (хранилище данных) – репозиторий, который предназначен для хранения образов с различным ПО.

- Docker-host – аппаратная среда для запуска контейнеров с ПО.

Docker-networks – сети, применяемые для организации сетевого взаимодействия между приложениями, развернутыми в контейнерах.

На рисунке 1 представлена схема взаимосвязи компонент Docker.

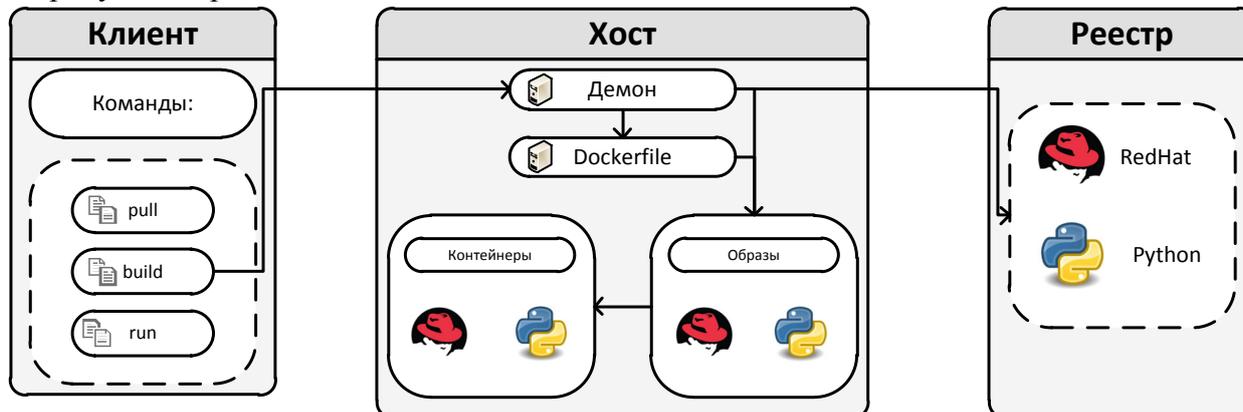


Рис. 1 – Архитектура Docker

Docker работает по архитектуре клиент-сервер. Docker клиент общается с демоном Docker, который создает, запускает и распределяет контейнеры. Оба, клиент и сервер могут работать на одной системе, можно подключить клиент к удаленному демону docker. Клиент и сервер общаются через сокет или через RESTful API (RESTful API – архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределённого положения в сети) [3].

Схема работы (архитектура Docker) представлена на рисунке 1.

Описание схемы:

1. Пользователь отдает команду с помощью клиентского интерфейса Docker-демон, развернутому на Docker-хосте. Взаимодействие между клиентом и демоном обеспечивает REST API.

2. Исходя из команды, заданной клиентом, демон выполняет различные операции с образами на основе инструкций, прописанных в файле Dockerfile.

3. Работа образа в контейнере. Docker-image — шаблон (read-only) с набором инструкций, предназначенных для создания контейнера. Он состоит из слоев, которые Docker комбинирует в один образ при помощи вспомогательной файловой системы UnionFS. Параметры образа определяются в Docker-file. Для многократного использования образов используется реестр образов, который позволяет скачивать готовые образы с внешнего репозитория и хранить их в реестре Docker-хоста. Скачиваться будут только нужные слои. Например, разработчик решил доработать ПО и модифицировать образ, изменив несколько файлов. После загрузки на сервер будут отправлены слои, содержащие контрольные группы.

Для управления несколькими контейнерами, из которых состоит проект, используют пакетный менеджер — Docker Compose.

Он применяется не всегда. Если проект является простым приложением, не требующим использования сторонних сервисов, то для его развертывания можно ограничиться только Docker. В то время как Docker Compose используется при проектировании сложных программных продуктов, включающих в себя множество процессов и сервисов.

При преобразовании хостов в кластер используется утилита кластеризации Docker Swarm.

Некоторые возможности утилиты:

1. **Управление нагрузочными характеристиками** — осуществляется оптимизация рассылки запросов между хостами, обеспечивая на них равномерную нагрузку.

2. **Динамическое управление** — допускается добавление элементов в swarm-кластер без дальнейшего его перезапуска.

3. **Возможность масштабирования** — позволяет добавлять или удалять docker-образ для автоматического создания контейнера.

4. **Восстановление «узла» после сбоя** — работоспособность каждого хоста постоянно контролируется управляющим «узлом». При сбое кластера происходит его восстановление и перезапуск.

5. **Rolling-update** — выполняет обновление контейнеров. Процедура может выполняться в определенной последовательности и с временной задержкой для запуска другого контейнера. Параметр указывается в настройках. Если произойдет сбой обновления, то Docker Swarm выдаст ошибку и процесс повторится заново.

Такие хорошо известные продукты как Red Hat, Fedora уже включили поддержку Docker с 2014 года. Кроме того, поддержка Docker-контейнеров включена в среду Google Compute Engine и в среду управления фреймворка распределенных приложений Hadoop.

Список литературы

1. <https://etherhalhost.net> – «Что такое Docker», 2021г.;
2. <https://tproger.ru> – «Основные инструкции Docker», 2019г.;
3. <https://badcode.ru> – «Docker. Тьюриал.», 2019г.

05.13.11

А.И. Кононова, А.В. Городилов, А.В. Гаращенко

НИУ «Московский институт электронной техники»,
Институт системной и программной инженерии и информационных технологий (СПИНТех),
Москва, illinc@bk.ru

УСКОРЕНИЕ РАСЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ OPENMP

В статье рассматриваются различные варианты графовой модели роста сети, позволяющие оценить тенденции изменения структуры сети и, соответственно, её характеристик. Описаны используемые структуры данных и алгоритмы. Показан принцип ускорения работы алгоритмов на основе OpenMP.

Ключевые слова: *графы, рост сети, C++, OpenMP, имитационное моделирование.*

В настоящее время невозможно представить себе компьютер в отрыве от сети — локальной или глобальной. При этом суммарный объём передаваемых по сети данных постоянно растёт; так что ни один централизованный сервер и ни один магистральный канал не выдержали бы подобной нагрузки.

Это приводит к тому, что всё большую популярность приобретают пиринговые (одноранговые) сети, где нагрузка распределяется между узлами сети, участвующими в информационном обмене. Это не только файлообменные сети, построенные по протоколу BitTorrent, но и все современные системы передачи мультимедийных данных — передача видео и звука, организация конференций, в том числе для дистанционного обучения.

Организация и настройка подобного протокола передачи данных невозможна без чёткого представления о структуре сети, её характеристиках. При этом структура каждой локальной или глобальной сети уникальна; более того, исследования показывают, что даже одна и та же достаточно крупная сеть в разные моменты времени имеет различающуюся в деталях структуру, то есть постоянно перестраивается.

Соответственно, необходима математическая модель сети, позволяющая рассмотреть ключевые свойства крупных растущих сетей и абстрагироваться от тех свойств, которые уникальны для каждой конкретной сети.

Случайно порождённые графы. Для представления изменения количества и структуры связей сети необходима модель, хранящая все связи EG между узлами и, соответственно, сами узлы VG . Для этого естественно использование моделей в виде графов [1]. В простейшем случае модель сети представляет собой невзвешенный неориентированный граф; при необходимости учёта характеристик отдельно взятых узлов и каналов можно усложнить модель, добавив веса вершин и рёбер.

Граф, представляющий работоспособную единую сеть — всегда связан. Для сетевого уровня модели TCP/IP граф будет деревом, так как на этом уровне невозможны петли.

При этом процесс роста сети и соединения её узлов связями для любой достаточно крупной сети:

- не одномоментен и растянут во времени;
- не полностью детерминирован.

Соответственно, и графовая модель сети должна выращиваться постепенно, включая случайные факторы. В некоторых источниках [2] любые подобные модели называют случайными графами. Тем не менее, некоторых источниках термин «случайные графы» относят только к одной модели, предложенной Эрдёшем и Реньи [3]. Чтобы избежать путаницы, назовём графы, строящиеся по некоторым принципам, включающим случайный фактор, случайно порождёнными. Наиболее известной моделью случайно порождённых графов является модель Барабаши—Альберт [4], порождаемая путём последовательного присоединения вершин, причём каждая новая вершина соединяется связями с $m \geq 1$

существующих вершин, а вероятность p_i создания связи новой вершины с вершиной $i \in VG$ пропорциональна количеству ν_i уже связанных с i вершин:

$$p_i = \frac{|\nu_i|}{\sum_{j=1}^n |\nu_j|}. \tag{1}$$

Выращенный по модели Барабаша—Альберт граф гарантированно связный; причём при $m=1$ он будет связным деревом.

Часто именно модель Барабаша—Альберт используется для описания сетей различной природы. Но всегда ли она описывает их корректно?

Распределение длин путей (РДП). Структура любого графа, как случайно, так и регулярно порождённого, может характеризоваться множеством величин. Одной из них будет *длина пути* $s(\alpha, \beta)$ между двумя различными вершинами α и β . Для невзвешенного графа $s(\alpha, \beta)$ — количество рёбер, составляющий кратчайший (а в дереве — и единственный) путь между вершинами α и β . Рассматривая все возможные пары $\alpha, \beta \in VG$, получим множество длин. Сопоставляя каждой возможной длине $x \geq 1$ количество путей, где $x=s(\alpha, \beta)$, получим *распределение длин путей* (РДП).

Для глобальной сети была проведена серия экспериментов по оцениванию РДП сетевого уровня при помощи команды traceroute [5]. При этом, так как оценивание выполнялось не по всем узлам глобальной сети, а по относительно малой выборке, методика оценивания внесла некоторую погрешность в полученные РДП. Определение величины этой погрешности, а также изучение свойств графов, случайно порождённых согласно той или иной модели, требует разработки имитационной модели. Для этого был выбран компилируемый язык C++.

Структуры данных. Для представления графа принято использовать либо сложную в обработке матрицу инцидентности, либо более удобную матрицу смежности. К сожалению, для представления матрицы смежности в классической форме необходим значительный объём памяти. При этом матрица смежности сильно разрежена, поэтому в разработанной имитационной модели она была представлена в сжатой форме — в виде списка смежности.

Для графа G из $|G|$ вершин использованный вариант списка смежности является списком из $|G|$ элементов; элемент списка с номером i соответствует вершине с номером i и представляет собой список номеров вершин, смежных с i . Подобная структура достаточно компактна для того, чтобы уместить в память персонального компьютера дерево из 106 вершин или граф с большим количеством связей из 105 вершин, а также рассчитать характеристики этих графов.

Алгоритм имитационного моделирования. Имитационная модель (рис. 1) включает три основных этапа.

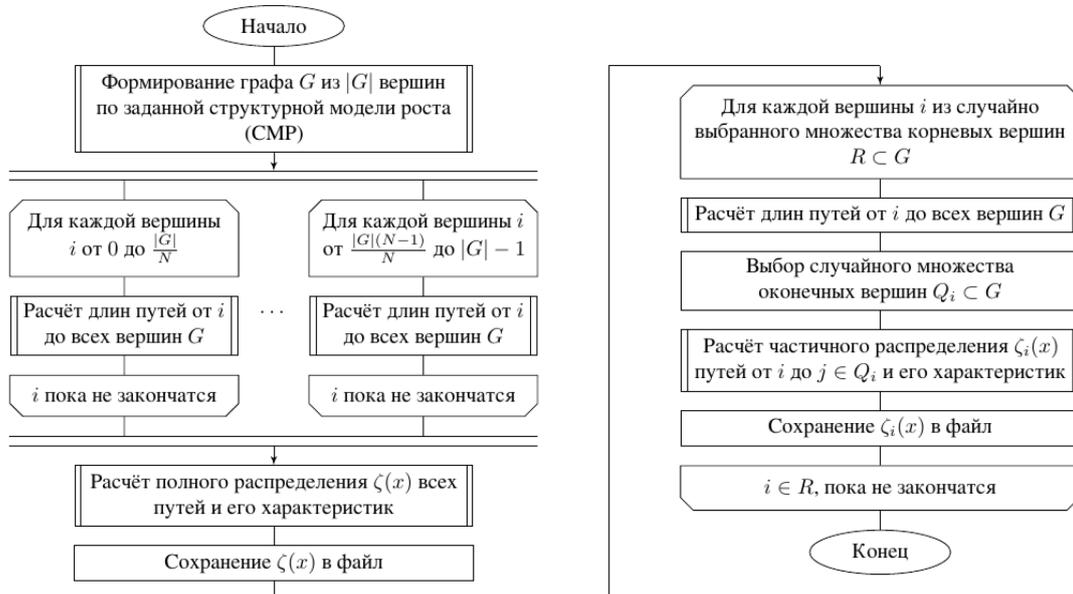


Рис. 1 – Алгоритм имитационного моделирования измерения РДП

На первом этапе граф G в виде списка смежности выращивается по заданной модели (блок «Формирование графа $G...$ » после начала алгоритма). Вначале была использована модель Барабаши—Альберт.

В дальнейшем G уже не меняется.

На втором этапе выполняется расчёт полного РДП графа, включающий множество однотипных операций — расчёта длин пути от некоторой вершины i до всех прочих вершин графа G . Этот расчёт может быть распараллелен при помощи OpenMP. Теоретически максимальное число потоков равно количеству вершин графа G , но на практике имеет смысл увеличивать их число до количества ядер процессора, т. к. значительное время выполнения программы тратится на переключение контекста между потоками, выполняемыми внутри одного ядра. Соответственно, время расчёта модели из 106 вершин сократилось от нескольких месяцев до нескольких дней.

На третьем этапе выполняется имитация экспериментов по оцениванию РДП, то есть длины путей рассчитывались по относительно малой выборке вершин. Расчёт третьего этапа также может быть распараллелен, но это не вносит существенного вклада в ускорение.

Принцип ускорения расчёта характеристик графа на основе технологии OpenMP.

Для расчёта как полного, так и частичного РДП используется модифицированный алгоритм обхода графа в ширину. Обход в ширину является базисом для многих алгоритмов анализа графов более высокого уровня. Его можно отнести к так называемым вычислительно-интенсивным алгоритмам, следовательно, целесообразно использовать распараллеливание как на уровне алгоритмов, так и данных.

Основная идея модификации алгоритма заключается в возможности распараллелить разметку вершин в графе, обусловленной дополнительными ограничениями, накладываемыми на связное дерево, такими как, например, отсутствие петель. Каждому OpenMP-потоку в CPU ставится задача независимого анализа РДП от одной вершины. Предложенный алгоритм состоит из двух основных шагов.

На первом шаге формируется и инициализируется *бесконечностью* массив расстояний от вершины i до остальных вершин. Так как расстояние представлено целым числом, в качестве константы, соответствующей бесконечной длине, использовалось значение $INF = INT_MAX$, значительно превышающее максимально возможную длину пути $|G|-1$). Затем для распараллеливания процесса поиска кратчайших путей между вершинами реализованы две функции с использованием OpenMP-директив для компилятора, в частности, конфигурации разных режимов балансировки нагрузки между потоками. В первой производится обход вершин текущего уровня, данные об их потомках записываются в отдельный массив, а затем во второй функции формируется список вершин для второго шага алгоритма.

На втором шаге производится анализ и редукция кратчайших путей между парами вершин. Для параллельного выполнения текущего шага алгоритма необходимо создать свои очереди для каждого OpenMP-потока, а после выполнения всех циклов объединить полученные очереди. Следует отметить, что путь фиксируется только от вершины с меньшим номером к вершине с большим, чтобы не посчитать один путь дважды (например, от вершины с номером 1 до 5 и от 5 до 1).

Достигнутое время расчёта характеристик (обхода) графа на CPU с применением технологии OpenMP, а также описание графовых моделей с указанием кардинального числа множества вершин и соответствующего размера файла приведены в таблице 1. Соответственно, время расчёта РДП модели с мощностью множества вершин, равной 105, составило ~ 300 мин.

Таблица 1 – Описание анализируемых графов

Описание графа	Кол-во вершин	Время обхода графа, мин	Размер файла с графом, ГБ
Модель Эрдёша-Реньи с вероятностью присоединения новой вершины, равной 0,01	105	345	0,5
Модель Эрдёша-Реньи с вероятностью присоединения новой вершины, равной 0,02	105	611	1,5
Модель Барабаши-Альберт с минимальным количеством ребер у вершины, равным 1, максимальным – INF	105	17	1,3
Модель Барабаши-Альберт с минимальным количеством ребер у вершины, равным 8, максимальным – INF	105	24	1,4
Модель Барабаши-Альберт с минимальным количеством ребер у вершины, равным 1, максимальным – 8	105	43	1,5

Интересной особенностью алгоритма имитационного моделирования является влияние размера и архитектуры кэш-памяти CPU на скорость расчёта характеристик графа. В связи с описанным выше представлением графа в виде списка смежности, при отсутствии ограничения максимального количества исходящих ребер из вершины ввиду снижения пространственной и временной локальности данных кэш-память оказывает отрицательное влияние на производительность, т. к. в зависимости от архитектуры подсистемы памяти необходимо многократное вытеснение с последующей загрузкой нужных строк с данными о вершинах графа. Таким образом, эффективное распараллеливание расчёта характеристик графа с неравномерным распределением степеней вершин затруднено, а оптимальное с точки зрения производительности количество потоков варьируется в зависимости от количества исходящих ребер для каждой вершины.

Результаты моделирования рассмотрены в [5] и показывают, что, несмотря на значительное расхождение характеристик полного РДП и его оценок, можно уверенно утверждать, что полученные экспериментально оценки невозможны для модели Барабаши—Альберт, и, следовательно, рост глобальной сети должен описываться иной моделью.

Уточнение модели роста. В дальнейшем, рассматривая иные модели роста случайно порождённого графа, на основе имитационного моделирования можно как сделать вывод о структуре сети, так и уточнить возможную погрешность, вносимую методикой эксперимента.

Список литературы

1. Оре О., Головина Л.И., Яглом И.М. Графы и их применение. Современная математика. Издательство «Мир», 1965.
2. Райгородский А.М. Модели случайных графов. М.: МЦНМО, 2011. 136 с.
3. Gilbert E.N. Random Graphs // Ann. Math. Statist. 1959. — 12. Vol. 30, no. 4. P. 1141–1144. URL: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177706098>.
4. Easley D., Kleinberg J. Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World. Cambridge University Press, 2010. ISBN: 9781139490306. URL: <https://books.google.ru/books?id=atfCl2agdi8C>.
5. Кононова А.И., Городилов А.В. К вопросу об оценках распределения длин путей между узлами в глобальной сети // Модел. и анализ информ. систем (БАК, WoS). 2020. Т. 27, No 1. С. 6–21.

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

05.13.11

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева, В.А. Мясоедова

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ ТУВИНСКОГО АЛФАВИТА

В работе описываются особенности применения нейронных сетей, для построения системы распознавания символов. Приводится обоснование выбора структуры нейронной сети типа LSTM для решения задачи построения модели распознавания символов тувинского алфавита. Производится описание исходного набора данных, для обучения нейронной сети, а также приводится алгоритм генерации дополнительных данных, посредством программной генерации изображений. Дается итоговая оценка эффективности системы распознавания

Ключевые слова: *системы распознавания символов, малые языки, искусственные нейронные сети, прикладное программное обеспечение, LSTM.*

Введение

Национальные языки, имеющие малое количество носителей, являются основой культурного наследия и достояния многонационального народа Российской Федерации. Тувинский язык относится к саянской группе тюркских языков, общее количество носителей которого составляет порядка 250 тысяч человек. В настоящий момент основой письменности тувинского языка является модифицированный кириллический алфавит, содержащий дополнительные, в сравнении с русским языком, буквы. Большая часть литературы, изданной на тувинском языке, имеется исключительно в печатном варианте и сложна для оцифровки и размещения в открытом доступе в связи с особенностью шрифта. Таким образом, создание системы оптического распознавания тувинского алфавита принимает особую актуальность.

Нейронные сети в системе построения OCR

Искусственные нейронные сети, как известно, являются одной из наиболее распространенных интеллектуальных систем, архитектура которых моделируется, имитируя человеческий мозг [1]. В зависимости от построения, выделяют большое количество разновидностей нейронных сетей, наиболее популярными, с точки зрения решения прикладных задач, являются нейронные сети прямого распространения, рекуррентные нейронные сети, радиально-базисные функции, нейронные сети Кохонена.

Одной из популярных моделей нейронных сетей, используемых в решении задачи NLP (обработке естественного языка), является рекуррентная нейронная сеть. Рекуррентные сети (RNN) – это нейронные сети с обратными связями, данные структуры являются динамическими системами с представлениями временного состояния.

RNN продемонстрировали большой успех во многих задачах обработки естественного языка. Наиболее часто используемым типом таких сетей являются сети долгой краткосрочной памяти (LSTM), которые намного лучше захватывают долгосрочные зависимости, чем RNN. Рекуррентные нейронные сети с долгой краткосрочной памятью используют механизмы стробирования для смягчения взрывающихся и исчезающих градиентов при изучении долгосрочных зависимостей [2].

Рекуррентная нейронная сеть использует полученную ранее информацию для решения последующих задач. Иногда для решения задачи требуется «просмотреть» только последнюю информацию. В тех случаях, когда разрыв между предыдущей информацией и местом, в котором она нужна, невелик, RNN легко справится с задачей. Но по мере увеличения этого разрыва RNN теряют связь между информацией. LSTM специально разработаны для устранения проблемы долгосрочной зависимости. Их специализация – запоминание информации в течение длительных периодов времени. Принцип работы сетей типа LSTM представлен на рисунке 1.

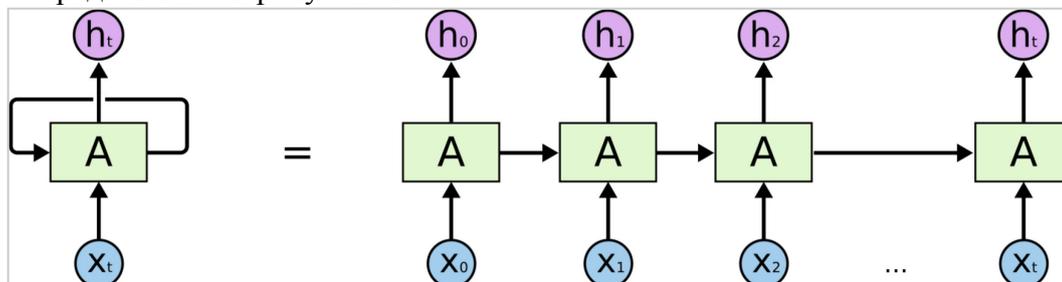


Рис. 1 – Принципиальная структура рекуррентных нейронных сетей с долгосрочной краткосрочной памятью [2]

Сети с долгосрочно-краткосрочной памятью уменьшают или увеличивают количество информации в состоянии ячейки, в зависимости от потребностей. Для этого используются тщательно настраиваемые структуры, называемые гейтами. Гейт – это «ворота», пропускающие или не пропускающие информацию. Гейты состоят из сигмовидного слоя нейронной сети и операции поточечного умножения [3].

Особенности структуры тувинского алфавита

Тувинский язык до 1930 года не имел своей письменности, для переписки до этого времени тувинцы пользовались литературным монгольским языком, письменность которого была основана на традиционном старомонгольском письме. В 1930 году для тувинского языка был введен алфавит, базирующийся на символах единого тюркского алфавита, выполненного на основе латинского, однако уже в 1941 году был разработан, а в 1943 году введен новый алфавит, используемый в качестве основы кириллицу, с дополнениями трех букв (рис. 2).

А а	Б б	В в	Г г	Д д	Е е	Ё ё	Ж ж
З з	И и	Й й	К к	Л л	М м	Н н	Ң ң
О о	Ө ө	П п	Р р	С с	Т т	У у	Ү ү
Ф ф	Х х	Ц ц	Ч ч	Ш ш	Щ щ	Ъ ъ	Ы ы
Ь ь	Э э	Ю ю	Я я				

Рис. 2 – Современный тувинский алфавит, основанный на расширенном кириллическом

Таким образом, в сравнении с русским алфавитом, тувинский алфавит имеет три дополнительные буквы: Ңң (латинское ng, в МФА – [ŋ]); Өө (латинское ö, в МФА – [ø]); Үү (латинское ü, в МФА – [y]).

Обработка исходных текстов

Для построения исходной базы, для обучения модели распознавания, использовались тексты, находящиеся в свободном доступе. В качестве основы для базы послужил журнал «Улуг-Хем», издаваемый на тувинском языке, на базе текстов данного журнала был собран исходный набор данных. Исходные данные для обучения формировались путем выбора страниц с разным качеством текста и наличия деформаций изображения. Для лучшего обучения и расширения базы также были сформированы дополнительные изображения с искусственно введенными искажениями. Для формирования новых изображений были взяты

фрагменты оригинального документа с применением подобранных алгоритмов преобразования, для генерации дополнительных наборов данных для обучения, реализуемых программными методами, имитирующими частые проблемы оцифровки документов. Пример исходного текста, а также одного из алгоритмов искажения представлены на рисунках 3 и 4, соответственно.

Оглууну канчаар өзүп-доругуп келгенин болгаш авашкыларның канчаар чурттап чораанындан бээр ол билир болган. Тыныш, тын чок удуп чытса-даа, шупту чүвени көрүп-билип чыткан бооп-тур. Туруп кээр дээш оттуп чадап каанындан бээр чугаалап турган иргин.

Ам чүү боор, оглу биле ынак кызын эдертип алгаш, төрөөн аалынга чанып кээп, орус чондан шингээдип алганы ажыктыг мергежилдерин ам кочулуг, хоруглуг эвес апарганынга өөрүп, улай сайзырадып, ада-иезинге, төрөл чонунга бараалгап, оюн оя, чигин чире чурттай берип-тир оо!

Рис. 3 – Фрагмент исходного текста без искажений

Оглууну канчаар өзүп-доругуп келгенин болгаш авашкыларның канчаар чурттап чораанындан бээр ол билир болган. Тыныш, тын чок удуп чытса-даа, шупту чүвени көрүп-билип чыткан бооп-тур. Туруп кээр дээш оттуп чадап каанындан бээр чугаалап турган иргин.

Ам чүү боор, оглу биле ынак кызын эдертип алгаш, төрөөн аалынга чанып кээп, орус чондан шингээдип алганы ажыктыг мергежилдерин ам кочулуг, хоруглуг эвес апарганынга өөрүп, улай сайзырадып, ада-иезинге, төрөл чонунга бараалгап, оюн оя, чигин чире чурттай берип-тир оо!

Рис. 4 – Фрагмент исходного текста,

имитирующий обычное начертание с эффектом нарушения печати
Обучение нейронной сети типа LSTM для тувинского алфавита

Для распознавания в рамках исследования использована одномерная двунаправленная архитектура LSTM. Обнаружено, что одномерная архитектура превосходит своих двухмерных или более высокоразмерных собратьев. В работе использовалась модифицированная версия библиотеки LSTM. Эта библиотека предоставляет одномерные и многомерные сети LSTM, а также выравнивание по основанию с использованием прямого-обратного алгоритма. Библиотека также предоставляет механизм эвристического декодирования для отображения кадрового сетевого вывода на последовательность символов.

На этапе обучения случайно выбранные входные изображения текстовых строк представляются в виде одномерных последовательностей для шага прямого распространения через ячейки LSTM, а затем выполняется прямое-обратное выравнивание выходных данных, далее выполняется обратное распространение для обновления весов, и процесс затем повторяется для следующего случайно выбранного изображения текстовой строки.

Результаты тестирования итоговой нейронной сети на данных, используемых в качестве итогового датасета, показали степень эффективности распознавания в среднем на уровне 96%, что свидетельствует о высоком качестве распознавания.

Список литературы

1. Techradar. Best OCR software of 2021: scan and archive your documents to PDF. Available online: <https://www.techradar.com/best/best-ocr-software> (дата обращения: 20.11.2021).
2. Landi, Federico & Baraldi, Lorenzo & Cornia, Marcella & Cucchiara, Rita. (2021). Working Memory Connections for LSTM. *Neural Networks*. 144. 10.1016/j.neunet.2021.08.030.
3. Hochreiter S. and Schmidhuber J. "Long Short-Term Memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp.1735–1780, 1997.

05.13.11

А.В. Картузов канд. педагог. наук, Т.В. Картузова канд. физ.-мат. наук, С.В. Храмцов

Чувашский Государственный Университет им. И.Н. Ульянова,
Чебоксары, kartuzovaleksandr@yandex.ru**ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЙ СЕТИ LSTM
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

В статье рассматривается прогнозирование нейронными сетями архитектуры LSTM. Дан краткий материал, содержащий в себе особенности структуры рассматриваемого типа нейронной сети. Представлен пример кода, написанного на языке Python с помощью библиотеки Pandas. Выведены графики для возможности контроля обучения сети и просмотра её прогноза. Сделаны соответствующие выводы по применению созданной программной модели LSTM.

Ключевые слова: *нейронные сети, прогнозирование, искусственный интеллект, Python, Pandas.*

Искусственные нейронные сети по своей структуре очень похожи на нейроны живых существ. У них есть свои дендриты, аксон и ядро. С математической точки зрения это входные значения, перемножаемые на скалярный вес, сумматор и функция активации.

В настоящий момент экспертные системы набирают популярность, не исключение и такой тип экспертных систем как прогнозирование. Прогнозирование временных рядов – это одна из самых главных задач машинного обучения. Под прогнозированием в данном контексте понимается не точный прогноз, а предсказание тенденции временного ряда [1].

В качестве примера для изучения будет использована нейронная сеть, реализованная на языке программирования Python3, в качестве входных данных будет использована база данных из открытого источника (котировки акций компании GE) [2], представляющая временной ряд.

В приведённом ниже фрагменте таблицы 1 представлена используемая база данных (БД) для обучения нейронной сети:

Таблица 1 – БД для обучения нейронной сети

	Date	Open	High	Low	Close	Volume	OpenInt
14053	2017-11-06	20:52	20.530	20.08	20.13	60641787	0
14054	2017-11-07	20:17	20.250	20.12	20.21	41622851	0
14055	2017-11-08	20:21	20.320	20.07	20.12	39672190	0
14056	2017-11-09	20:04	20.071	19.85	19.99	50831779	0
14057	2017-11-10	19:98	20.680	19.90	20.49	100698474	0

С помощью библиотеки Pandas мы прочитали БД и вывели её последние строки (“хвост”, всего содержится 14057 строк).

```
CSV=p.read_csv('ge.us.csv', delimiter=',')
CSV.tail()
```

Рассмотрим математическую модель нашей нейронной сети (далее НС):

$$a_i = f_i \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} p_j \right) + b_i, \quad (1)$$

где w_{ij} - скалярные веса, p_i - скалярный входной сигнал, b_i - скалярное смещение, f_i - функция активации.

Обычно обучение нейронной сети сводится к тому, что нужно регулировать веса w и скалярное смещение b , подстраивая под текущую задачу. Как правило, в одном слое

нейронной сети LSTM [3] структуры содержится не один, а несколько нейронов. В исследуемой нейронной сети на входе будет 20 нейронов с функцией активации ReLU и один нейрон Linear функции активации на выходном слое.

```
lstm_model.add(Dense(20, activation='relu')
lstm_model.add(Dense(1, activation='linear')
```

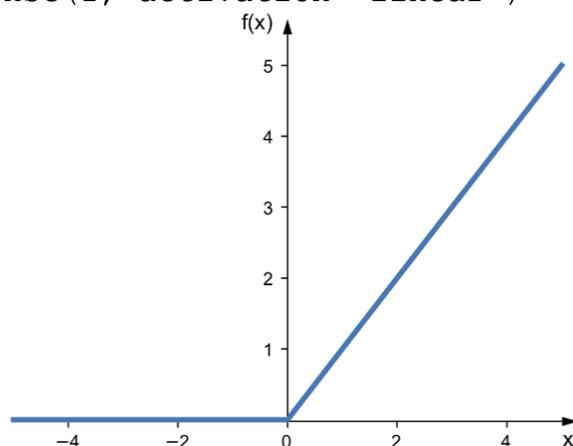


Рис.1 – График функции активации ReLU

Выбор функции активации ReLU (Рис. 1) на входе обоснован тем, что для обучения нам нужно убрать отрицательные значения. Также, учитывая количество нейронов, и производительность данной функции – они идеально подходит для решения поставленной задачи – обучить НС для предсказания тенденции временных рядов.

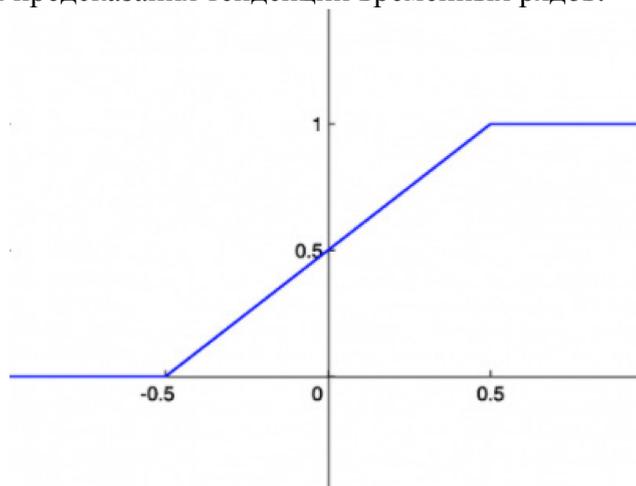


Рис.2 – График функции активации Linear

Линейная функция активации (Рис. 2) применяется на выходе. Причина применения этой функции заключается в том, что на выходе нам нужно получить не бинарное значение, а спектр значений.

При обучении сети использовалась функция MSE – среднеквадратичной ошибки, которая представлена следующей формулой:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y'_i)^2 \quad (2)$$

где y_i - фактический ожидаемый результат, y'_i - прогнозируемый результат.

С помощью функции среднеквадратичной ошибки определим график функции потерь при обучении и при валидации сети. Представленная ранее база данных была разделена для обучения и для тестирования в соотношении 80/20 (из 11 246 тренировочных выбираются 2 812 тестовых значений).

```

from sklearn.model_selection import train_test_split as
train_test_split
train_cols=["Open", "High", "Low", "Close", "Volume"]
df_train, df_test=train_test_split(CSV, train_size=0.8,
test_size=0.2, shuffle=false)
print("Training & test values", len(df_train), len(df_test))
x=df_train.loc[:, train_cols].values
min_max_scaler=MinMaxScaler()
x_train=min_max_scaler.fit_transform(x)
x_test=min_max_scaler.transform(df_test.loc[:, train_cols])

```

На большей части данных проводится обучение сети, а на меньшей – проверка. Выберем значение таймфрейма для одного шага обучения 60 дней. Введём функцию построения временного ряда:

```

def build_timeser(mat, y_col_index):
    TIME_STEPS=20
    dim_0=mat.shape[0]- TIME_STEPS
    dim_1=mat.shape[1]
    x=np.zeros((dim_0, TIME_STEPS, dim_1))
    y=np.zeros((dim_0))
    for i in range(dim_0):
        x[i]=mat[i: TIME_STEPS+i]
        y[i]=mat[i: TIME_STEPS+i, y_col_index]
    print("Продол-сть временного ряда ", x.shape, y.shape)
    return x, y

```

Т.о. получаем число пакетов в одном шаге - 70. Выведем график функции потерь для этих значений (Рис .3).

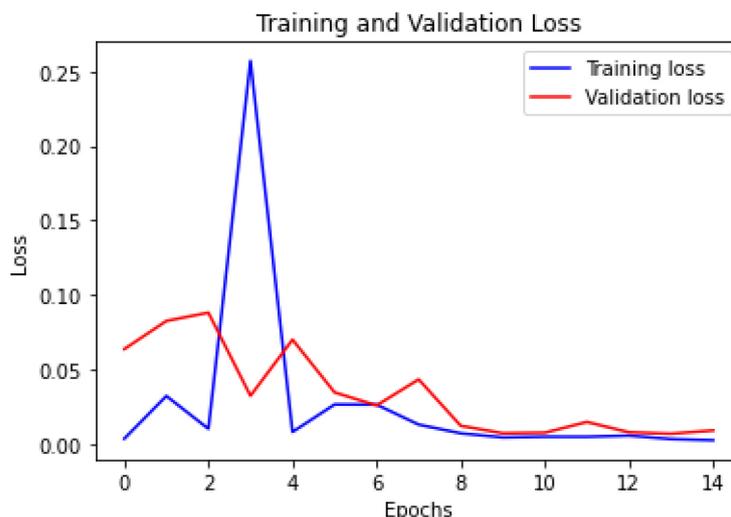


Рис.3 – График функции потерь (Loss)

При обучении нейронных сетей с несколькими слоями и большим количеством нейронов существует такое явление как переобучение [4]. В нашем примере мы наблюдаем, что под конец обучения, на 14-й эпохе, графики функций потерь начинают расходиться. Это означает, что допущено небольшое переобучение и следует сократить количество эпох, так на 12-й эпохе наблюдалась отличная сходимось графиков.

Немного переобучим нашу сеть. Подкорректируем временной шаг (TIME_STEPS) – выставим значение на 70. Число рассматриваемых пакетов за один шаг оставим прежним. Выведем график функции потерь на текущих данных (Рис. 4).

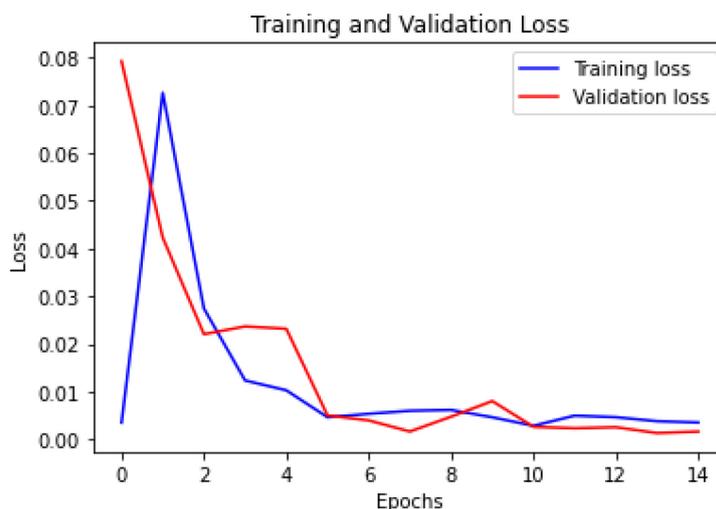


Рис.4 – График функции потерь с изменённым временным шагом

Анализируя график, можно заметить, что в этот раз переобучения допущено не было. Это означает, что, подбирая значения, анализируя график функции потерь, можно обучить нейронную сеть для любых задач, в том числе для расчета показателей информатизации образования [5, 6].

Резюмируя, можно сказать, что данный эксперимент с обучением нейронной сети для предсказаний тенденции временных рядов показал свою эффективность с некоторой погрешностью, равной функции среднеквадратичной ошибки MSE [7].

Список литературы

1. Бурков А. The Hundred-Page Machine Learning book.- СПб.: Питер.- 2020.- 192 с.
2. Кондратьева Т.Н. Прогнозирование тенденции финансовых временных рядов с помощью нейронной сети LSTM [Электронный ресурс] // “НАУКОВЕДЕНИЕ” Том 9.- 2017; URL: <https://naukovedenie.ru/>
3. База данных GE Stocks <https://clck.ru/Ys4kK>
4. Зиганишин И.А. Применение библиотеки Tensorflow для обучения нейронных сетей // Казанский национальный исследовательский технологический университет: Университетский сборник.- 2021.- С. 14-16.
5. Картузов А.В. Мониторинг качества учебного процесса в условиях информатизации.- Вестник Чебоксарского кооперативного института.- 2010.- № 1 (5).- С. 217-221.
6. Картузов А.В. Мониторинг качества учебного процесса в условиях информатизации.- Вестник Чебоксарского кооперативного института.- 2010.- № 1 (5).- С. 217-221.
7. Васильева Л.Н., Володина Е.В., Ильина И.И. Междисциплинарные задачи как средство развития профессиональной компетентности студентов технических направлений. Проблемы современного образования.- 2019.- № 6.- С. 220-231.

05.13.11

¹Г.О. Мареев, ¹О.В. Мареев, ²Е.П. Шершуков

¹Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского,
факультет стоматологии,
кафедра оториноларингологии,

²Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,
Институт машиностроения, материаловедения и транспорта,
кафедра «Техническая механика и мехатроника»,
Саратов, dr-mareev@mail.ru, ovmareew@mail.ru, shershukov98@mail.ru

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ГАПТИК — УСТРОЙСТВА С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ ПОДВИЖНОСТИ

Разработка гапстик-устройств является сложной инженерной задачей. Создание устройства с одной степенью подвижности позволяет пройти процесс разработки с меньшими затратами ресурсов и выделить важные моменты для создания устройств со сложной кинематикой. В данной статье предлагается конструкция одномерного гапстик-устройства, его математическая модель и результат работы прототипа.

Ключевые слова: *гапстик-устройство, математическая модель, прототипирование.*

Введение

Понятие «гапстик» (от греч. haptós) впервые появилось в древней Греции, что означало «что-то, к чему можно прикоснуться» [1]. Снова в обиход этот термин ввел немецкий эстетик и психолог Макс Дессуар в 1892 году в качестве обозначения академического направления исследований человеческого осязания по аналогии с акустикой или оптикой. В современной науке понятием «гапстик-технологии» обозначают все виды устройств, которые позволяют создавать осязательные ощущения, передавая пользователю определенное усилие, вибрацию или движение. Осязание — это сложный, иерархически организованный процесс познания, в котором сочетаются кожные и двигательные компоненты. Большинство исследователей сходятся на том, что осязание состоит из нескольких компонентов - кожной чувствительности, проприоцептивного мышечного чувства и гаптические ощущения, являющиеся сложным комплексом активных и пассивных взаимодействий с объектами. В современной технике существуют самые различные способы воздействия на человека с целью создания осязательных ощущений, например, для взаимодействия с виртуальным миром или управления каким-либо устройством [1]. Для этой цели могут использоваться как простые устройства, создающие, например, вибрацию, так и сложные устройства, реализующие принцип тактильной обратной связи. В данном случае, под термином «гапстик-устройство» понимается прибор, который позволяет передавать тактильные ощущения от взаимодействия с удаленными объектами. Особый интерес вызывает использование устройств с тактильной обратной связью в области создания медицинских хирургических симуляторов с использованием технологий виртуальной реальности. В данном случае применение технологий виртуальной реальности позволяет проводить подготовку, практически неограниченную по времени или расходными материалами, а применение гапстик-технологии позволяет создать реалистичные ощущения, соответствующие таковым при проведении настоящего оперативного вмешательства, что позволяет повысить качество подготовки хирургов [7 - 10]. Для этой цели предлагался ряд разработок гапстик-устройств [2–4], имеющих различные кинематические схемы и механику работы. Нами разработано гапстик-устройство (далее «гапстик») с одной степенью подвижности, которое может служить как базой для создания ряда медицинских симуляторов, так и устройством телеуправления с тактильной обратной связью; а при необходимости может быть расширено до необходимого числа степеней свободы, с использованием описанных базовых механизмов.

Описание конструкции

Конструкция гапстик-устройства с одной степенью подвижности представлена на рисунке 1а, внешний вид – на рисунке 1б. Передача тактильного ощущения пользователю осуществляется через рычаг 1, который вращается на неподвижной оси 2 и связан с валом электродвигателя 3 через стальной тросик. Рычаг 1 имеет монолитную форму, где верхняя часть служит рукояткой, а его нижняя часть выполнена в форме сектора, внутри которого располагается винтовой натяжитель троса 4.

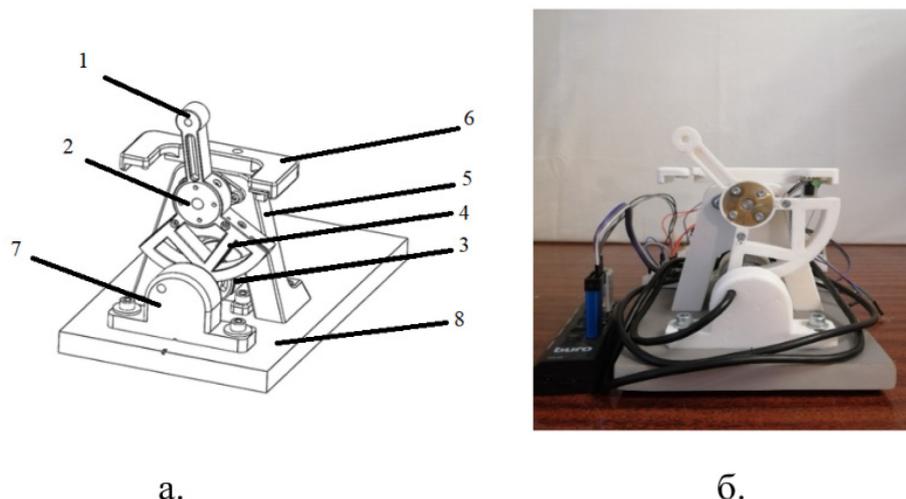


Рис. 1 – а) Гапстик-устройство с одной степень подвижности, схема; б) внешний вид гапстик-устройства

За счет него регулируется выходная противодействующая сила на другом конце рычага 1, при этом форма сектора в отношении радиусов с муфтой электродвигателя позволяет увеличить крутящий момент вала в 7,5 раза и обеспечивает плавный ход рукоятки рычага 1. Вращение рычага ограничивается за счет размеров сектора и П-образного ограничителя 6, установленного на стойке гапстика 5, выполненной в виде буквы «А». Весь гапстик размещен на общем основании 8.

В гаптике нами использован низкооборотистый коллекторный электродвигатель Mabuchi RS-555PH-15280 с рабочим напряжением 5 - 24 В. При напряжении питания 12В сила тока в заклинном роторе не превышает 300 мА, что не позволяет перегреваться электродвигателю при продолжительной эксплуатации устройства. Для измерения угла поворота на валу электродвигателя закреплен диск оптического инкрементального энкодера. Сам датчик закреплен на кронштейне 7.

Имитационная модель

Фундаментальные основы систем управления гапстик-устройствами приведены в [1]. Для данного устройства используется импедансный тип управления, суть которого заключается в торможении перемещения массы во внутрь области под воздействием противодействующей силы. Математическое описание данной формулировки записано в Лапласом пространстве [1]:

$$\frac{F_{out}}{v_{in}} = \frac{k_1}{k_2} * (d + m * s) \quad (1)$$

где F_{out} – противодействующая сила; v_{in} – значение скорости;
 $\frac{k_1}{k_2}$ – это коэффициент усиления значения силы.

Целью создания имитационной модели заключается в нахождении оптимальных параметров регулятора управляющего напряжения электродвигателя. Построение модели происходило в среде моделирования Xcos, которое входит в состав приложения SciLab и распространяется под свободной лицензией. В качестве перемещения на вход поступает разница между действительным углом поворота вала и углом, под которым располагается

виртуальное препятствие. Внешняя сила, которая прикладывается к рукоятке, представлена в виде константы, поскольку моделирование человеческой руки выходит за рамки данной работы. Блок «Переключатель» по разнице углов между рукояткой гаптика и препятствием, переключает состояние электродвигателя из ждущего режима в активный.

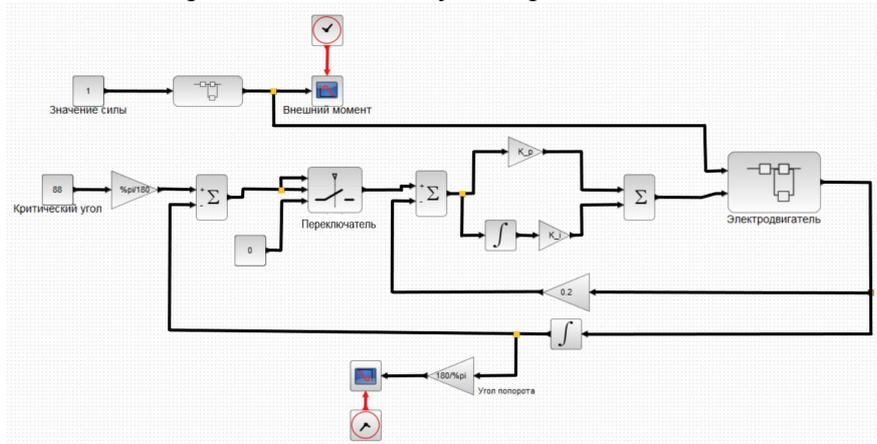


Рис. 2 – Имитационная модель гаптик-устройства

Сам электромотор представлен в виде макроблока с двумя входными параметрами, один из которых является внешний момент. Чтобы учесть влияния данной величины для построения структуры внутри макроблока использовалась математическая модель, описываемая передаточной функцией двигателя:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{1}{R_{я}} * \frac{1}{T_{я}s + 1} * \frac{1}{1 + \frac{R_{я}}{T_{я}s + 1} * C_m * \frac{1}{Js} * C_e} \quad (2)$$

Значение угла поворота в обратной связи отслеживает текущее положение вала, а угловая скорость вместе с ПИ-регулятором стабилизирует на желаемом значении угол поворота вала. Параметры регулятора вычислялись методом Циглера-Никольса. Расчет происходил при воздействии ступенчатого воздействия силы 5 Н, поскольку от данного устройства не ожидалось получать усилия больше данной величины. В результате пропорциональный коэффициент имеет значение $K_n = 499,85$, интегральный $K_u = 150,08$.

Зависимость тока якоря двигателя от коэффициента заполнения

В реальной системе управления для управления крутящим моментом электродвигателя использовался коэффициент заполнения ШИМ-сигнала. Чтобы определить реальное значение момента от протекающего тока в цепи якоря при определенном коэффициенте заполнения ШИМ-сигнала проводился эксперимент [6]. Результатом служит линейная функция

$$y = kx + c \quad (3)$$

где коэффициенты k и c вычислены методом наименьших квадратов. Конечный вид функции представлен в выражении 6.

$$k = \frac{m \sum_{j=1}^m x_j * y_j - \sum_{j=1}^m x_j * \sum_{j=1}^m y_j}{m \sum_{j=1}^m x_j^2 - (\sum_{j=1}^m x_j)^2} \quad (4)$$

$$c = \frac{\sum_{j=1}^m y_j - k \sum_{j=1}^m x_j}{m} \quad (5)$$

$$y = 16,383 * x + 53,036 \quad (6)$$

Реализация программного обеспечения

Система управления сделана по типу клиент-сервер. Клиентом является ЭВМ, в котором вычисляется значение противодействующей силы. Серверная часть реализована на установленном гаптик-устройстве микроконтроллере. Для детектирования столкновения используется Penalty-based algorithm. В нем взаимодействие объектов происходит на

плоскости, которая представляет виртуальную сцену. Положения тел отображается на ось абсцисс. Формы объектов описываются через простые геометрические фигуры. Подвижный объект представляется точкой, а для неподвижный – линией с виртуальной пружиной коэффициентом жесткости K и демпфером с коэффициентом B . Для того чтобы в виртуальном пространстве происходило взаимодействие объектов ЭВМ посылает запрос, содержащий значение силы, на сервер, чтобы от него получить угловую скорость и угол поворота рукоятки. На основе полученных данных программа на ЭВМ перемещает точечную массу в сторону направления вращения рукоятки. При столкновении тел программа вычисляет длину сжатия пружины и посылает новый запрос на сервер. Обмен данными между клиентом и сервером происходит по протоколу modbus с периодом опроса 2 000 000 бод/с, так как оно гарантирует устойчивость системы, что не позволит выйти за нижнюю границу частоты работы системы в 1 кГц [1].

Для отслеживания принимаемых параметров от сервера и моделирования столкновения рукоятки, имитирующей инструмент хирурга с виртуальным препятствием, был разработан графический интерфейс (рисунок 6). В первом режиме «Данные» пользователь может ввести величину силы, которая будет постоянно передаваться на гапстик-устройство. Вводить можно как положительное, так и отрицательное значения. Сигналом о передачи силы является маркер над ползунком. Во втором режиме «Препятствие» величина силы зависит как от расстояния между положением рукоятки и виртуальной стеной, так и коэффициентов жесткости и демпфирования, которые моделируют препятствие.

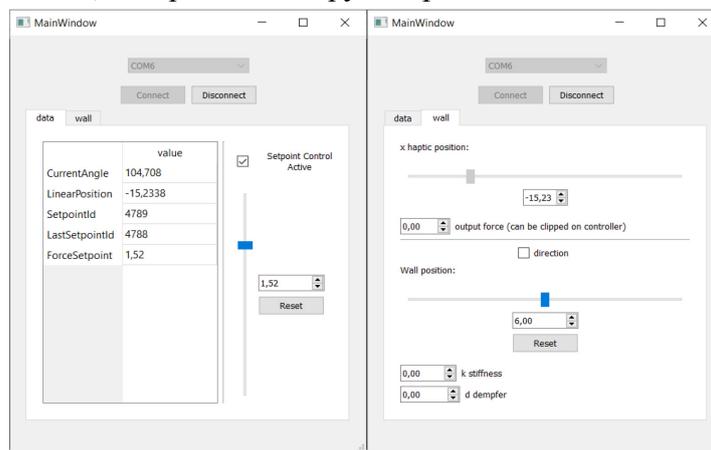


Рис. 3 – Режимы работы терминальной программы.

Пользователь может их изменять во время выполнения программы достигая нужной тактильной отдачи от гапстик-устройства. Положение рукоятки отображается верхним ползунком, а виртуального препятствия нижним.

Результаты

Для сравнения работы математической модели с реальной был построен график (рис. 4)

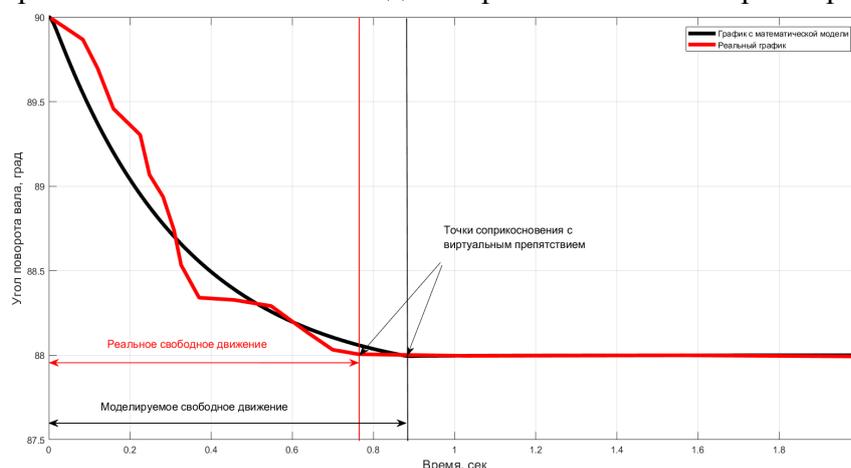


Рис. 4 – Графики переходных процессов

Из рисунка 4 видно, что переходные процессы схожи, но в реальности рука человека не может обеспечить плавность хода рукоятки. Измерение силы происходило динамометром (SHANE ATL) с точностью до 0,001 Н. Дополнительно было замечено, что при свободном вращении необходимо прикладывать усилие 0,5 Н для преодоления силы трения.

Полученный результат удовлетворяет нашим целям, а именно:

1. Отсутствие колебательности в системе
2. Удержание угла поворота при контакте с виртуальным препятствием.

Выводы

В данной работе нами было продемонстрировано гапстик-устройство с одной степенью подвижностью с соответствующей системой управления. Разработка данного прототипа ввелась при материально-технической поддержке организации ООО «Лаборатория виртуальных систем» Это экспериментальное устройство, позволяющее выполнять задачу передачи тактильного ощущения от соприкосновения с виртуальным объектом, что необходимо для решения различных задач при создании виртуальной систем реальности. Развитие системы управления для данных устройств позволяет легко реализовать устройство с более сложной конфигурацией и числом степеней подвижности, которое можно использовать, например, в медицинском симуляторе. Таким образом, создание подобного устройства и его системы управления, измерение их параметров является первым шагом к реализации более сложных гапстик-устройств. Следующим этапом является создание измерительной установки для прототипа, которая позволит измерять фактическую величину противодействующей силы, и более детальная проработка математической модели системы управления.

Список литературы

1. *Hatzfeld C., T.A. Kern, T. Opitz, S. Kassner, H. Haus* Engineering Haptic Devices Editor T. A. Kern, 2014.
2. *Hayward V., Maclean K.E.* Do it yourself haptics: Part I // IEEE Robotics and Automation Magazine. 2007. № 4 (14). С. 88–104.
3. *Husni N.A. M., Hisyam A.J., Hanafi Mohd Hafiz A., Ibrahim Dirman.* Force control for one degree of freedom haptic device using PID controller // International Journal of Integrated Engineering. 2020. № 4 (12). С. 66–73.
4. *Preusche C., Hulin T., Hirzinger G.* Haptic rendering and control 2008.С. 411–426
5. *Rahman H.A., Hua T.P., Yap R., Yeong, C.F., Su, E. L.M.* One degree-of-freedom haptic device Elsevier Ltd, 2012.С. 326–332.
6. XXXVII Международная научно-практическая конференция «Advances in Science and Technology»: Сборник статей. 2021. № Поиск зависимости между прикладываемым внешним усилием и управляющим сигналом для гапстик-устройства с одной степенью подвижности в тренажёре хирурга (284). С. 87–90.
7. *Алайцев И.К., Мареев Г. О., Мареев О. В.* Технические аспекты реализации хирургического симулятора с тактильной обратной связью: Журнал Научных статей «Здоровье и образование в XXI веке». (6). С. 25–30.
8. *Алайцев И.К., Мареев Г.О., Мареев О.В.* Способ симуляции взаимодействий с твёрдыми телами и их обработки бормашиной с имитацией тактильной обратной связи: пат. Рос. Федерации RU 2618843 С, регистрация 02.03.2016, опубл. 11.05.2016.
9. *Алайцев И.К., Мареев Г.О., Мареев О.В.* Устройство ввода с тактильной обратной связью с дополнительными степенями свободы: Научно-технический вестник Поволжья. 2016. (6). С. 102–104.
10. *Алайцев И.К., Мареев Г.О., Данилова Т.В., Ермаков И.Ю., Мантуров А.О.* Разработка базовых принципов взаимодействия с воксельной моделью в трехмерном пространстве в хирургическом симуляторе: Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2015. № 12 (5).
11. *Алайцев И.К., О.В. Мареев, Мареев Г.О.* Устройство для симуляции полостных оперативных вмешательств с тактильной обратной связью: Научно-технический вестник Поволжья. (6). С. 167–169.

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

05.13.18

**Ю.А. Анищенко канд. экон. наук, Д.В. Рогова,
Д.С. Гляделов, М.А. Рагозина канд. экон. наук**

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
институт инженерной экономики,
кафедра организации и управления наукоемкими производствами,
Красноярск, dasha_28_05@mail.ru

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ
ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Целью исследования является анализ рисков инновационной деятельности предприятия. В статье проводится сравнение методов оценки риска, поиск новых механизмов, решение проблемы управления рисками инновационной деятельности предприятий. Представлены стадии процесса управления рисками.

Ключевые слова: *риски, инновационная деятельность, предприятие, метод корректировки нормы дисконта, Срр.*

Введение

На сегодняшний день риски инновационной деятельности представляют собой сложную многоплановую концепцию и для того, чтобы успешно функционировать в рисковом мире работникам организаций, требуются глубокие и всесторонние экономические знания [1]. Актуальность рисков инновационной деятельности связана с необходимостью идентификации и управления деятельностью предприятий как эффективного процесса формирования благоприятной экономической и производственной среды организации, обеспечивающей выход российских компаний на инновационный рынок.

Чаще всего риски в инновационной деятельности изучаются в контексте различных концептуальных подходов, что приводит к отсутствию их обобщенной классификации, помогающей определить специфику рисков, выявить их разнообразие, свойства, взаимосвязи и зависимости, появление различных характеристик экономической сущности рисков, эффективный способ управления рисками [2].

В настоящее время отсутствует методика оценки степени влияния рисков на деятельность предприятий, поскольку она является очень сложным многофункциональным процессом.

Существующие матрицы минимизации рисков не дают возможности выделять наиболее опасные риски, так как отсутствует интегрированный алгоритм процесса идентификации и управления рисками, способствующий последовательно совершать действия, направленные на минимизацию и нейтрализацию рисков инновационной деятельности предприятий. Таким образом, поиск новых механизмов, способствующих минимизации рисков, привлечению дополнительных ресурсов в инновационную сферу, решению проблемы управления рисками инновационной деятельности предприятий является весьма актуальным и своевременным.

Процедура и процесс управления рисками в проектной деятельности

Процедура управления рисками – выработка стратегии поведения в рисковом ситуациях [3].

Процесс управления рисками в проектной деятельности заключается не только в определении рисков, но и в разработке мероприятий по снижению их опасности и разработке мер реагирования при наступлении рисковом ситуации. Процесс управления рисками в проекте представляет собой поэтапное выполнение определенных работ, которые реализуются на разных стадиях (фазах) проекта.

Выделяют следующие стадии процесса управления рисками (Рисунок 1).

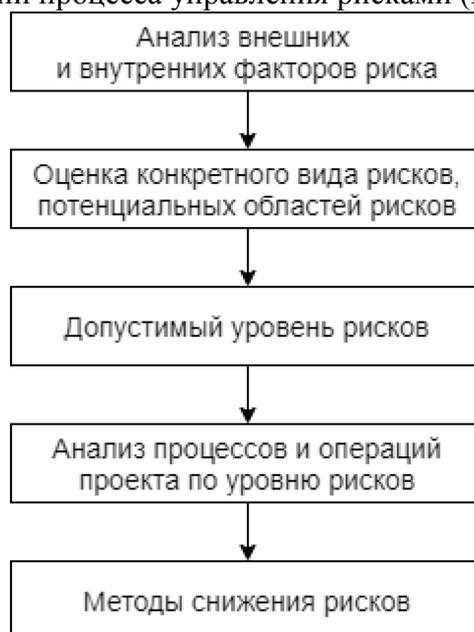


Рис. 1 – Алгоритм анализа рисков

На первом этапе в процессе управления рисками выявляются потенциальные риски. На этапе планирования мер реагирования на рисковые события важно провести анализ рисков проекта, который проводится по определенному алгоритму, проводится идентификация, ранжирование, сертификация и документирование рисков, составление плана управления рисками. На третьем этапе производится организация и контроль мер реагирования на рисковые события. На этапе анализа проводится постоянный анализ выполнения плана управления рисками. На завершающем этапе проводится полный анализ реализации плана управления рисками в проекте, и все промежуточные и окончательные результаты управления рисками оформляются в итоговом отчете. Однако общая концепция управления рисковыми событиями в проекте подчиняется четкой логике и последовательности взаимосвязанных действий, реализация которых позволит добиться положительных результатов.

Методы оценки риска

На сегодняшний день существуют следующие методы оценки риска:

1. статистический метод – возможность анализа и оценки различных факторов риска, влияющих на соотношение капитала к сумме активов, широко используется в деятельности банков при работе с ценными бумагами и на кредитном рынке;
2. метод экспертных оценок – позволяет разделить сложный комплекс рисков на управляемые составляющие, сделать выводы о вероятности проявления и степени последствий исследуемых рисков;
3. метод аналогий – при анализе риска нового проекта используются данные о последствиях воздействия неблагоприятных факторов риска на другие проекты, у него облегчен сбор информации, но очень трудно создать предпосылки для будущего анализа;
4. метод корректировки нормы дисконта (анализ NPV) –осуществляет приведение будущих потоков платежей к настоящему моменту времени, простота расчетов, но не несёт никакой информации о вероятностных распределениях будущих потоков платежей;
5. дерево решений – позволяет определять сценарии дальнейшего развития событий, когда принимаемые решения зависят от решений, принятых ранее, однако необходимо наличие разумного числа вариантов развития;
6. метод Монте-Карло – позволяет построить математическую модель проекта с неопределенными значениями параметров и, зная вероятностные распределения параметров проекта, а также корреляцию, получить распределение рентабельности проекта, но имеет сложные расчеты;

7. модель «подверженной риску стоимости» (Value at Risk) – позволяет успешно разрешать проблемы, с которыми сопряжено применение большинства измерителей рисков, но базируется на предпосылке непрерывных стохастических процессах.

Метод корректировки нормы дисконта (анализ NPV)

Чистая текущая стоимость (NPV) характеризует ценность фирмы. При предположении однократного первоначального вложения средств – «разовые затраты-длительная отдача» – применяется расчетная формула:

$$NPV = \frac{CF_1}{1+k} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n} - I_0,$$

где NPV (net present value) — чистая текущая стоимость; CF_t — поступления денежных средств в конце периода t (cash flow); I_0 — первоначальное вложение средств (investment); k — коэффициент дисконтирования; $t = 1, \dots, n$; n — число стандартных периодов времени.

При предположении многократного вложения средств – «длительные затраты-длительная отдача» – формула имеет вид:

$$NPV = \frac{CF_1}{1+k} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n} - I_0 - \frac{I_1}{1+k} - \dots - \frac{I_n}{(1+k)^n},$$

где I_0, I_1, \dots, I_n — вложения средств ($I_t, t = 0, 1, \dots, n$) в конце периода t .

Если $NPV > 0$, ценность фирмы в результате реализации проекта возрастает (инвестиционный проект выгоден). Если $NPV < 0$, проект, в общем случае, считается невыгодным.

Рентабельность инвестиций PI (profitability index) показывает, в какой мере возрастает ценность предприятия расчете на 1 руб. инвестиций. При предположении однократного первоначального вложения средств («разовые затраты – длительная отдача»):

$$PI = \frac{\frac{CF_1}{1+k} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n}}{I_0}.$$

При предположении многократного вложения средств («длительные затраты–длительная отдача»):

$$PI = \frac{\frac{CF_1}{1+k} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n}}{I_0 + \frac{I_1}{1+k} + \dots + \frac{I_n}{(1+k)^n}}.$$

Предположим, $NPV_A > NPV_B$, тогда проект А при $k = 0,1$ является более выгодным.

Заключение

Таким образом, риски инновационной деятельности позволяют эффективно идентифицировать и управлять деятельностью предприятия, как процессом формирования благоприятной экономической и производственной среды организации, обеспечивающей выход российских компаний на инновационный рынок. Представлен метод корректировки нормы дисконта. Поиск новых механизмов способствует минимизации рисков и привлечению дополнительных ресурсов в инновационную сферу.

Список литературы

1. *Гаврилов М.В.* Управление рисками в проекте // Институт городской недвижимости. – URL: http://www.ingn.ru/publishing/lekc4_4.php (дата обращения : 21.11.2021).
2. *Музыкантова М.В., Рагозина М.А.* Риски инвестиционного проектирования // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. – Т. 2. № 10. – С. 123-124.
3. *Антонов В.Г.* Управление рисками приоритетных инвестиционных проектов. концепция и методология / В.Г. Антонов, В.В. Масленников, Л.Г. Скамай. – М.: Русайнс, 2018. – 35 с.
4. *Калинчев А.Д., Рагозина М.А.* Проблемы организации экспертизы инновационных проектов / Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Молодые ученые в решении актуальных проблем науки под общ. ред. Ю. Ю. Логинова. Красноярск, 2020. – С. 1082-1084.

05.13.18

П.В. Антонова, А.С. Титовцев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Кафедра интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами,
Казань, notna6683@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СМЕШАННОГО ТИПА С ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В ОЧЕРЕДИ

В работе решается задача формализации характеристик нестационарного режима открытой одноканальной системы массового обслуживания смешанного типа, с временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга. Аналитически получены нестационарные характеристики модели, такие как среднее число заявок в очереди и средняя длина очереди.

Ключевые слова: очередь, нестационарные характеристики, система массового обслуживания, $M/E_r/1$.

1. Введение

В настоящее время достаточно хорошо изучены системы массового обслуживания с простейшим пуассоновским входным потоком заявок, экспоненциальным обслуживанием с постоянными параметрами в стационарном режиме. Практический интерес имеют более сложные модели, являющиеся комбинациями ранее известных моделей СМО, например [1,2]. При эксплуатации систем, работающих по принципу систем массового обслуживания, актуальной является задача нахождения нестационарных характеристик. Основная сложность анализа СМО в нестационарном режиме заключается в решении, как правило, большой или бесконечной системы дифференциальных уравнений.

В данной работе рассматривается модель, ранее описанная в работах [3],[4].

2. Нестационарный режим СМО

Выпишем систему дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -\lambda p_0 + \mu p_{11}, \\ \frac{dp_{1r}}{dt} &= \lambda p_0 + \theta p_{2r} - (\lambda + \mu)p_{1r} + \mu p_{21} \\ \frac{dp_{ir}}{dt} &= -(\lambda + \mu)p_{ir} + \lambda p_{i-1,r} + \mu p_{i+1,i} + i\theta p_{i+1,r} - (i-1)\theta p_{ir}, i > 1 \\ \frac{dp_{ij}}{dt} &= -(\lambda + \mu)p_{ij} + \lambda p_{i-1,j} + \mu p_{i,j+1} + i\theta p_{i+1,j} - (i-1)\theta p_{ij}, i > 1, 1 < j < r-1, \\ \frac{dp_{1j}}{dt} &= -(\lambda + \mu)p_{1j} + \mu p_{1,j+1} + \theta_{2j}, 1 < j < r-1. \end{aligned} \tag{1}$$

Нестационарные характеристики системы находятся из системы (1) с помощью введения производящей функции $P_j(z, t) = \sum_{i=1}^{\infty} p_{ij}(t)z^i$.

Умножая уравнения для p_{ij} из (1) на z^i и суммируя, получим

$$\begin{aligned} \frac{dP_j(z,t)}{dt} &= -(\lambda + \mu)P_j(z, t) + \lambda z P_j(z, t) + \mu P_{j+1}(z, t) + (1-z) \sum_{i=2}^{\infty} (i-1)z^{i-1} \theta p_{ij}(t), 0 < j < r-2, \\ \frac{dP_r(z,t)}{dt} + \frac{dp_0(t)}{dt} &= -\lambda(P_r(z, t) + p_0(t)) - \mu P_r(z, t) + \lambda z(P_r(z, t) + p_0(t)) + \frac{\mu}{z} P_1(z, t) + \\ &+ (1-z) \sum_{i=2}^{\infty} (i-1)z^{i-1} \theta p_{ir}. \end{aligned}$$

С использованием одной из тауберовых теорем [5, с.282] получаем систему:

$$\begin{aligned} \frac{dP_j(z,t)}{dt} &= -(\lambda + \mu)P_j(z, t) + \lambda z P_j(z, t) + \mu P_{j+1}(z, t), 0 < j < r-2, \\ \frac{dP_r(z,t)}{dt} + \frac{dp_0(t)}{dt} &= -\lambda(P_r(z, t) + p_0(t)) - \mu P_r(z, t) + \lambda z(P_r(z, t) + p_0(t)) + \frac{\mu}{z} P_1(z, t). \end{aligned} \tag{2}$$

Просуммировав уравнения (1) по i при фиксированном j , получим

$$\sum_i p_{i1}(t) = \sum_i p_{i2}(t) = \dots = \sum_i p_{ir}(t) \tag{3}$$

Просуммировав уравнения (1) по j при фиксированном i , получим

$$\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^r \frac{dp_{ij}}{dt} = \sum_{i=1}^{\infty} \mu p_{i+1,1}(t) + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^r i \theta p_{i+1,j}(t) - \lambda \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^r p_{ij}(t)$$

Тогда, с учетом (3) и условия нормировки $p_0(t) + \sum_i \sum_j p_{ij}(t) = 1$ получаем следующее равенство

$$r\lambda = \theta rQ(t) + (1 - p_0(t))\mu, \quad (4)$$

Из (4) следует, что

$$p_0(t) = 1 - \frac{r(\lambda - \theta Q(t))}{\mu}. \quad (5)$$

Система дифференциальных уравнений (2) приводится к системе линейных алгебраических уравнений с помощью преобразования Лапласа.

Тогда

$$\pi_j(z, s) = \pi_1(z, s) * \left(\frac{s - \lambda z + \lambda + \mu}{\mu} \right)^{j-1}; \quad (6)$$

$$\pi_r(z, s) = \pi_0(s) * \frac{\lambda * (z-1) - s}{s - \lambda * z + \lambda + \mu} + \left(\frac{1}{s + \lambda * (1-z) + \mu} \right) * \left(\frac{\mu}{z} * \pi_1(z, s) + 1 \right).$$

Для нахождения $\pi_j(z, s)$ необходимо выразить $\pi_1(z, s)$ из второго уравнения (6). Просуммировав уравнение для $\pi_j(z, s)$ по j , получим преобразование Лапласа $\pi(z, s)$ производящей функции $P(z, t) = \sum_j P_j(z, t)$:

$$\pi(z, s) = \frac{z - z \left(\frac{\lambda + \mu + s - \lambda z}{\mu} \right)^r - (-1 + z)(\lambda + s - \lambda z)\pi_0(s)}{(-s + \lambda(-1 + z)) \left(-1 + z \left(\frac{\lambda + \mu + s - \lambda z}{\mu} \right)^r \right)}.$$

Представляя выражение для $\pi(z, s)$ в виде суммы дробей, найдем $P(z)$ для каждого из слагаемых в силу свойства линейности преобразования Лапласа.

$$\pi(z, s) = \frac{1}{-\lambda - s + \lambda z} + \frac{-1 + z}{(-\lambda - s + \lambda z) \left(-1 + z \left(\frac{\lambda + \mu + s - \lambda z}{\mu} \right)^r \right)} + \frac{(-1 + z)\pi_0(s)}{-1 + z \left(\frac{\lambda + \mu + s - \lambda z}{\mu} \right)^r}. \quad (7)$$

Для нахождения $P(z)$ применим вторую теорему разложения [6].

Первые два слагаемых (7) могут быть обращены с использованием таблицы основных преобразований Лапласа и второй теоремы разложения. Для обращения третьего слагаемого можно воспользоваться теоремой Бореля [7] и формулами Дюамеля.

$$\text{Пусть } \pi_1(z, s) = \frac{1}{-\lambda - s + \lambda z} + \frac{-1 + z}{(-\lambda - s + \lambda z) \left(-1 + z \left(\frac{\lambda + \mu + s - \lambda z}{\mu} \right)^r \right)}, \quad \pi_2(z, s) = \frac{(-1 + z)\pi_0(s)}{-1 + z \left(\frac{\lambda + \mu + s - \lambda z}{\mu} \right)^r}.$$

Обращение преобразования Лапласа, полученное с помощью теоремы обращения для функции $\pi_1(z, s)$ имеет вид

$$L^{-1}[\pi_1(z, s)] = -e^{\lambda t(-1+z)} + e^{\lambda t(-1+z)} - \frac{e^{t(\mu(-1+(\frac{1}{z})^r)+\lambda(-1+z))(-1+z)}}{r(-1+(\frac{1}{z})^r)z^2}.$$

Для нахождения $L^{-1}[\pi_2(z, s)]$ воспользуемся формулой Дюамеля:

$$L^{-1}[\pi_2(z, s)] = - \int_0^t \frac{e^{(t-\tau)\left(\mu\left(-1+(\frac{1}{z})^r\right)+\lambda(-1+z)\right)} \mu \left(-\mu \left(-1+(\frac{1}{z})^r \right) - \lambda(-1+z) \right) (-1+z) p_0(\tau)}{r(\mu(-1+(\frac{1}{z})^r)+\lambda(-1+z))z^2} d\tau +$$

$$\left(\frac{\mu(-1+z)}{r(\mu(-1+(\frac{1}{z})^r)+\lambda(-1+z))z^2} + \frac{-1+z}{-1+z \left(\frac{\lambda + \mu - \lambda z}{\mu} \right)^r} \right) p_0(t).$$

Таким образом, выражение для $P(z, t)$ будет иметь вид

$$P(z, t) = L^{-1}[\pi_1(z, s)] + L^{-1}[\pi_2(z, s)] = -e^{\lambda t(-1+z)} + e^{\lambda t(-1+z)} - \frac{e^{t(\mu(-1+(\frac{1}{z})^r)+\lambda(-1+z))(-1+z)}}{r(-1+(\frac{1}{z})^r)z^2} -$$

$$\int_0^t \frac{e^{(t-\tau)\left(\mu\left(-1+\left(\frac{1}{z}\right)^{\frac{1}{r}}\right)+\lambda(-1+z)\right)} \mu\left(-\mu\left(-1+\left(\frac{1}{z}\right)^{\frac{1}{r}}\right)-\lambda(-1+z)\right)(-1+z)p_0(\tau)}{r\left(\mu\left(-1+\left(\frac{1}{z}\right)^{\frac{1}{r}}\right)+\lambda(-1+z)\right)z^2} d\tau + \left(\frac{\mu(-1+z)}{r\left(\mu\left(-1+\left(\frac{1}{z}\right)^{\frac{1}{r}}\right)+\lambda(-1+z)\right)z^2} + \frac{-1+z}{-1+z\left(\frac{\lambda+\mu-\lambda z}{\mu}\right)r}\right)p_0(t).$$

Чтобы однозначно определить $P(z, t)$ необходимо найти $Q(t)$ и, с использованием (5) выразить $p_0(t)$. С помощью производящей функции найдем нестационарное среднее число заявок в системе N :

$$N(t) = P'(z, t) = \frac{\mu \int_0^t p_0(\tau) d\tau}{r} + \frac{-1+r+2\lambda r t-2\mu t}{2r} - \frac{(\lambda(-1+r)r+\mu(-1+3r))p_0(t)}{2r(-\mu+\lambda r)}.$$

Тогда

$$Q(t) = N(t) - (1 - p_0(t)) = -1 + \frac{\mu \int_0^t p_0(\tau) d\tau}{r} + \frac{-1+r+2\lambda r t-2\mu t}{2r} + p_0(t) - \frac{(\lambda(-1+r)r+\mu(-1+3r))p_0(t)}{2r(-\mu+\lambda r)}.$$

С учетом (5) получаем $p_0(t)$:

$$p_0(t) = \frac{(\mu-\lambda r)(\theta-2\mu+\theta r+2\lambda r-2\theta\lambda r t-2\theta\mu \int_0^t p_0(\tau) d\tau+2\theta\mu t)}{-\theta\mu-2\mu^2-\theta\lambda r+5\theta\mu r+2\lambda\mu r-\theta\lambda r^2}. \tag{8}$$

Наконец, получим выражение для $p_0(t)$ проинтегрировав (8) и решив дифференциальное уравнение относительно $p_0(t)$ с начальным условием $p_0(0) = 1$.

$$p_0'(t) = \frac{(\mu-\lambda r)(-2\theta\lambda r+2\theta\mu-2\theta\mu p_0(t))}{-\theta\mu-2\mu^2-\theta\lambda r+5\theta\mu r+2\lambda\mu r-\theta\lambda r^2}$$

$$p_0(t) = 1 + \frac{2\theta\mu(\mu-\lambda r)t}{(-1+e^{\frac{2\theta\mu(\mu-\lambda r)t}{-\theta\mu-2\mu^2-\theta\lambda r+5\theta\mu r+2\lambda\mu r-\theta\lambda r^2}})\lambda r}.$$

После однозначного определения $p_0(t)$ с помощью производящей функции выводятся остальные нестационарные характеристики модели.

Список литературы

1. Кирпичников А.П., Титовцев А.С. Характеристики систем дифференцированного обслуживания поликомпонентных потоков //Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 8. С. 337-340.
2. Кирпичников А. П., Титовцев А.С. Первый и второй моменты общего времени пребывания заявки в системе с произвольным количеством источников и поликомпонентным входным потоком заявок //Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – №. 6. С. 120-124.
3. А.С. Титовцев, П.В. Антонова, Характеристики системы массового обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в очереди и временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга / Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – №8. С.79-82
4. А.С. Титовцев, П.В. Антонова, Численное исследование стабильных режимов работы систем массового обслуживания с ограниченным средним временем пребывания заявки в системе и временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга/ Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – №8. С.83-85
5. Linn I. Sennott, Stochastic Dynamic Programming and the Control of Queueing Systems, 1998
6. Дёч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. – Рипол Классик, 1971.
7. Шонин М.Ю. Преобразование Лапласа при решении линейных интегро-дифференциальных уравнений //Научный поиск в современном мире. – 2016. – С. 11-14.

05.13.18

¹А.Ю. Барыкин канд. техн. наук, ²Р.Р. Басыров канд. техн. наук,
¹В.М. Нигметзянова канд. педагог. наук, ¹Р.Х. Тахавиев,
¹Ш.С. Хуснетдинов канд. техн. наук, ³А.М. Фролов канд. техн. наук

Набережночелнинский институт
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,
¹кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
²кафедра «Автомобили, автомобильные двигатели и дизайн»,
³кафедра «Механика и конструирование»,
Набережные Челны, alexs-jb@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ТОРСИОННОЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ

Работа посвящена решению вопросов проектирования торсионной подвески. Проведён анализ преимуществ и недостатков подвески, установлены причины отказов и неисправностей при воздействии внешних нагрузок. Предложены аналитические зависимости, позволяющие осуществить выбор конструктивных параметров с учётом условий эксплуатации.

Ключевые слова: *автомобиль, подвеска колес, торсион, природно-климатические условия, кручение, концентрация напряжений.*

Подвеска автомобиля обеспечивает возможность движения без существенных динамических нагрузок на водителя, пассажиров и перевозимый груз. Выбор упругого элемента подвески, воспринимающего нагрузки от опорной поверхности, является достаточно сложным. Необходимо учитывать возможность размещения упругого элемента и направляющего аппарата подвески в ограниченном пространстве ходовой части.

Среди металлических упругих элементов подвески наиболее часто применяемыми являются рессоры и пружины различных типов [1]. Элементы стержневого типа применяются значительно реже, в тех случаях, когда возникают сложности с размещением иных конструкций. Помимо подвесок колёс, торсионы используются в системе подрессоривания откидываемых кабин грузовых автомобилей [2].

Основное преимущество подвески торсионного типа заключается в компактности конструкции, что позволяет применять её в различных компоновочных схемах транспортных и тяговых машин. Кроме того, относительно малые размеры торсионов обеспечивают заметную экономию материалов за счёт меньшей потребности в дорогостоящих рессорно-пружинных сталях.

К недостаткам относят сложность термической обработки торсиона [3], необходимость увеличения длины торсиона для получения необходимой комфортности движения [1]. Также необходимо отметить воздействие значительных крутящих моментов на опоры торсионов, что приводит к необходимости усиления их конструкции. Кроме того, торсионы, состоящие из набора отдельных элементов (прутков, пластин), хотя и обеспечивают более мягкую упругую характеристику, но подвергаются в процессе эксплуатации сложным результирующим нагрузкам, включающим крутящие и изгибающие моменты. Как отмечено в работе [1], пучковые и пластинчатые торсионы использовались ранее в конструкциях закрытого типа с масляной ванной (для уменьшения внутреннего трения). Вследствие названных выше причин сборные конструкции торсионов не получили широкого распространения. На современных автомобилях используются так называемые прутковые торсионы с круглым сечением.

При круглогодичной эксплуатации в условиях умеренного и арктического климата, которые распространяются на значительную часть РФ, подвеска автомобиля, как и все узлы ходовой части, испытывает комплексное нагружение, связанное с воздействием дорожной поверхности и окружающей среды. Если динамические нагрузки, возникающие от опорных реакций дороги при движении, учитываются при построении упругой характеристики подвески и расчёте на прочность упругих элементов, то влияние окружающей среды до настоящего времени не принималось во внимание. Необходимость учёта такого влияния для агрегатов и систем шасси доказана в работах отечественных учёных [4, 5].

Эксплуатация подвески в зимнее время года является причиной выхода из строя упругих элементов и деталей направляющего аппарата. Отказы подвески при воздействии низких температур окружающей среды вызваны хладноломкостью стальных деталей, которая наиболее заметно проявляется при значительных динамических реакциях опорной поверхности. Если узлы трансмиссии в процессе эксплуатации нагреваются и в меньшей степени испытывают отрицательное воздействие окружающей среды, то детали подвески сильнее подвержены охлаждению. Возникновение температурных градиентов для узлов шасси подтверждено данными дорожных испытаний [6]. На рис. 1 показано различие рабочих температур узлов шасси автомобиля-самосвала КАМАЗ.

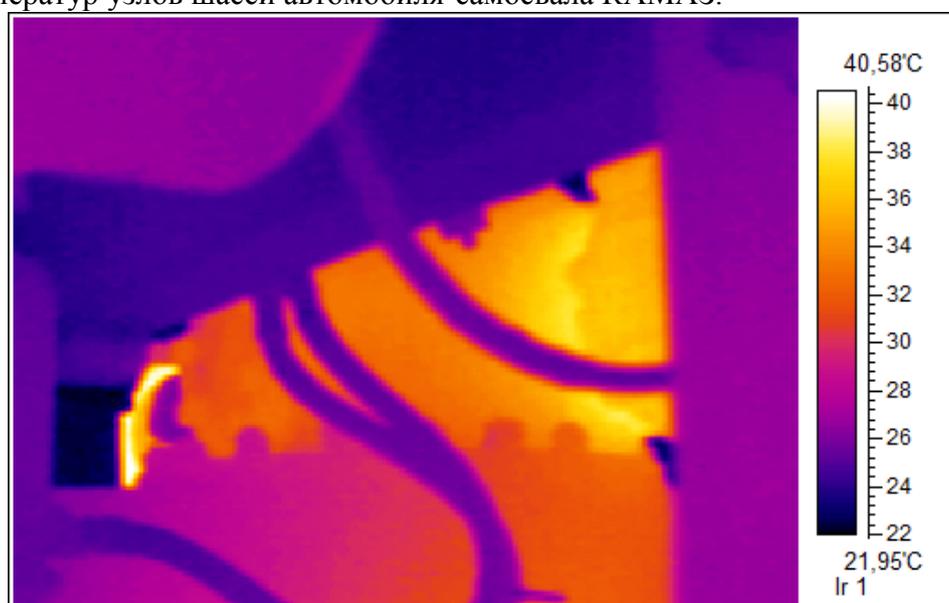


Рис. 1 – Тепловая карта узлов шасси автомобиля КАМАЗ

Вероятность поломки существенно повышается при возникновении концентрации напряжений в конструкциях, наличии технологических отклонений при изготовлении деталей и сборке подвески. Для круглого торсиона наиболее опасными сечениями являются места перехода от основной (центральной) части вала к присоединительным элементам. Необходимо также принимать во внимание влияние низких температур на упругость материала торсиона, вследствие чего изменяется упругая характеристика подвески и частота колебаний поддрессоренной массы автомобиля.

Расчёт на прочность деталей должен основываться на учёте параметров рабочего процесса торсионной подвески. Изменение прочностных свойств торсиона вследствие хладноломкости и концентрации напряжений предлагается моделировать с помощью зависимости, определяющей расчётный диаметр и длину как функции температурной деформации.

Напряжение кручения торсиона, работающего в сложных условиях, определяется по выражению:

$$\tau_t = \frac{16 \cdot M_{cr} \cdot k_d}{\pi \cdot d_r \cdot (1 + \alpha \cdot T) \cdot \gamma_n},$$

где M_{cr} - крутящий момент; k_d - коэффициент динамичности, определяемый в зависимости от типа автомобиля и режима эксплуатации; d_r - диаметр рабочей части торсиона; α - коэффициент линейного расширения; T - температура атмосферного воздуха; γ_n - коэффициент, учитывающий влияние концентрации напряжений.

Угол закручивания торсиона находится, исходя из классической зависимости сопротивления материалов и с учётом внешних факторов:

$$\theta_t = \frac{R_{zi} \cdot k_d \cdot a_r \cdot l_t \cdot (1 + \alpha \cdot T)}{J_0 \cdot G} \cdot \frac{180}{\pi},$$

где R_{zi} - реакция опорной поверхности, определяемая по нагрузке, приходящейся на колесо; a_r - плечо действия силы, равное длине рычага подвески; l_t - расчётная длина торсиона; G - модуль упругости второго рода; J_0 - момент инерции сечения вала.

Изменение угла закручивания торсиона влияет на статический ход подвески, определяемый по известной методике [8], что позволяет уточнить значение частоты колебаний подрессоренной массы и дать оценку плавности хода автомобиля.

Предлагаемые зависимости рабочего процесса торсиона автомобильной подвески дают возможность осуществить достоверный расчёт и повысить безотказность в сложных условиях эксплуатации за счёт рационального выбора конструктивных параметров.

Список литературы

1. *Гусаков, Н.В.* Конструкция автомобиля. Шасси / Н. В. Гусаков, И. Н. Зверев, А. Л. Карунин [и др.] // Под общ. ред. А. Л. Карунина. – Москва: МАМИ, 2000. – 528 с. – Текст: непосредственный.
2. Агрегаты трансмиссии автомобилей КамАЗ. Устройство, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт от КамАЗа 5320 до КамАЗа 6520. / 2-е изд., дополн. и испр. Сост. А. В. Савинков, А. И. Козадаев и др. Под общ. ред. В. А. Ильченко. – Набережные Челны: ОАО КАМАЗ, 2008. – 820 с. – Текст: непосредственный.
3. *Осепчугов В.В., Фрумкин А.К.* Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: Учебн. для студ. вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство». – Москва: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил. – Текст: непосредственный.
4. *Барыкин А.Ю.* Оценка факторов, определяющих условия эксплуатации привода колёс / А. Ю. Барыкин, М. М. Мухаметдинов. – Текст: электронный // Архитектурно-строительный и дорожный комплексы: проблемы, перспективы, новации [Электронный ресурс] Материалы Международной научно-практической конференции, 7-9 декабря 2016. – Омск: СибАДИ, 2016. – С. 541-545. – Режим доступа <http://bek.sibadi.org/fulltext/ed2224.pdf>
5. *Барыкин А.Ю.* Методика оценки температурного состояния узлов трансмиссии автомобиля КАМАЗ в зимних условиях эксплуатации / А. Ю. Барыкин, Р. Х. Тахавиев. – Текст: непосредственный. // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (22-23 декабря 2017 г.): в 2-х т. / отв. ред. А. В. Медведев. – Тюмень: ТИУ, 2018. – С. 30-34.
6. *Barykin A.Yu.* The research of thermal processes of the automobile chassis / Barykin, A. Yu., Takhaviev, R. Kh., Samigullin, A. D. // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2018. – Vol. 8, Special Issue 8, Oct 2018, 458-464.
7. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчёт. Системы управления и ходовая часть: учеб. Пособие для вузов / А. И. Гришкевич, Д. М. Ломако, В. П. Автушко [и др.]; под ред. А. И. Гришкевича. – Минск: Высшая школа, 1987. – 200 с. – Текст: непосредственный.

05.13.18

А.В. Волков канд. техн. наук, С.Н. Ивлиев канд. техн. наук, Р.Р. Биктякова

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
elsoldador@rambler.ru, ivliev_sn@mail.ru, biktyakovav@mail.ru

АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И ОЦЕНКА ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В нашем исследовании поставлена задача анализа результатов полученных экспериментальных данных нелинейных динамических моделей. Также следует отметить, что стационарный, эргодический случайный процесс с заданными статистическими характеристиками можно получить, воздействуя на линейную стационарную систему «белым шумом». Справедливо и обратное утверждение: линейная динамическая модель может являться моделью стационарного эргодического случайного процесса. Контроль такого случайного процесса в ходе анализа получаемых данных позволит своевременно учесть основные важные параметры исследуемого объекта.

Ключевые слова: *ошибки моделирования, нелинейная модель, натриевая лампа высокого давления.*

1. Введение

Расширение возможностей существующих систем АСУТП за счет введения функции и прогнозирования временных рядов позволит существенно снизить издержки ещё на стадии производства.

Автоматизированный учёт параметров готовой продукции на стадии выходного контроля позволяет существенно повысить оперативность проведения персоналом необходимых технических мер для снижения случаев возникновения брака готовой продукции. Повышение точности и достоверности анализа, а также его автоматизация создают предпосылки для проведения реальных мероприятий по снижению издержек производства.

Однако на сегодняшний день на рынке не существует готовых продуктов, позволяющих одновременно решать как задачи сбора информации с приборов учета, так и задачи прогнозирования.

Разработка автоматизированных систем управления АСУТП на основе современных математических методов позволит значительно снизить экономическую составляющую на техническое обслуживание и изготовление готовой продукции [1].

2. Постановка задачи оценки спектральной плотности

Метод сингулярной обработки траекторной матрицы используется не только для анализа временных рядов, но еще и для их прогнозирования. Если сравнивать получаемые с его помощью прогнозы, а также результаты работы других методов, то если модель априори неизвестна, то данный метод лучше других проявляет себя.

Автоматизация выделения тренда, а также обнаружения и выделения периодичностей – важная задача, например, при пакетной обработке данных. Информация, предоставляемая методами автоматической идентификации, может быть полезна и при интерактивной обработке. Разработанные методы идентификации применяются для автоматизации исследования таких рядов [2].

К примеру, встает задача установления тренда либо выделения периодических составляющих. Наподобие принципа для установления структуры того или иного действия нужна повторяемость настоящего (к примеру, вторичные выборки в статистике с целью определения характеристик генерального распределения). Если же мы имеем дело с временным рядом, что, как правило, имеется в единичном экземпляре, повторяемость в

совокупном случае отсутствует. В свойстве метода выход из данных условий в типичных методах рассмотрения временных рядов зачастую подразумевает достоверность параметрической модели ряда (к примеру, ряд складывается из линейного тренда, а также белого шума) либо же стационарность ряда (т.е. заранее подразумевается цикличность в 1-ом и 2-ом факторе). Но данные лимитирования ряда зачастую становятся строгими [3,4].

Появляется проблема: как же целиком обрести цикличность результатов, не прикладывая на ряд предварительных ограничений? Разрешение данной проблемы может показаться на первый взгляд абсолютно непосредственным. Давай проанализируем большое число отрезков временного ряда установленной довольно крупной длины L . Станем анализировать данные отрезки поочередно, с 1 по L -ю место, с 2-ой по $L+1$ -ю и т. д. Пересмотренные отрезки (именуем их векторами L -вложения) станут наследовать качества ряда. В случае если ряд включает тренд (тут под трендом мы подразумеваем медленным темпом меняющуюся часть строя), и вектора вложения станут его содержать; в случае если первоначальный ряд включает периодическую часть, подобными же станут также вектора вложения. Подобным способом мы приходим к мысли изучения целой совокупности векторов вложения с целью раскрытия их единой структуры. Составим из векторов вложения так называемую траекторную матрицу размерности $L \times K$, где $K = N - L + 1$ есть число векторов вложения. Она станет иметь вид:

$$X = \begin{pmatrix} f_0 f_1 \dots f_{K-1} \\ f_1 f_2 \dots f_K \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{L-1} f_L \dots f_{N-1} \end{pmatrix} = [X_1, \dots, X_K]$$

$$X_j = \begin{pmatrix} f_{j-1} \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{j+L-2} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Сейчас у нас имеется цикличность, а также мы можем попробовать разглядеть структуру векторов вложения. Используем следующим способом: разложим всю траекторную матрицу в простые доли (в необходимую сумму простых матриц), в определенном значении самостоятельные (прямоугольные), а также упорядоченные по их взносу в разложение. В случае если разложение окажется «удачным» мы сможем объединить данные в простые матрицы таким образом, чтобы, к примеру, одна категория отвечала трендовой составляющей ряда и т. д.

Потом просуммируем матрицы внутри любой категории и возвратимся от разложения матриц к разложению ряда в тренд, повторяющуюся составляющую и остаток [5].

Для идентификации тренда рассмотрим одномерные графики собственных векторов, первые 4 из которых изображены на рисунке 1.

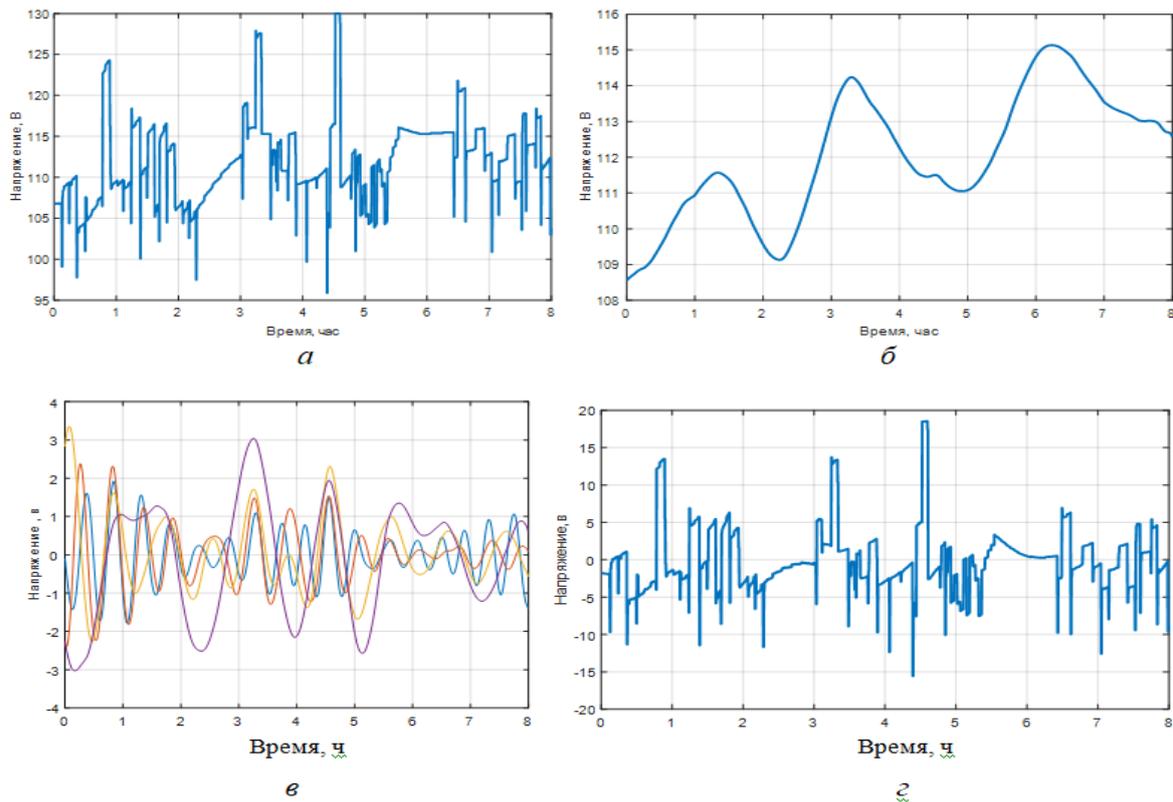


Рис. 1 – Графики исходной (а), трендовой (б), периодической (в), случайной (з) составляющих

Как мы знаем, для выделения тренда необходимо сгруппировать собственные тройки с медленно меняющимися сингулярными векторами. На рисунке 1 видно, что наличие трендовой и периодической составляющих сигнала существует, но следует отметить, что трендовая составляющая могла бы проявиться ещё более наглядно, если бы длина исходного набора данных была год и более.

Выводы

1. Обзор статистических методов анализа данных позволил остановиться на анализе параметров временных рядов, генерируемых системой контроля с применением статистических и динамических моделей временного ряда.
2. По максимальной ошибке параметрической идентификации проведен выбор математической модели для контроля качества натриевых ламп высокого давления.

Список литературы

1. Мишин В.М. Управление качеством: учеб.для студ. вузов, обучающихся по спец. «Менеджмент организации» (061100) / В.М. Мишин.– 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 463 с.
2. Артамонов Д.В. Основы теории линейных систем автоматического управления / Д.В. Артамонов, А.Д. Семенов. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 130 с.
3. Архипов В.А. Практикум по теории подобия и анализу размерностей [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / В.А. Архипов, А.И. Коноваленко. – Электрон.дан. – Томск : ТГУ, 2016. – 93 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105094> (дата обращения 7.03.2019).
4. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиции непрерывных функций одного переменного и сложения / А.Н. Колмогоров // Докл. АН СССР. – 1057. –Е. 114. – № 5. – С. 953–956.
5. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: учеб.пособие / Н.Э. Голяндина. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2004. – 52 с.

05.13.18

А.В. Волков канд. техн. наук, С.Н. Ивлиев канд. техн. наук, Т.А. Захватова

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
elsoldador@rambler.ru, ivliev_sn@mail.ru, tatyana.zahvatova123@gmail.com

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ

Анализ и обработка экспериментальных данных являются неотъемлемой частью любых научных исследований. Предлагается применение спектральных методов для анализа результатов измерений, полученных в ходе проверки работоспособности натриевой лампы высокого давления. В основе математического аппарата лежит разложение сигналов объекта на ортонормированные функции, что позволяет применить интегральное определение ядра уравнения объекта, которое в простейшем случае линейных одномерных систем совпадает с весовой функцией.

Ключевые слова: *идентификация, нелинейная динамическая модель, метод матричных операторов, натриевая лампа высокого давления.*

1. Введение

После производства, равно как и всевозможные иные источники освещения, перед отгрузкой потребителю лампы обязаны пройти процедуру стендовых тестирований, а также разбраковки. Тестирования состоят в испытании ламп в установленный период времени с контролем их основных характеристик. Проверка заключается в измерении напряжения на лампах, а также сопоставлении установленных значений напряжений со значениями, характеризуемыми техническими требованиями.

Применение и последующие развитие спектральных методов идентификации на основе метода матричных операторов описаны в литературе [4].

Для описания объекта идентификации формируется интегральное уравнение, которое описывает ход процесса идентификации.

Кроме того следует отметить, что если в ходе не стационарных режимов работы системы изменяется её интегральное уравнение с периодом времени, то применение спектральных методов позволит производить анализ не стационарных режимов работы всей системы [5].

2. Метод матричных операторов

Метод матричных операторов, как и спектральные методы анализа, подразумевают разложение сигнала на гармоники, например, преобразование Фурье и разложение по ортогональным базисам, такие как например функции Уолша.

Предположим что Φ^T – одностолбцовая матрица ортонормированного базиса, а случайный сигнал системы задан $x(t)$ находящийся в интервале времени $[t_0, t_1]$, для разложения по базисным функциям воспользуемся выражением (1).

$$x(t) = \Phi^T(t)C^x \quad (1)$$

где C^x – коэффициенты разложения $x(t)$ по базисным функциям.

Для определения коэффициентов разложения по базисным функциям C^x необходимо получить значения коэффициентов разложения Фурье для сигнала $x(t)$ относительно некоторой заранее определённой функций $\Phi(t)$.

Запишем выражение так, чтобы реализовывать отображение входного вектора в выходной с поддержкой матричного оператора A – выражение (2).

$$C^y = AC^x \quad (2)$$

При исследовании нестационарных процессов, происходящих в системах, применение линейных моделей становится малоэффективным из-за большого размера последней, по этой причине и появилась идея применения методов использующих аппарат матричных операторов, а также спектральных методов [5].

Чтобы проанализировать наши экспериментальные данные необходимо записать матричный оператор интегрирования в виде выражения (3) в базисе функций Уолша [6] для входного сигнала $x(t)$, заданного на интервале времени $[0, 1]$.

$$y(t) = \int_0^t x(\tau) d\tau \tag{3}$$

Для нахождения матричного оператора интегрирования подставим в выражение для интегрируемой функции ее разложение по выбранному базису (4):

$$y(t) = \int_0^T x(\tau) d\tau = \int_0^T \Phi^T(\tau) C^x d\tau \tag{4}$$

Поскольку C^x не зависит от τ , ее можно вынести за знак интеграла

$$y(t) = \int_0^T \Phi^T(\tau) d\tau C^x \tag{5}$$

а интеграл от базисных функций также разложить по выбранному базису

$$\Phi_s(t) = \int_0^t \Phi^T(\tau) d\tau = \sum_{i=1}^n \Phi(\tau_i) \Delta\tau = A_n \Phi(\tau_i) \tag{6}$$

Откуда можно найти искомый оператор интегрирования

$$A_n = \Phi^{-1} \Phi_s \tag{7}$$

Представленный выше ход рассуждений дает возможность осуществить реализацию более точной математической модели натриевой лампы высокого давления, применяя метод матричных операторов.

В ходе проведения исследований использовались экспериментальные данные, полученные на реальной натриевой лампе ДНаЗ-600/400.

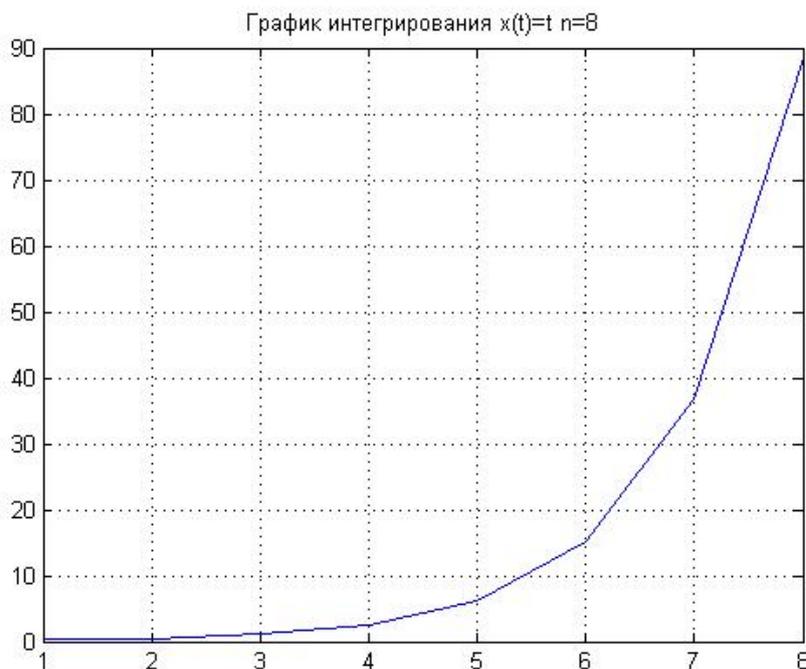


Рис. 1 – Интегрирование в базисе Уолша

На рисунке 1 показан график, полученный интегрированием входных данных. Анализ полученных результатов показал, что ошибка моделирования не превышает 12,3%, число идентифицируемых параметров – 8, т.к. это набор основных параметров, используемых в ходе описания математической модели натриевой лампы высокого давления.

Кроме этого существует проблема, связанная с плохой обусловленностью матрицы системы. Это обусловлено наличием не только внутренних помех, шумами измерительного оборудования, но и наличием внешних факторов, такими как различного рода наводками или наведёнными помехами на исследуемый объект.

Поэтому перед началом проведения исследований полученных экспериментальных данных необходимо отфильтровать данные [1], удалив из них, например, составляющую фона переменного тока частотой 50 Гц.

Выводы

1. Полученные в ходе работы результаты можно считать удовлетворительными и продолжить проводить дальнейшие исследования с использованием данного математического аппарата.

2. Экспериментальная проверка предложенного метода идентификации на примере модели натриевой лампы высокого давления показала, что среднеквадратичное отклонение тока и напряжения от номинальных значений не превышает 6 % для напряжения и 11% для тока.

3. Учитывая, что для реализации метода матричных операторов не требуется большого числа параметров объекта, то можно рассматривать данный подход как один из эффективных методов идентификации.

Список литературы

1. *Александров Ф.И.* Автоматизация выделения трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках метода «Гусеница»-SSA / Ф. И. Александров, Н. Э. Голяндина // Математика в приложениях. – 2004. – С. 54–61.
2. *Seменов A.D., Volkov A.V., Shchipakina N.I.* Operational control algorithm of parameters of high-pressure sodium lamps based on a statistical time series model / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 971(3), 032084 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/971/3/032084>.
3. *Кончуковский Д.А.* Моделирование электрических параметров газоразрядной лампы / Д.А. Кончуковский // Светотехника. – 2009. – №4. – С. 12–15.
4. *Пойда В.Н.* Спектральный анализ в дискретных ортогональных базисах / В. Н. Пойда. – Минск: Наука и техника, 1978. – 136 с.
5. *Волков А.В.* Построение математической модели натриевой лампы высокого давления методом матричных операторов / А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева– Казань., 2019. – №12. – С. 181-184.
6. *Семенов А.Д.* Идентификация объектов управления: Учебн. пособие. / А. Д. Семенов, Д.В. Артамонов, А.В. Брюхачев // Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003 – С. 211.

05.13.18

¹А.Ф. Галимянов, ²Ф.А. Галимянов, 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, fanisgalimyanov@gmail.com**ВЫЧИСЛЕНИЕ ДРОБНЫХ ИНТЕГРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

В данной статье мы рассматриваем интегральное число Римана – Лиувилля порядка $0 < \alpha < 1$. Мы вводим метод поиска приближенных решений численных интегралов с использованием нейронных сетей с прямой связью. В конце мы приводим несколько примеров, чтобы проиллюстрировать полученные результаты и сравнить их с точным решением (аналитические) [1].

Ключевые слова: дробные интегралы, искусственные нейронные сети, нейронные сети с прямой связью, функция активации.

Введение - определение дробных интегралов

Определение: пусть $\varphi(x) \in L_1(a, b)$. Интегралы:

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

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

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. В этой статье мы говорим об интеграле вида (1).

Нейронная сеть

В этой статье используется четырехслойная нейронная сеть. Входной слой состоит из n элементов и смещения, n — размерность вектора x (на входной слой подаются координаты вектора x), скрытый слой состоит из m элементов. Количество элементов в скрытом слое определяется экспериментально. Выходной слой состоит из одного элемента.

Для i -го узла класса l со смещением b_i необходимо выполнить два шага:

Линейное суммирование: $z_i^{(l)} = \sum_{j=1}^{l-1} a_j^{(l-1)} w_{ji}^{(l)} + b_j^{(l)}$

Применить функцию активации: $a_i^{(l)} = \sigma(z_i^{(l)})$

Нейронная сеть обучается методом обратного распространения ошибки с использованием градиентного метода с постоянным шагом, функция активации скрытого слоя:

Линейная функция активации (Linear): $f(x) = x$

Сигмоида (Sigmoid): $\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$

Гиперболический тангенс (Tanh): $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

Relu: $f(x) = \max(0, x)$

Leaky ReLU: $f(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ ax, & \text{otherwise} \end{cases}$

Функция Loss Functions часто используется:

Среднеквадратичная ошибка (Mean Squared Error)

Кросс-энтропия (Cross-entropy)

Задача обучения нейронной сети заключается в поиске весов и смещении.

Иллюстрация метода - интеграл Монте-Карло

Согласно методу Монте-Карло, если: x_1, x_2, \dots, x_n - независимые случайные величины с одинаковым равномерным распределением на интервале (a, b) , то интеграл:

$$I = \int_a^b f(x) dx$$

ожидается, что это будет сумма:

$$E(I) = \frac{b-a}{N} \sum_{i=1}^N f(x_i) \quad (3)$$

Ошибка прогноза рассчитывается как корень дисперсии среднего:

$$\sigma^2(E(I)) = \frac{b-a}{N} \sum_{i=1}^N (f(x_i) - \langle f \rangle)^2$$

Основная идея метода

Результатом интеграла (1) является то, что функция $g(x)$ зависит от переменной x , поэтому, чтобы найти решение интеграла (1) в области D , нам нужно найти функцию $f(x)$, которая аппроксимирует функцию $g(x)$, чтобы ошибка была минимальной.

Возьмем сетку x , с шагом Δx

i	1	2	3	...	n
x	$x_0 = a$	$x_1 = x_0 + \Delta x$	$x_2 = x_1 + \Delta x$...	$x_{n-1} = x_{n-2} + \Delta x$
I(x)	$I(x_0)$	$I(x_1)$	$I(x_2)$...	$I(x_{n-1})$

Нейронная сеть: с помощью нейронной сети для вычисления $I(x_i)$ по формуле (3), ввод: x'_i в интервале (a, x_i) , выход: $I(x_i) = \frac{x_i - a}{N} \sum_{i=1}^N f(x'_i)$, N - количество точек x'_i

Общий вид соответствующей функции ошибок строится в виде:

$$E = \sum_{i=1}^m \{N(x_i) - I(x_i)\}^2$$

Численные результаты

Приведем два примера, чтобы проиллюстрировать наши результаты. Программа написана на языке Python с использованием библиотеки `pytorch`. Разработаны три уровня норрон: входной слой, скрытый слой и выходной слой, функция ошибок - MSE, функции активации для скрытого слоя - ReLu, для выходного слоя - сигмоид. Чтобы получить достоверные результаты, можно использовать больше скрытых нейронов или тренировочных точек.

Пример: для степенных функций $\varphi(t) = t$, тогда дробный интеграл имеет вид:

$$(I_{0+}^{\alpha} \varphi)(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x \frac{t}{(x-t)^{1/2}} dt$$

рассматриваем случай $a = 0, \alpha = \frac{1}{2}, \Gamma(\frac{1}{2}) = \sqrt{\pi}$,

$$y(x) = \frac{4}{3\sqrt{\pi}} x^{3/2}$$

с точным решением

В таблице 1 представлены аналитические решения и решения ANN для $\alpha = 0.5$.

Таблица 1 – Аналитические результаты и результаты ANN для $\alpha = 0.5$

входные данные	Точное решение (аналитическое)	ANN
0	0	0.00495
0.1	0.02337	0.02337
0.2	0.06660	0.06660
0.3	0.12391	0.12391
0.4	0.19143	0.19143
0.5	0.26649	0.26649
0.6	0.35040	0.35040
0.7	0.44119	0.44119
0.8	0.54057	0.54057
0.9	0.64556	0.64556
1.0	0.75280	0.75280

Выводы

В этой работе было проведено сравнение метода приближенного вычисления дробного интеграла Римана – Лиувилля и нейронной сети. Результаты показывают, что нейронная сеть довольно точна. Также стоит заметить, что алгоритм нейронной сети очень прост и вычислительно эффективен.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта «Цифровая модель формирования индивидуальной траектории профессионального развития учителя на основе больших данных и нейросетей (на примере Республики Татарстан)», № 19-29-14082

Список литературы

1. *Samko S.G., Kilbas A.A., Marichev O.I.* Fractional Integrals and Derivatives and Theory and Applications, 1993.
2. *Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.* Численные методы. Изд. 4-е. М.: Бинوم, 2016. 636 с.
3. *Корнейчук А.А.* Квадратурные формулы для сингулярных интегралов // Дополнение к ЖВМ и М.Ф. т.4. 1964 г.
4. *Bôcher M.* (1914) Integral equations. Cambridge University Press, Cambridge.
5. *Krose B., Vander Smagt P* (1996) An introduction to neural networks. Amsterdam University Press, Amsterdam.
6. *Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л.* Методы сплайн функций // М., «Наука», главная редакция физ.мат литературы, 1980.
7. *Doncheski M.A., Robinett R.W.* (2002) Quantum mechanical analysis of the equilateral triangle billiard: periodic orbit theory and wave packet revivals. Ann Phys 299:208–227.
8. *Effati S., Pakdaman M.* (2010) Artificial neural network approach for solving fuzzy differential equations. Information Sciences 180:1434–1457.
9. *Golbabai A., Seifollahi S.* (2009) Solving a system of nonlinear integral equations by an RBF network. Comput Math Appl 57:1651–1658.
10. *Golbabai A., Seifollahi S.* (2006) Numerical solution of the second kind integral equations using radial basis function networks. Appl Math Comput 181:903–907.
11. *Golbabai A., Seifollahi S.* (2006) An iterative solution for the second kind integral equations using radial basis functions. Appl Math Comput 181:903–907.

05.13.18

Д.А. Груздков, А.А. Рачишкин

Тверской государственной технической университет,
факультет информационных технологий,
кафедра автоматизации технологических процессов,
Тверь, denisgruzdkov@yandex.ru

АЛГОРИТМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ МАШИН ТРЕНИЯ

В статье рассматривается способ дискретного микроконтроллерного управления шаговыми двигателями с равномерным ускорением с расчетом параметров управляющего сигнала в реальном времени. Представлен алгоритм и метод расчета задержек между фронтами управляющего сигнала. Разработан алгоритм для динамической генерации управляющего сигнала. Он позволяет изменять режим работы двигателя в реальном времени, регулируя ускорение, замедление и поддержку скорости.

Ключевые слова: алгоритмизация, микроконтроллерное управление, шаговый двигатель, дискретное управление.

Введение. Современные механические системы и различное оборудование часто содержит в себе шаговые двигатели (далее ШД) в качестве исполнительных механизмов. Для таких типов двигателей применяются сложные системы управления, включающие в себя вычислительные устройства для управления и специальные драйверы шагового двигателя (далее драйвер) для реализации физических принципов. Самое широкое распространение получили гибридные ШД [1].

Постановка задачи. Привод системы [2] представляет собой ШД в связке с специализированным драйвером. В качестве управляющего устройства используется микроконтроллер серии STM32. Для реализации управления требуется написать встроенное программное обеспечение микроконтроллера для генерации управляющего сигнала. Применение ШД в системах, где необходимы высокие скоростные и нагрузочные характеристики, требует особый подход к генерации управляющего сигнала [2].

Описание управляющего сигнала. Сигнал представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, по фронту которой драйвер совершает необходимые переключения в обмотках ШД для поворота вала на заданный драйвером угол. Драйверы используют формат сигнала, независимый от количества шагов на оборот двигателя, что позволяет создать программу, которая может управлять любыми комбинациями ШД и драйвера, использующими STEP/DIR протокол (или же CW\CCW) [3]. На временных диаграммах сигналов рис.1 приведены два возможных сигнала подаваемых на драйвер.

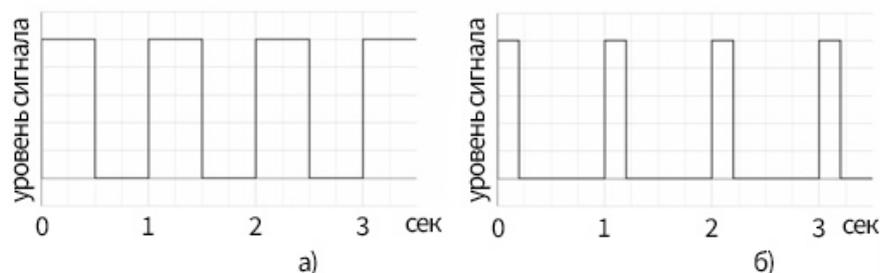


Рис. 1 – Временная диаграмма сигналов, подаваемых на драйвер

Данные сигналы имеют одинаковую частоту импульсов, но разную ширину по времени. Для драйвера оба сигнала будут эквивалентны, поскольку драйвер опирается только на фронт сигнала, а они приходят в равные промежутки времени. Следовательно, частота

совершения шагов ШД (частота вращения) будет одинаковой для этих сигналов.

Для управления шаговым двигателем нужно написать такое встроенное программное обеспечение микроконтроллера, которое будет генерировать импульсы минимальной ширины с необходимой частотой.

Необходимую частоту можно рассчитать по следующей формуле:

$$f = \frac{vn}{60} (1)$$

где f — частота импульсов управляющего сигнала в [Гц];

v — скорость вращения вала ШД [об/мин];

n — количество шагов для полного оборота вала ШД;

Однако для микроконтроллера необходимо рассчитать именно величину задержки между импульсами. Для расчета фиксированной величины задержки δt [сек] можно воспользоваться формулой:

$$\delta t = \frac{60}{vn} (2)$$

В программе достаточно рассчитывать необходимую задержку и по таймеру создавать импульс сигнала на выводе микроконтроллера. При таком простейшем алгоритме вал двигателя будет вращаться с постоянной v [об/мин]. Однако на практике скорость будет ограничена, т.к. подаваемая частота будет моментально приходить на драйвер, а вал ШД физически не сможет моментально разогнаться до установленной скорости в случае, когда скорость будет слишком высока. Для того чтобы развить более высокие скорости, требуется плавно увеличивать скорость до заданной.

Динамический расчет задержки для плавного линейного ускорения. Для плавного ускорения требуется линейное увеличение частоты импульсов. Считается, что линейное изменение скорости ШД слишком сложно для расчета в реальном времени. Однако, в статье [4] предлагается экономичный для ресурсов микроконтроллера способ расчета задержек в реальном времени. Это позволяет сделать разгон линейным, без резких ступеней и отказаться от старого метода предварительного расчета задержек в скомпилированный массив, не расходуя память на эти данные [5].

$$\delta t_i = \delta t_{i-1} - \frac{2 \cdot \delta t_{i-1}}{4 \cdot n_i + 1} (3)$$

По формуле 3 рассчитывается задержка δt_i для каждого i -го шага, а для расчета δt_0 применяется следующая формула:

$$\delta t_0 = f \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega'}} (4)$$

Именно задержка δt_0 определяет величину ускорения и инкремента для всех последующих δt_i . Величина ускорения ω' [рад/сек²] и угловой шаг двигателя α [рад] определяют δt_0 , а следующие задержки рассчитываются от нее по формуле 3. Сохранение текущего номера шага n в переменной позволяет создать алгоритм управления с замедлением, ускорением, изменением задания скорости в реальном времени и отслеживанием текущего режима работы: остановлен (ОСТ), ускорение (УСК), замедление (ЗАМ), поддержание скорости (ПОДД).

На рисунке 2 приводится блок-схема разработанного алгоритма. Он выполняется непрерывно в основном цикле программы микроконтроллера. Если двигатель в режиме ОСТ, то необходимо проверить заданы ли все необходимые значения, если считать, что δt_0 задана, то проверяем задана ли скорость (скорость dt_T определяется по формуле 2) и переходим к режиму УСК. В следующих итерациях алгоритма программа идет по ветке УСК, в которой по формуле 3 уменьшается задержка dt , и проверяется достижение заданной задержки dt_T . Если заданная задержка dt_T достигнута, то осуществляется переход в режим ПОДД, в котором задержка не изменяется и поддерживается достигнутая скорость, но отслеживается изменилась ли заданная задержка dt_T . Эта ветка позволяет отследить изменение заданной скорости в процессе выполнения программы и перейти в режим УСК, если заданная скорость увеличилась (dt_T стала меньше), иначе – режим ЗАМ.

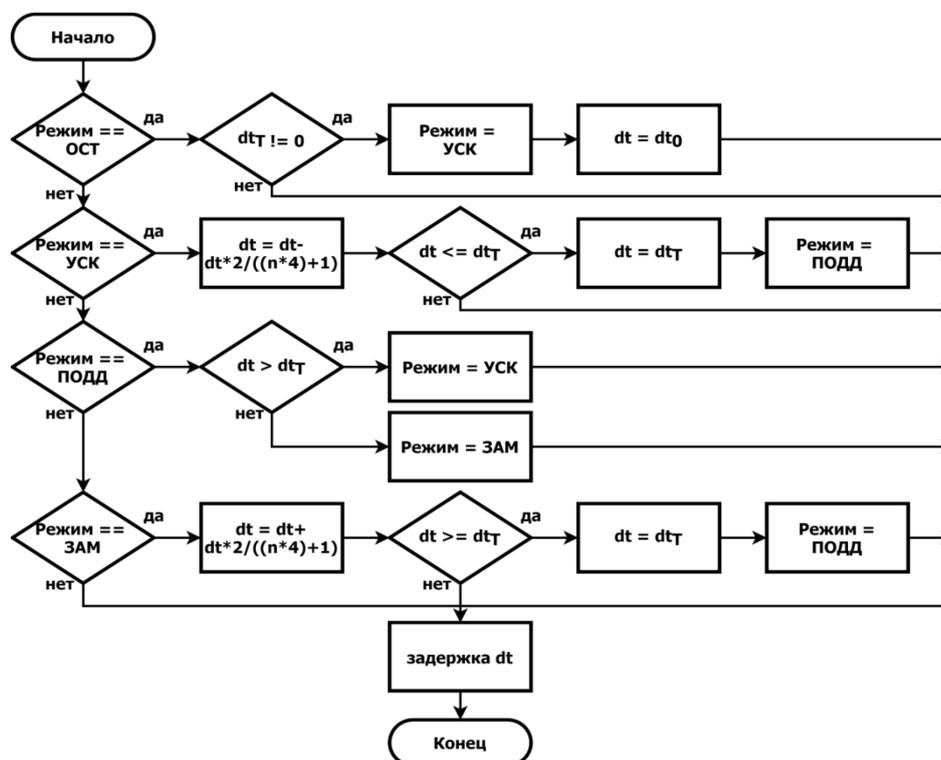


Рис 2 – Блок-схема алгоритма генерации импульса

Режим ЗАМ обратен режиму УСК. После обработки каждого из режимов следует совершить импульс с отсчетом рассчитанной dt , и в случае замедления или ускорения уменьшить или увеличить соответственно номер шага n . При достижении $n = 0$ совершается остановка двигателя и переход в режим ОСТ.

Вывод. Использование представленного алгоритма позволяет проводить программную регулировку скорости двигателя во время испытаний. А также обеспечивает машине трения скорость вращения образца в диапазоне от 1 об/мин до 3600 об/мин. Это является одним из необходимых требований по проведению триботехнических испытаний материалов и покрытий по шести стандартам ASTM [6, 7].

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-326.2021.4

Список литературы

1. Емельянов А.В. Шаговые двигатели: учеб. пособие // А. В. Емельянов, А. Н. Шилин // ВолгГТУ. — Волгоград, 2005. - 48 с. ISBN № 5-230-04591-4
2. Сулягин О.В. Установка для лабораторных триботехнических испытаний ТС-2. // О.В. Сулягин, А.А. Рачишкин, Д.А. Груздков // Межвуз. сб. науч.тр. Тверь: ТвГТУ, 2021. № 14. С. 85-90.
3. [Электронный ресурс] Кафедра АППиЭ Simple Machines Forum URL: <http://forum.kafedra-appie.ru/index.php?topic=281.0> (дата обращения: 29.11.2021)
4. Stoychitch M.Y. Generate stepper-motor speed profiles in real time // Citation M. Y. Stoychitch 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 294 012055
5. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления // Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 200 с.: ил.
6. ASTM-D2625. Standard Test Method for Endurance (Wear) Life and Load-Carrying Capacity of Solid Film Lubricants (Falex Pin and Vee Method).
7. ASTM-D2714. Calibration and Operation of the Falex Block-on-Ring Friction and Wear Testing Machine.

05.13.18

А.А. Дубанов канд. техн. наук, А.Э. Севээн,
А.В. Урбаханов канд. физ.-мат. наук, Б.В. Монгуш

Бурятский государственный университет,
Институт математики и информатики,
кафедра геометрии и методики преподавания математики,
Улан-Удэ, aikys.seveen@mail.ru

КОРРЕКЦИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПРЕСЛЕДОВАТЕЛЯ ПРИ МЕТОДЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СБЛИЖЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ В ПРОСТРАНСТВЕ

В данной статье рассматривается кинематическая модель итерационного расчета траектории преследователя. По материалам статьи составлена математическая модель построения траектории преследователя, сближающегося с целью в пространстве. Скорости преследователя и цели в момент начала итерационного процесса направлены произвольно. Суть представленного метода заключается в том, что преследователь плавно с допустимой угловой скоростью изменяет направление движение до тех пор, пока оно не будет совмещено с направлением на точку, принадлежащей окружности Аполлония, как в методе параллельного сближения. Допустимая угловая скорость определяется условием, что радиус кривизны траектории преследователя не может быть меньше определенного значения при заданной скорости движения.

Ключевые слова: траектория, угловая скорость, ограничение по кривизне, преследователь, цель, достижение, окружность Аполлония.

Целью данной статьи является разработать квазидискретную модель построения траектории преследователя. Преследователь и цель движутся в пространстве. Вектор скорости преследователя направлен произвольно (Рис. 1). В определенные дискретные моменты времени преследователь будет совершать поворот на допустимый угол и совершать шаг на допустимое расстояние. Плоскость задается вектором \overrightarrow{PK} , вектором скорости \vec{V}_P и точкой положения преследователя P .

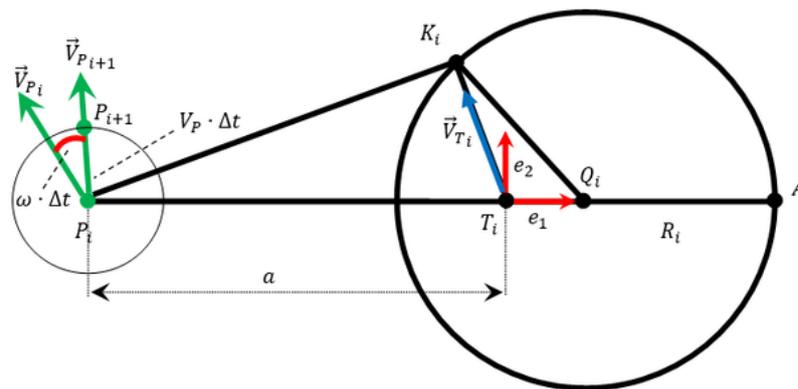


Рис. 1 – Корректировка направления при параллельном сближении

Окружность Аполлония в пространстве (Рис. 2) в определенный момент времени t_i лежит в плоскости, образованной точкой P_i , линией визирования $(P_i T_i)$ вектором скорости движения \vec{V}_{T_i} . Для нахождения точки K_i необходимо решить систему уравнений (1):

$$\begin{cases} (K_i - Q_i)^2 = R_i^2 \\ K_i = T_i + \vec{V}_{T_i} \cdot \tau \end{cases} \quad (1)$$

Первое уравнение системы (1) показывает, что это не окружность, а сфера с центром в точке Q_i радиуса R_i , задача рассматривается в пространстве. Радиус сферы, содержащей окружность Аполлония: $R_i = \frac{k}{|k^2-1|} \cdot |T_i - P_i|$, где k - есть отношение модулей скоростей преследователя и цели в момент времени t_i . Центр сферы рассчитывается по формуле: $Q_i = P_i + \frac{k^2}{k^2-1} \cdot (T_i - K_i)$.

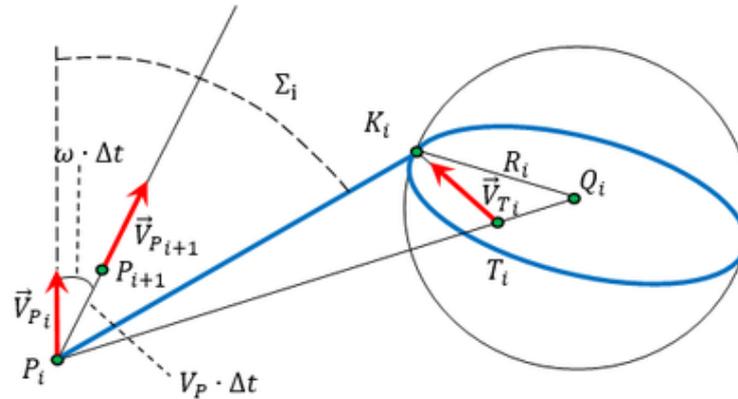


Рис. 2 – Итерационный процесс в пространстве

Преследователь в течении промежутка времени Δt может совершить поворот на угол $\omega \cdot \Delta t$. Вращение будет совершаться в плоскости Σ_i . Плоскость Σ_i образована линией визирования $(P_i K_i)$, вектором \vec{V}_i направления движения преследователя и опорной точкой P_i .

Для того, чтобы совершить шаг и поворот в плоскости Σ_i , целесообразно перейти в локальный базис (E_1, E_2, E_3) , где базисные векторы рассчитываются так:

$$E_1 = \frac{K_i - P_i}{|K_i - P_i|}, E_3 = \frac{(K_i - P_i) \times \vec{V}_{P_i}}{|(K_i - P_i) \times \vec{V}_{P_i}|}, E_2 = \frac{E_3 \times E_1}{|E_3 \times E_1|}.$$

Угол α между вектором направления движения \vec{V}_{P_i} преследователя и линией визирования $(P_i K_i)$ равен $\alpha = \arccos\left(\frac{\vec{V}_{P_i} \cdot E_1}{|\vec{V}_{P_i}| \cdot |E_1|}\right)$.

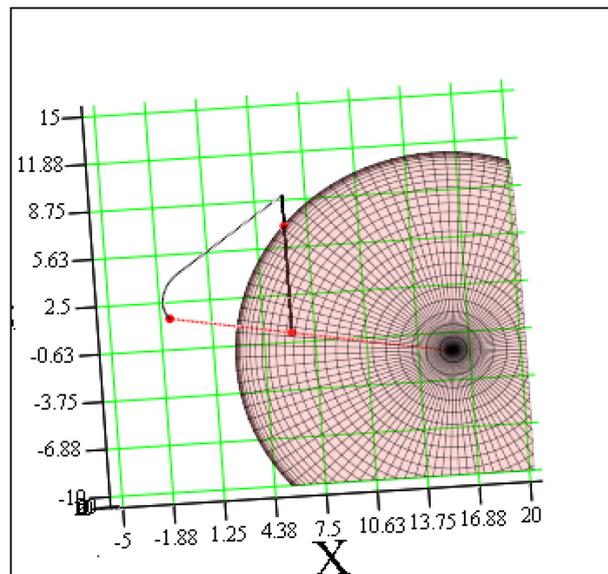
Допустимый угол поворота α_0 есть $\alpha_0 = \omega \cdot \Delta t$. Положение преследователя P^{**} после шага и поворота в системе координат (E_1, E_2, E_3) будет рассчитываться: $P^{**} = \begin{bmatrix} |P^*| \cdot \cos(\alpha_n) \\ |P^*| \cdot \sin(\alpha_n) \\ 0 \end{bmatrix}$.

В тестовой программе процесс преследования происходит на участке пространства размерами $[-10; 20] \times [-10; 2] \times [-10; 20]$. Модуль скорости равномерного движения преследователя составляет 16 м/с , скорость цели равна 12 м/с .

Радиус кривизны траектории преследователя не должен быть меньше двух метров. На (Рис. 3) отображена траектория движения преследователя от момента начала преследования до достижения цели. По истечении некоторого промежутка времени траектория преследователя переходит на прямолинейный участок. Во время движения по прямой скорость преследователя направлена на точку на окружности Аполлония, которая расположена в плоскости, образованной векторами движения преследователя, цели и точкой расположения преследователя.

До момента перехода на прямолинейный участок траектория преследователя представляет собой плавную кривую, которая удовлетворяет ограничениям по кривизне.

Метод коррекции направления движения преследователя, рассматриваемый в статье, разработан для того, чтобы произвольное направление скорости преследователя постепенно преобразовать к направлению, соответствующему методу параллельного сближения.



$$S_{P_{\text{пр.}}} (X, Y, Z), (X_p, Y_p, Z_p), (X_T, Y_T, Z_T), I_{PQ}$$

Рис. 3 – Моделирование траектории преследователя

Заключение

Вектор скорости преследователя стремится совпасть прямой, соединяющей преследователя и точку на окружности Аполлония. Точка на окружности Аполлония определяется координатами преследователя и цели в пространстве, вектором скорости цели и модулем вектора скорости преследователя.

Плоскость, в которой расположена окружность Аполлония, определяется прямой, соединяющей преследователя и цель, и вектором скорости цели.

Данная модель может быть полезна разработчикам программного обеспечения для систем автономного управления БПЛА, оснащенных элементами искусственного интеллекта.

В работе использовались теоретические результаты основоположников теории игр [1], [2], [3], [4]. Использовались также результаты, достигнутые в работах [5], [6], [7], [8].

В результате работы программы получено анимированное изображение, размещенное на ресурсе [9].

Список литературы

1. Айзекс Р. Дифференциальные игры. Москва: Мир, 1967.
2. Понтрягин Л.С. Линейная дифференциальная игра уклонения // Тр. МИАН СССР. 1971. Т. 112. С. 30-63.
3. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры // М, Наука, 1974 г.
4. Петросян Л.А. Дифференциальные игры преследования // Изд-во ЛГУ, 1977 г. 222 с.
5. Вагин Д.А., Петров Н.Н. Задача по преследованию скоординированных беглецов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 5. Стр. 75-79.
6. Банников А.С. Некоторые нестационарные задачи группового преследования // Труды Института математики и информатики УдГУ. 2013. Вып. 1 (41), С. 3-46.
7. Банников А.С. Нестационарная задача группового преследования // Труды Математического центра Лобачевского. Казань: Изд-во Казанского математического общества, 2006, Вып. 34, С. 26-28.
8. Измestъев И.В., Ухоботов В.И. «Задача преследования маломаневренных объектов с терминальным множеством в виде кольца», Материалы международной конференции «Геометрические методы в теории управления и математической физике: дифференциальные уравнения, интегрируемость, качественная теория» Рязань, 15-18 сентября 2016 г., Итоги науки и техники. Темат. обз., 148, ВИНТИ РАН, Москва, 2018, С. 25-31.
9. Видео, результаты моделирования задачи преследования в пространстве, <https://youtu.be/8nDUSi3ENB4>

05.13.18

А.Н. Кожевников

Новосибирский государственный технический университет,
факультет летательных аппаратов,
кафедра прочности летательных аппаратов,
Новосибирск, kozhevnikov.2010@corp.nstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Представлен подход к моделированию динамического взаимодействия отдельных элементов сложной пространственной системы – контактной сети городского электрифицированного транспорта. Предложено разбиение системы на структурные элементы, описаны подходы к построению расчетных моделей отдельных элементов. Получены значения частот собственных колебаний отдельно стоящих металлических опор контактной сети.

Ключевые слова: метод конечных элементов, Solid Works, опоры контактной сети, городской общественный транспорт, стержень переменного поперечного сечения.

При обеспечении электрическим питанием городского общественного транспорта применяются воздушные контактные сети различной конструкции. Большая часть контактной сети г. Новосибирска представлена проводами электросети, закрепленными на металлических или железобетонных опорах. Среди структурных элементов системы можно выделить непосредственно проводники тока, опоры контактной сети и поддерживающие кронштейны для фиксации проводов на опорах. Схема типового участка контактной сети представлена на рисунке 1 [1].

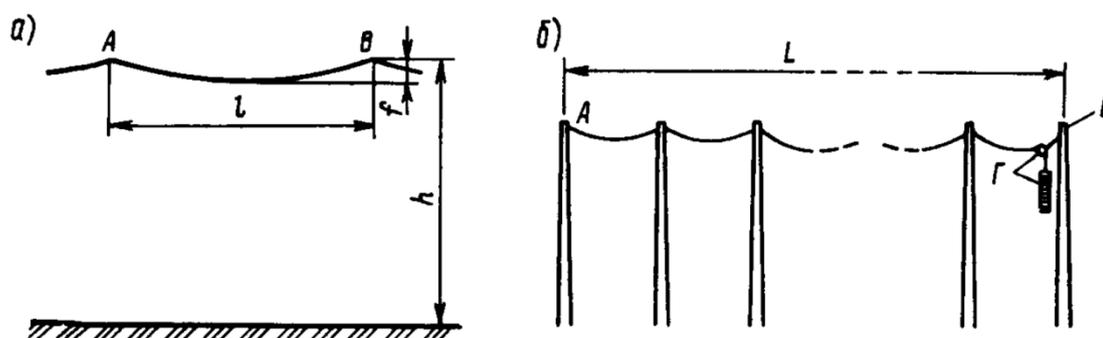


Рис. 6. Схемы подвешивания провода:
а – в пролете; б – с автоматическим регулированием натяжения; l – длина пролета
 f – стрела провеса; h – высота подвески контактного провода; L – длина анкерного участка; А, Б – опоры (точки подвешивания); Г – грузовой компенсатор

Рис. 1 – Структурная схема участка контактной сети

Основным подходом к анализу динамического деформирования или частот собственных колебаний выступает дискретное моделирование в конечно-элементных комплексах. Общая идея применения метода конечного элемента заключается в замене континуального объекта исследования некоторой аппроксимацией дискретными элементами с заданной степенью точности [2]. Решение (поле перемещений, напряжений) для каждого элемента известно, что позволяет описать поведение всей моделируемой конструкции.

Построение полноразмерной расчетной модели отдельного участка контактной сети из двух соседних опор и проводов, натянутых между ними, представляет из себя достаточно сложную задачу в силу сложности стыковки стержневой модели проводов [3] и конечно-элементной модели опоры. Дополнительное увеличение размерности задачи возникает вследствие пространственной постановки задачи о собственных колебаниях отдельной опоры.

Указанные опоры контактной сети представляют собой с точки зрения моделирования ступенчатые стержни переменного сечения. При построении расчетной модели отдельной опоры можно использовать, как только комплекс Solid Works, так и комбинацию Solid Works, в качестве строителя геометрической модели, и ANSYS Workbench – расчетный модуль. Для проведения оперативного анализа с приемлемым уровнем точности ограничимся применением универсальной среды Solid Works [4].

Все расчеты в выбранном программном продукте выполняются в пространственной постановке, поскольку создаваемые геометрические модели являются твердотельными и разбиваются на объемные конечные элементы – тетраэдры. Такая форма элементов может рассматриваться как один из частных случаев правильного шестигранника, однако она позволяет моделировать достаточно широкий диапазон изменений формы и геометрии в рамках одной модели.

Отдельной задачей является моделирование закрепления пространственной модели опоры. Условия закрепления в среде Solid Works можно применять к точке, ребру или поверхности модели. Нижняя секция рассматриваемой конструкции имеет высоту 5 метров, но погружается в грунт лишь до отметки 2,5 метра. При построении геометрической модели необходимо предусмотреть на уровне земли перепад толщин в стенке опоры, чтобы однозначно задать заземляемую поверхность (рисунок 2).

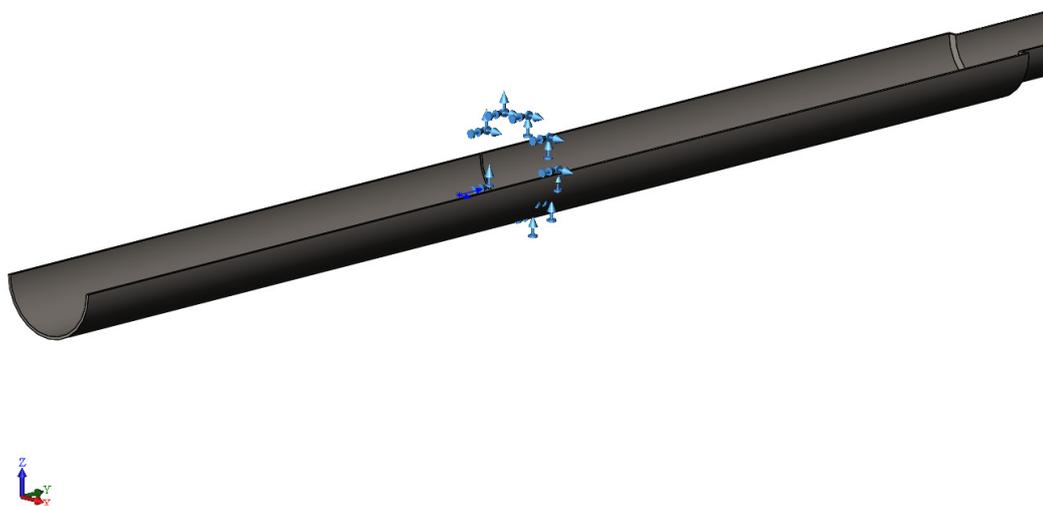


Рис. 2 – Принципиальная схема реализации закрепления опоры

Закрепляемую поверхность лучше моделировать с внутренней стороны стойки опоры, поскольку в этом случае локальное снижение величины осевого момента инерции будет обладать меньшим эффектом относительно корректировки наружного диаметра стойки.

Перед проведением необходимых расчетов обязательным шагом является настройка конечно-элементной модели для получения результатов с заданным уровнем точности. Варьируя размеры и форму конечных элементов, определяют такое их сочетание, при котором дальнейшее увеличение размерности задачи не приводит к повышению точности [5]. Полученную комбинацию параметров используют при проведении дальнейших расчетов на заданной геометрической модели.

Полученные в расчете формы низших балочных собственных колебаний представлены на рисунке 3. В силу осевой симметрии конструкции закономерным результатом станет выявление двух взаимно ортогональных форм собственных колебаний с одним и тем же значением частоты собственных колебаний [6], однако зафиксировано отличие в частотах не превышающее 0,09%.

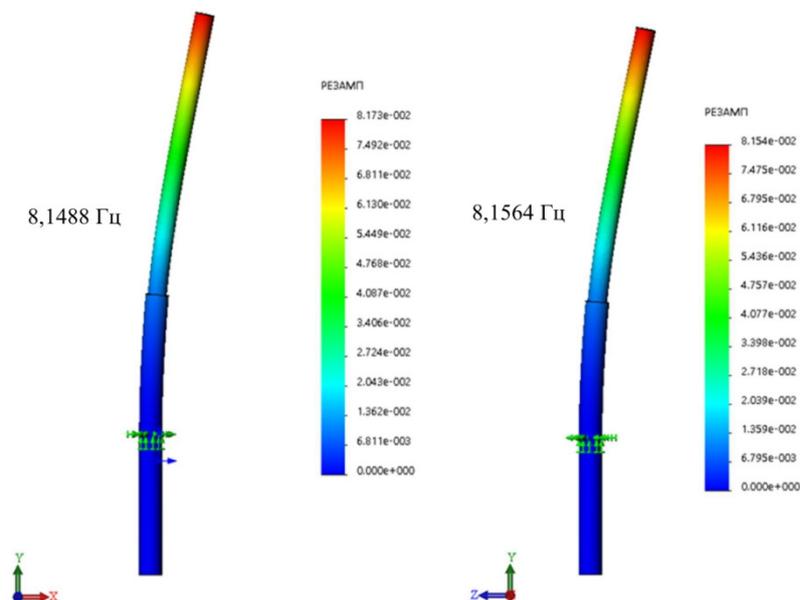


Рис. 3 – Низшие балочные формы собственных колебаний опоры

Представленный подход к определению частот и форм собственных колебаний является универсальным при оценке динамических параметров стержней переменного сечения и может быть легко расширен на другие конструкции со схожей геометрией.

Полученное различие в значениях частот собственных колебаний является следствием вычислительной ошибки при реализации вычислительного алгоритма определения собственных значений, поскольку задача о собственных значениях решалась при таких параметрах конечно-элементной модели, дальнейшее варьирование которых не приводит к уточнению результатов.

Расчитанные формы собственных колебаний являются идентичными – безузловыми, но в двух взаимно перпендикулярных плоскостях жесткости опоры. Аналогичная картина проявляется и в более высоких формах собственных колебаний конструкции.

Данная работа выполнена в рамках гранта, по итогам конкурса мэрии города Новосибирска на предоставление грантов в форме субсидий в сфере научной и инновационной деятельности.

Список литературы

1. *Афанасьев А.С.* Контактные сети трамвая и троллейбуса: Учебник для СПТУ. — М.: Транспорт, 1988. — 264 с.: ил., табл.
2. *Норри Д., де Фриз Ж.* Введение в метод конечных элементов. М.: Мир. — 1981. — 304 с.
3. *Красноруцкий Д.А.* Методика расчета механики систем связанных тонких упругих стержней по дифференциальной модели // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. — 2016. — № 2. — С. 69-88.
4. *Федоров А.Л.* Обучение трехмерному моделированию в машиностроительных САПР // Автоматизированное проектирование в машиностроении. — 2018. — №6. — С. 99-102.
5. *Белобородов А.В.* Оценка качества построения конечно-элементной модели в ANSYS // Вестник УГТУ-УПИ. Компьютерный инженерный анализ. Серия: Экономика и управление. — 2005. — С. 60.
6. *Биргер И.А., Пановко Я.Г.* Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 3. М.: Машиностроение. — 1988. — 567 с.

05.13.18

А.Н. Кожевников, Т.В. Бурнышева

Новосибирский государственный технический университет,
факультет летательных аппаратов,
кафедра прочности летательных аппаратов,
Новосибирск, kozhevnikov.2010@corp.nstu.ru, tburn@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРУГОГО БЕТОННОГО ОСНОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Представлен способ учета дополнительных бетонных оснований при решении задачи об определении частот и форм собственных колебаний металлических стержней переменного сечения. Обсуждены вопросы закрепления геометрической модели тел вращения на заданном расстоянии от одного из торцов. Проведен анализ рассчитанных частот собственных колебаний. Показано малое влияние присоединенной массы конструкции бетонного основания на динамические характеристики опоры контактной сети.

Ключевые слова: *метод конечных элементов, Solid Works, опоры контактной сети, бетонное основание, частоты и формы собственных колебаний.*

Определение динамических характеристик (частот и форм собственных колебаний) конструкций является актуальной задачей для современного уровня развития техники и строительства. Информация о значениях частот колебаний особенно полезна для подвижных механизмов и сооружений, нагружаемых внешними силами произвольной амплитуды и периодичности, поскольку позволяет оценить опасные режимы работы конструкции.

Большую сложность при расчете представляет учет таких комплексных факторов, для которых нет однозначного корректного описания. Например, в литературе не предоставлено информации о том, как можно заменить влияние налипшего на фундамент грунта набором пружин конечной жесткости: в источниках оперируют понятием «липкость грунта» [1 - 2].

Простейшей моделью будет закрепление непосредственно боковой поверхности опоры. Для этого при моделировании в среде Solid Works необходимо предусмотреть такой перепад геометрии, к которому будет возможно применить команду «Зафиксированная геометрия». Требуемыми геометрическими примитивами могут выступать линии разъема или специальные поверхности. В рассматриваемом случае смоделируем незначительный перепад диаметров на внутренней поверхности стойки опоры, к которому и применяются граничные условия (рисунок 1).

Чем меньше будет выбранная область для фиксации, тем менее выраженным будет ее влияние: уменьшение толщины кольца сильнее сказывается на величине осевых моментов инерции при изменении внешнего диаметра. Увеличение внутреннего диаметра кольца сказывается на жесткостных характеристиках в существенно меньшей степени.

Оценка влияния подобного способа закрепления не проводилась, однако чрезмерное ослабление конструкции приводит к излому форм её собственных колебаний в сечении с более низкими показателями несущей способности. В получаемых результатах подобных изломов не выявлено, что подтверждает возможность использования выбранной модели закрепления.

Закрепление необходимо расположить на расстоянии 2,5 метра от нижнего торца опоры, поскольку именно на эту глубину устанавливается любая опора в г. Новосибирске – уровень вечной мерзлоты грунтов в Новосибирской области. Для нижнего торца предусмотрим запрет вертикальных (продольных) перемещений, поскольку влияние грунта не может исключить изгибные перемещения подземной части конструкции, что проявляется в перекашивании бетонных фундаментов и наклоне опор контактной сети [3].

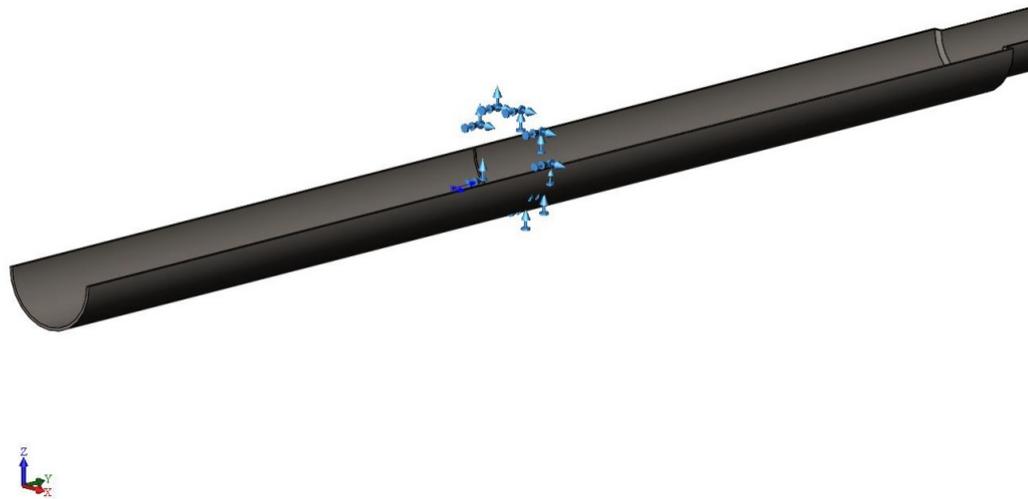


Рис. 1 – Моделирование закрепления стойки опоры на заданном уровне

После проведения расчета по определению частот собственных колебаний низшие балочные значения составили 8,1488 и 8,1564 Гц для безузловых изгибных форм собственных колебаний (рисунок 2). С точностью до вычислительной ошибки определено одно собственное значение для опоры: различие между частотами не превышает 0,09%.

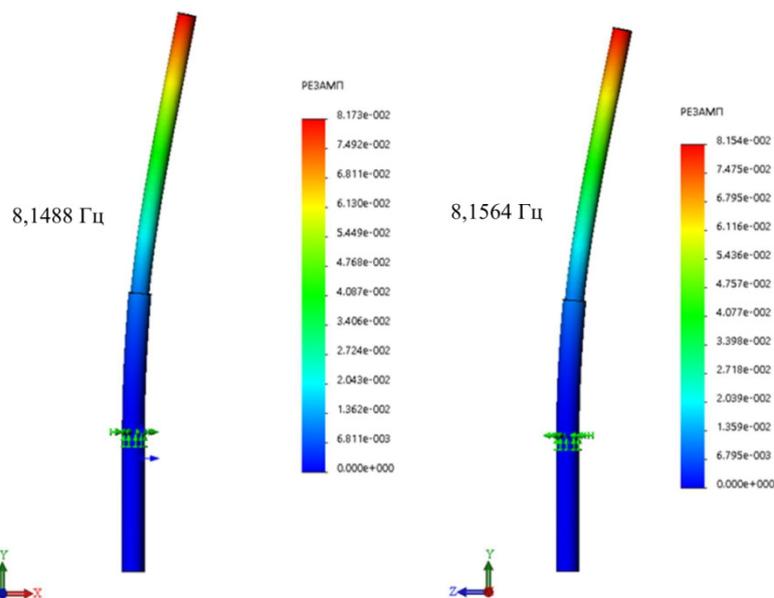


Рис. 2 – Низшие балочные формы собственных колебаний опоры

Полученный результат необходимо уточнить посредством моделирования реальных условий закрепления опоры в грунте: опоры устанавливаются в бетонное кольцо большого диаметра. Для бетонного кольца задан максимальный диаметр в 800 миллиметров. Добавим в геометрическую модель дополнительное тело, к которому будем применять дополнительные условия закрепления. Более корректным будет запрещение всех возможных перемещений опоры и бетонного основания на уровне грунта с одновременным исключением вертикальных перемещений нижнего торца опоры, размещенного в грунте (рисунок 3).

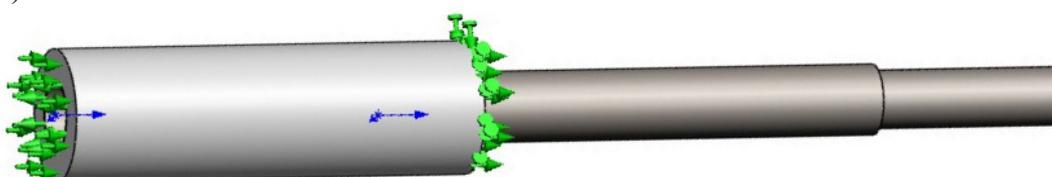


Рис. 3 – Граничные условия опоры с бетонным основанием

В этом случае ожидаемым результатом выступит снижение частот собственных колебаний в силу добавления к конструкции распределенной массы с существенно меньшим вкладом в суммарную жесткость опоры [4]. Полученные частоты и формы собственных колебаний представлены на рисунке 4.

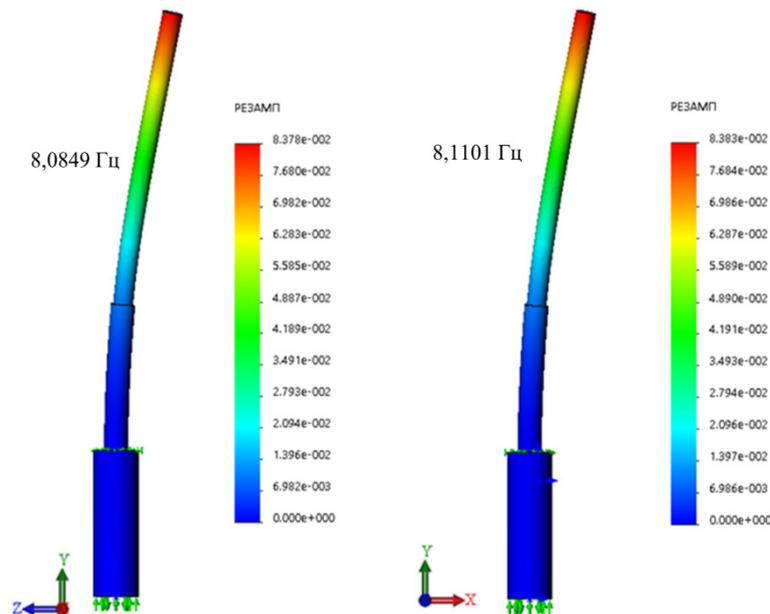


Рис. 4 – Низшие формы собственных колебаний опоры с учетом основания

Разница между рассчитанными собственными значениями не превышает 0,31%, что одновременно с одинаковым характером форм собственных колебаний позволяет рассматривать частоты как одинаковые. Учет бетонного основания приводит к снижению частот собственных колебаний на 0,86%.

Полученный результат можно рассматривать как погрешность моделирования, следовательно, внесение в расчетную конечно-элементную модель опоры дополнительного элемента с значительными инерционными характеристиками не приводит к изменению динамического поведения конструкции, в отличие от существенного увеличения размерности задачи по числу узловых степеней свободы [5].

Данная работа выполнена в рамках гранта, по итогам конкурса мэрии города Новосибирска на предоставление грантов в форме субсидий в сфере научной и инновационной деятельности.

Список литературы

1. Грунтоведение / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. М.: Изд-во МГУ, 1983. — 389 с.
2. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е. А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Грунтоведение. М.: Изд.-во МГУ, – 2005 – 1024 с.
3. Афанасьев А.С. Контактные сети трамвая и троллейбуса: Учебник для СПТУ. — М.: Транспорт, 1988. — 264 с.: ил., табл.
4. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 3. М.: Машиностроение. – 1988. – 567 с.
5. Большаков В.П., Законников Е.А. Вибродиагностика конструкций по формам их собственных колебаний // Вибродиагностика и виброзащита машин и приборов / Иванов. гос. ун-т, Иванов. энергет. ин-т. – Иваново, 1989. – С. 71–76.

05.13.18

В.Ю. Колесников, И.Н.Сидоров

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
Казань, INSidorov1955@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КООКСИАЛЬНОГО СО₂ - ЛАЗЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

В статье приведены результаты расчета влияния геометрических параметров электроразрядной камеры коаксиального СО₂-лазера непрерывного действия на его выходные характеристики: среднюю мощность выходного излучения, коэффициент полезного действия лазера при рабочем напряжении.

Ключевые слова: коаксиальный СО₂-лазер, электроразрядная камера, средняя мощность излучения, коэффициента полезного действия, рабочее напряжение.

В работах [1 - 3] представлены: математическая модель процессов в электроразрядной камере (ЭРК) коаксиального СО₂-лазера непрерывного действия; алгоритм расчета параметров в ЭРК, реализованный в виде программы в системе Compaq Visual Fortran Version 6.6; пример расчета этих параметров при заданной геометрии при рабочем напряжении; расчет мощности энергозклада, мощности излучения и коэффициента полезного действия (КПД) лазера в зависимости от напряжения, прикладываемого к ЭРК. Математическая модель процессов в ЭРК включает в себя описание процессов течения лазерной смеси с джоулевым энергозкладом в электроионизационный разряд, энергозсѐма за счет отвода теплоты через стенки камеры и лазерного излучения, распределения концентрации заряженных частиц в плазме электроионизационного разряда, кинетики колебательных уровней молекул смеси и переноса лазерного излучения. Она построена на основных положениях монографий и статей [4 – 10].

В данной работе с помощью разработанного алгоритма выполнен расчет по определению влияния геометрических параметров ЭРК коаксиального СО₂-лазера непрерывного действия (рис. 1) на его выходные характеристики: среднюю мощность выходного излучения, КПД лазера при рабочем напряжении

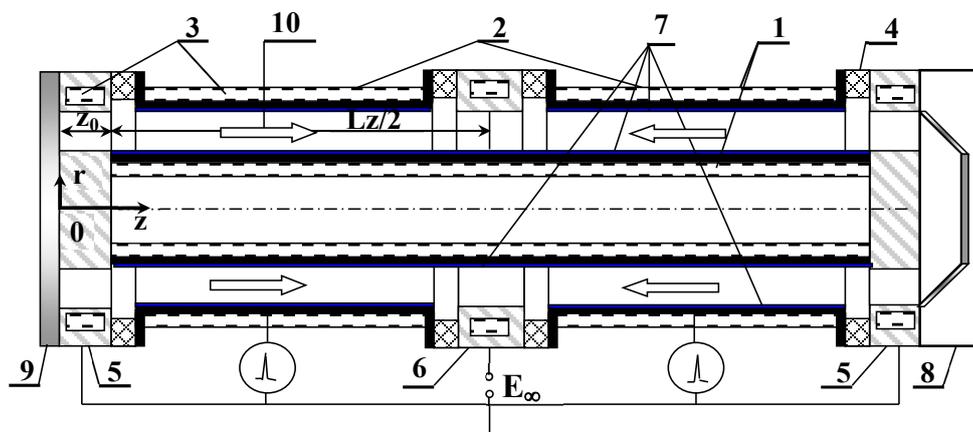


Рис. 1 – Электроразрядная камера СО₂ – лазера, конструкция камеры:

- 1 - внутренний холодильник; 2 – секции наружного холодильника;
- 3 – охлаждающая жидкость; 4 – диэлектрические вставки;
- 5 – аноды и 6 – кольцевой катод; 7 – диэлектрическое стекломалевое покрытие;
- 8 – асферическое зеркало; 9 – плоское полупрозрачное зеркало;
- 10 – направление прокачки смеси в разрядной камере.

Система уравнений математической модели процессов в коаксиальном CO₂-лазере непрерывного действия (рис. 1), представленная в [1 - 3] имеет вид

$$\frac{d}{dz} \iint_{S_p(z)} \rho u_z ds = 0, \int_0^{2\pi} \left(\int_{r_1(\varphi, z)}^{R_2} r \rho u_z dr \right) d\varphi = q_{mix} = const, \quad (1)$$

$$\rho = N \cdot M, M = \chi_{CO_2} M_{CO_2} + \chi_{N_2} M_{N_2} + \chi_{He} M_{He},$$

$$0 = \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_{mix}(P, T) \frac{\partial u_z}{\partial r} \right), P = N k_B T = P(z), \quad (2)$$

$$\rho u_z \frac{\partial}{\partial z} (k_c c_V^{mix} T) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q_T, \lambda(T) = \lambda_0 (T/T_0)^{0.7}, \quad (3)$$

$$Q_T = \begin{cases} Q_p, & R_1 \leq r \leq d_{90}/2, \\ (1 - k^{(ul)}) Q_p + K_{VT} (z_2 - z_2^p), & d_{90}/2 \leq r \leq R_2, \end{cases}$$

$$k^{(ul)} = \frac{(v_3 - v_1)}{\left(3v_3 \frac{\theta_2}{\theta_3} - v_1 \right)} \left(3 \frac{\theta_2}{\theta_3} k^{(u)} \left(\frac{|E|}{N} \right) + k^{(l)} \left(\frac{|E|}{N} \right) \right), K_{VT} = \frac{\chi_{CO_2} N k_B \theta_2 (v_3 - v_1)}{\tau_{VT} \left(3v_3 \frac{\theta_2}{\theta_3} - v_1 \right)},$$

$$-\frac{1}{N} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D_{am} \frac{\partial N \alpha_p}{\partial r} \right) \right) = q_0 - \chi_{CO_2} N k_a \left(\frac{|E|}{N} \right) \alpha_p - N \beta \left(\frac{|E|}{N} \right) \alpha_p^2, \alpha_p = \frac{n}{N}, \quad (4)$$

$$\frac{E}{N} = -\frac{1}{N} \left(e(\varphi) \frac{\partial}{\partial r} \tilde{\varphi}_E + k \frac{\partial}{\partial z} \tilde{\varphi}_E \right) + k \frac{1}{N} \left(\frac{J_p + \iint_{S_p(z)} \mu_e \alpha_p \frac{\partial \tilde{\varphi}_E}{\partial z} df}{\iint_{S_p(z)} \mu_e \alpha_p df} \right), \quad (5)$$

$$\tilde{\varphi}_E = \int_{R^*(\varphi, z)}^r \left(\frac{\bar{D}}{\mu_e \alpha_p} \frac{\partial n}{\partial \eta} \right) d\eta, D_{am} \approx \frac{2}{3} \frac{\bar{E}_e}{k_B T} (\sum \chi_i D_{i+}), \bar{D} \approx \frac{2}{3} \mu_e \frac{\bar{E}_e}{N |e|},$$

$$\sum \chi_i D_{i+} = k_B T \left(\frac{\chi_{CO_2}}{M_{CO_2} v_{CO_2}} + \frac{\chi_{N_2}}{M_{N_2} v_{N_2}} + \frac{\chi_{He}}{M_{He} v_{He}} \right), \bar{E}_e = \bar{E}_{e0} + A_E \left(\frac{E}{N} \right)^2,$$

$$R^*(\varphi, z) = \frac{1}{2} (r_1(\varphi, z) + R_2),$$

$$\frac{d}{dz} \iint_{S_p(z)} j_z df = 0, \int_0^{2\pi} \left(\int_{r_1(\varphi, z)}^{R_2} r j_z dr \right) d\varphi = J_p = const, \quad (6)$$

$$Q_p = j_z E_z = \mu_e |e| \alpha_p \left(\frac{J_p + \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{R_2} \mu_e \alpha_p \frac{\partial \tilde{\varphi}_E}{\partial z} dr d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{R_2} \mu_e \alpha_p dr d\varphi} - \frac{\partial}{\partial z} \tilde{\varphi}_E \right)^2,$$

$$\frac{v_3}{v_3 - v_1} Q_l = k^{(u)} Q_p + \frac{\chi_{CO_2} N k_B \theta_3}{8 \tau_{VT}} \left[z_2^3 (1 + z_3) \exp \left(\frac{3\theta_2 - \theta_3}{T} \right) - z_3 (2 + z_2)^3 \right], \quad (7)$$

$$-\frac{v_1}{v_3 - v_1} Q_l = k^{(l)} Q_p - \frac{3\chi_{CO_2} N k_B \theta_2}{8\tau_{VV}} \left[z_2^3 (1 + z_3) \exp\left(\frac{3\theta_2 - \theta_3}{T}\right) - z_3 (2 + z_2)^3 \right] - \frac{\chi_{CO_2} N k_B \theta_2}{\tau_{VT}} (z_2 - z_2^p),$$

$$z_3 = \frac{E_{CO_2}^{(3)}}{\chi_{CO_2} N k_B \theta_3}, z_2 = \frac{E_{CO_2}^{(2)}}{\chi_{CO_2} N k_B \theta_2}, z_2^p = \frac{2}{\exp(\theta_2/T) - 1},$$

$$\ln(1/(1 - T_{mir})) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^D K_{amp}(\mathbf{r}(\alpha, \theta, \varphi, s)) ds d\varphi, \quad (8)$$

$$Q_l(r_s, \varphi_s, z_s) = \frac{v_3 - v_1}{3v_3 \frac{\theta_2}{\theta_3} - v_1} \left[\left(3 \frac{\theta_2}{\theta_3} k^{(u)} \left(\frac{|E|}{N} \right) + k^{(l)} \left(\frac{|E|}{N} \right) \right) Q_p - k_{VT} (z_2 - z_2^p) \right], \quad (9)$$

где L_z - длина активной камеры вдоль оптической оси (ось z); R_l - радиус наружной стенки внутреннего цилиндра; R_2 - радиус внутренней стенки наружного цилиндра; M_{CO_2} , M_{N_2} , M_{He} - массы молекул CO_2 , N_2 , He ; ρ - плотность газовой смеси; N - число частиц газовой смеси в единице объема; u_z - осевая скорость смеси; χ_{CO_2} , χ_{N_2} , χ_{He} - соответственно мольные доли углекислого газа, азота и гелия; P - давление газовой смеси; k_B - постоянная Больцмана; T - температура смеси; $\mu_{mix}(P, T)$ - динамическая вязкость смеси, определяемая формулой Сёзерленда [4]; c_V^{mix} - теплоемкость смеси при постоянном объеме; $\lambda(T)$ - коэффициент теплопроводности смеси [5] ($T_0 = 298K$); Q_p - удельная объемная мощность энергоклада в разряде, равная $Q_p = (\mathbf{j} \cdot \mathbf{E})$ (\mathbf{j} - плотность тока разряда, \mathbf{E} - напряженность электрического поля); Q_l - удельная объемная мощность энергосъема в лазерном излучении; $S_p(z)$ - площадь поперечного сечения ЭРК; q_{mix} - массовый расход газовой смеси через это сечение в единицу времени; D_{i+} - коэффициент диффузии положительных ионов; μ_e - подвижность электронов; n - концентрация заряженных частиц; $\alpha_p = \frac{n}{N}$ - степень ионизации газа; q_0 - объемная частота ионизации газа высоковольтным импульсом [6]; $k_a\left(\frac{|E|}{N}\right)$, $\beta\left(\frac{|E|}{N}\right)$ - коэффициенты прилипания электронов к молекуле CO_2 и электрон-ионной рекомбинации как функция приведенной напряженности электрического поля $\frac{|E|}{N}$ [7]; D_{am} - коэффициент амбиполярной диффузии; \bar{E}_e - средняя энергия электронов; J_p - сила суммарного тока, протекающего через ЭРК; ν_{CO_2} , ν_{N_2} , ν_{He} - частоты столкновений иона молекулы сорта CO_2 , N_2 , He с другими молекулами смеси; $E_{CO_2}^{(1)}$, $E_{CO_2}^{(2)}$, $E_{CO_2}^{(3)}$ и E_{N_2} - объемные плотности энергии симметричных, деформационных, антисимметричных колебаний молекул CO_2 и колебаний молекул N_2 ; z_2 , z_3 - среднее число квантов, приходящееся на одну молекулу в соответствующих колебательных модах молекулы CO_2 , z_2^p - равновесное

значение величины z_2 ; ν_i ($i = 1,3$) - частота i -й моды молекулы CO_2 , а θ_i - ее характеристическая колебательная температура [8]; τ_{VV} - время VV обмена между верхним лазерным уровнем и деформационной модой, τ_{VT} - время релаксации деформационной моды; $k^{(u)}\left(\frac{|E|}{N}\right)$ и $k^{(l)}\left(\frac{|E|}{N}\right)$ – коэффициенты, определяющие долю вкладываемой в объеме разряда мощности, которая идет на возбуждение соответствующих колебательных уровней и задаются аппроксимационными зависимостями [9]; K_{amp} – коэффициент усиления излучения в среде ЭРК; S_D - длина оптического пути лучей многоходовой М-моды [1,10] за один полупроход; T_{mir} - прозрачность выходного плоского зеркала оптического резонатора; S - расстояние вдоль трассы М – моды, отсчитываемое от плоского зеркала; r_s, φ_s, z_s - координаты точки вдоль лучевой трассы М – моды; d_{90} - диаметр девяностоградусного раствора асферического зеркала (рис. 1).

Средняя мощность выходного излучения лазера P_l на плоском зеркале резонатора определялась с помощью формулы [1]

$$P_l = \frac{2\pi}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} 2dI_{+Aex}^{(0)}(\alpha) \int_{\frac{d_p(\alpha)}{2} - \omega_A(\alpha)}^{\frac{d_p(\alpha)}{2} + \omega_A(\alpha)} \exp\left[\frac{-2\left(\rho - \frac{d_p(\alpha)}{2}\right)^2}{(\omega_A(\alpha))^2}\right] \rho d\rho d\alpha =$$

$$= \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} dP_l(\alpha) d\alpha, \quad dP_l(\alpha) = 4\pi\Psi(1)dI_{+Aex}^{(0)}(\alpha)d_p(\alpha)\omega_A(\alpha)$$
(10)

где $\omega_A(\alpha)$ - радиус «перетяжки» гауссового пучка на плоском зеркале, $\Psi(1) = \int_0^1 \exp(-2\xi^2) d\xi$, α_{\max} - угол максимального отклонения трассы М – моды, $dI_{+Aex}^{(0)}(\pm\alpha)$ - интенсивность на внешней поверхности плоского зеркала лучевой трассы М – моды с углом отклонения оси пучка на угол $\pm\alpha$ и диаметром $d_p(\alpha)$ после его прохода поверхности плоского зеркала [1].

На основе математической модели (1 – 10) и предложенного алгоритма в системе Compaq Visual Fortran Version 6.6 с помощью программы «Work_CO2» проведены расчеты по определению влияния геометрических параметров ЭКР коаксиального CO_2 -лазера непрерывного действия на его выходные характеристики: среднюю мощность выходного излучения, КПД лазера при рабочем напряжении. Входные параметры газовой смеси разрядной камеры представлены в таблице 1[1].

На рисунке 2 показаны зависимости мощности излучения и КПД лазера при рабочем напряжении $U_p = 2000$ в при увеличения R_l - радиуса наружной стенки внутреннего цилиндра с выполнением соотношения $\Delta = R_2 - R_1 = 0,015$ м.

Таблица 1 – Входные параметры рабочей ЭКР

$M_{CO_2}, 10^{-27}$ кг	73.07
$M_{N_2}, 10^{-27}$ кг	46.50
$M_{He}, 10^{-27}$ кг	6.64
χ_{CO_2}	0.1
χ_{N_2}	0.1
χ_{He}	0.8
$P, \text{Па}$	1320
$\mu_e, 10^{24} \text{В}^{-1} \text{М}^{-1} \text{с}^{-1}$	2
$q_0, 10^{-3} \text{с}^{-1}$	1.5
$E_{e0}, 10^{-19}$ Дж	0.8
$A_e, 10^{21}$ Дж/(В ² ·м ⁴)	0.2
T_{mir}	0.3
$q_{mir}, \text{М}^3/\text{с}$	0.003

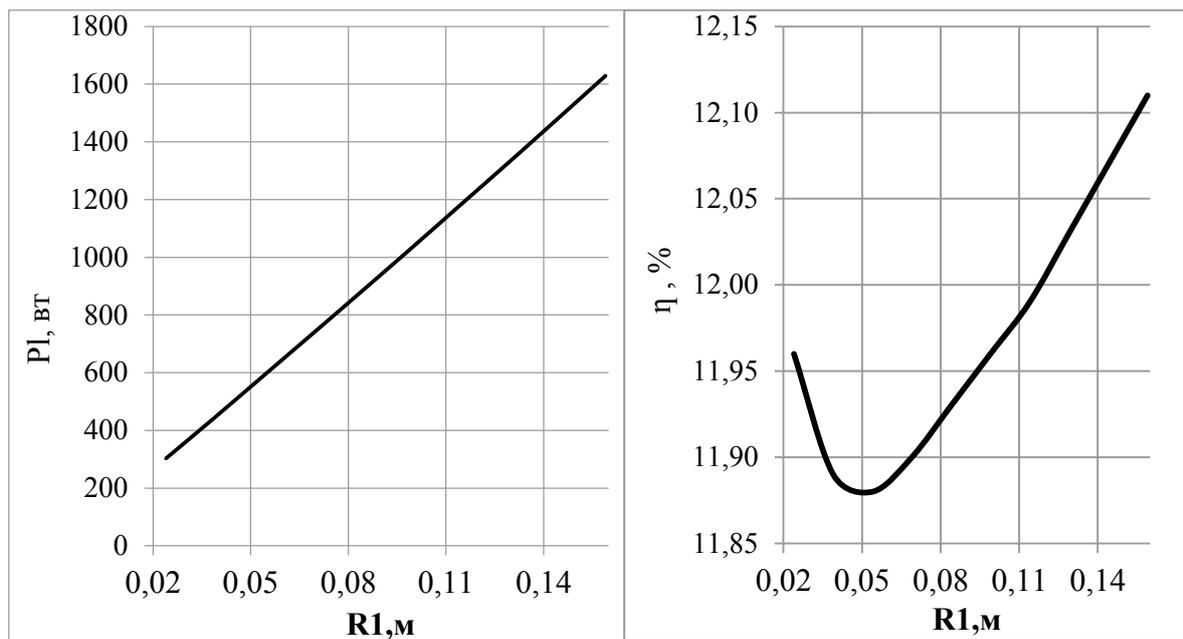


Рис. 2 – Мощность излучения P_l и КПД лазера при рабочем напряжении $U_p = 2000$ в; $\Delta = R_2 - R_1 = 0,015$ м.

На рисунке 3 показаны зависимости мощности излучения и КПД лазера при рабочем напряжении $U_p = 2000$ в от L_z - длины активной камеры вдоль оптической оси (рис. 1) для минимального $R_l = 0,024$ м и максимального $R_l = 0,159$ м радиусов наружной стенки внутреннего цилиндра с выполнением соотношения $\Delta = R_2 - R_1 = 0,015$ м.

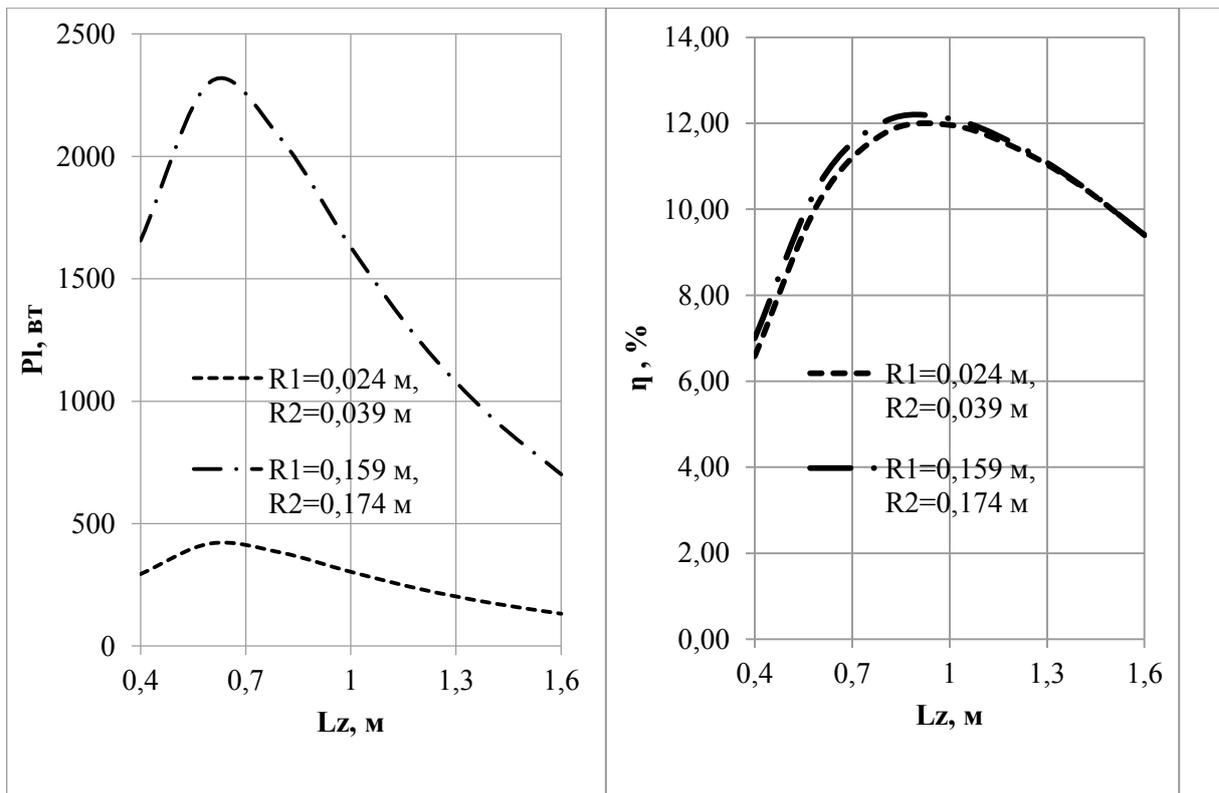


Рис. 3 – Мощность излучения P_l и КПД лазера при рабочем напряжении $U_p = 2000$ в.

Таким образом, проведены расчеты по определению влияния геометрических параметров ЭКР коаксиального CO_2 -лазера непрерывного действия на его выходные характеристики: среднюю мощность выходного излучения, КПД лазера при рабочем напряжении. Показано увеличение средней мощности выходного излучения P_l при увеличении радиуса наружной стенки внутреннего цилиндра R_1 с выполнением соотношения $\Delta=R_2-R_1=0,015$ м. Максимальная средняя мощность выходного излучения достигается при длине активной камеры $L_z=0,6$ м для вариантов минимального $R_1=0,024$ м и максимального $R_1=0,159$ м радиусов наружной стенки внутреннего цилиндра.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер 075-03-2020-051/3 от 09.06.2020 (номер темы fzsu-2020-0021).

Список литературы

1. Колесников В.Ю., Сидоров И.Н. Расчет параметров коаксиального CO₂ - лазера непрерывного действия // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 1. С. 121-128.
2. Колесников В.Ю., Сидоров И.Н., Ильин Г.И., Морозов Г.А., Морозов О.Г. Учет угловой несоосности цилиндров электроразрядной камеры коаксиального CO₂-лазера // Вопросы электротехнологии. 2015. № 4 (9). С. 39-44.
3. Колесников В.Ю., Сидоров И.Н., Ильин Г.И., Морозов Г.А., Морозов О.Г. Учет продольной несимметричности цилиндров электроразрядной камеры коаксиального CO₂-лазера // Вопросы электротехнологии. 2015. № 4 (9). С. 45-53.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Гос. Энергетическое изд – во, 1960.
5. Вайсфельд М.П., Польский Ю.Е. О тепловом режиме коаксиального CO₂-лазера низкого давления // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 10. С. 2230-2233.
6. Айбатов Л.Р., Орлов Б.В., Польский Ю.Е., Хохлов Ю.М. Анализ работы импульсного генератора в системе предыонизации газовых смесей // Радиотехника и электроника, 1986. Т. 31. № 7. С. 1352-1357.
7. Глотов Е.П., Данилычев В.А., Холин И.В. Прилипание и рекомбинация в плазме разряда, возбуждаемого электроионизационным методом. Труды ФИАН. 1980. 116.
8. Андерсон Д. Газодинамические лазеры: введение. М.: Мир, 1978.
9. Гордиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинематические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980.
10. Воронов В.И. Пространственные характеристики многоходовых мод в лазерах с активным объемом кольцевого сечения. // ЖТФ. 1995. Т. 65. Вып. 7. С. 98–107.

05.13.18

**И.В. Кудрявцева канд. техн. наук, С.В. Рыков канд. техн. наук,
В.А. Рыков д-р техн. наук**

Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЖИДКИХ ГИДРОФТОРОЛЕФИНОВ

В нашем исследовании на основе математического и компьютерного моделирования предложена новая корреляционная зависимость теплопроводности жидких холодильных агентов, имеющих низкий индекс глобального потепления. На основе статистического анализа установлено, что предложенная корреляционная зависимость позволяет с меньшей неопределенностью рассчитывать и прогнозировать теплоемкость жидких гидрофторолефинов на линии насыщения в широком интервале температур.

Ключевые слова: *теплопроводность, корреляционные зависимости, хладагенты.*

1. Введение

В настоящее время в энергетике, в соответствии с Кигалийской поправкой к Монреальскому протоколу, осуществляется активный переход на экологически чистые вещества, которые оказывают минимальное воздействие на окружающую среду, в частности, имеют низкий GWP (потенциал глобального потепления). К таким веществам, в частности, относятся гидрофторолефины. Однако, до настоящего времени, информация о теплопроводности, λ , гидрофторолефинов, находящихся в состоянии насыщенной жидкости, крайне ограничена. Для расчета переносных свойств хладагентов в последние годы разработан ряд новых математических моделей $\lambda(T)$ в форме корреляционных зависимостей [1–5]:

– Latini et al. (2012) предложили уравнение $\lambda = \lambda(M, T_b, T_c, T_r)$ в виде зависимости [1]:

$$\lambda = A^* \left[\sqrt{5} (\Phi - T_r)^2 / (\Phi + T_r) \right]^s, \quad (1)$$

где $\Phi = (1 + \sqrt{5}) / 2$; $A^* = \tilde{A} T_b^v M^{-l} T_c^{-g}$; \tilde{A} , s , v , l , g – постоянные для определенной группы веществ; M – молярная масса; $T_r = T / T_c$ – приведенная температура; T_c – критическая температура; T_b – температура кипения при давлении $p = 1.101$ МПа.

– Di Nicola и др. (2016) предложили корреляционные зависимости для теплопроводности λ в виде уравнения [2]:

$$\lambda = \lambda_0 \left[a T_r + b p_c + c \omega + e^d M^{-d} \right], \quad (2)$$

где λ_0 , a , b , c , d , e – постоянные параметры; p_c – критическое давление; ω – ацентрический фактор.

– Цветков и др. (2021) [3] разработали корреляционную формулу для λ в виде линейной зависимости:

$$\lambda / \lambda_b = (a + b T_{rb}). \quad (3)$$

где $\lambda_b = (\xi \text{Gu}^4)^{-1}$, $\xi = M^{1/2} T_c^{1/6} / \sqrt[3]{p_c^2}$, $\text{Gu} = T_c / T_b$, $T_{rb} = T / T_b$; a и b – постоянные параметры [3] или регулярные функции молярной массы M [4].

Цель данной работы заключается в анализе корреляционных зависимостей [1–5] и поиске путей повышения точности расчета и прогнозирования теплопроводности гидрофторолефинов на жидкостной ветви кривой сосуществования.

2. Анализ известных корреляционных зависимостей

Для того, чтобы оценить точность математических моделей (1)–(3), мы использовали следующие статистические характеристики [6]:

$$AAD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\delta\lambda_i|, \quad (4)$$

$$CKO = \sqrt{\left[\sum (\delta\lambda_i)^2 \right] / [N \cdot (N-1)]}, \quad (5)$$

где $\delta\lambda_i^{sat} = 100 \cdot (\lambda_i^{(exp)} - \lambda_i^{(ras)}) / \lambda_i^{(exp)}$; $\lambda_i^{(exp)}$ – опытные данные; $\lambda_i^{(ras)}$ – значения λ , рассчитанные на основе соответствующей корреляционной зависимости; N – число опытных значений теплопроводности данного хладагента (значения N приведены в таблице).

Таблица – Статистические характеристики корреляционных зависимостей

Вещество	No	N	AAD (2)	AAD (3)	AAD (6)	AAD (7)	CKO (3)	CKO (6)	CKO (7)
R1234yf	[7]	24	3.355	3.510	1.75	0.632	2.304	0.532	0.192
R1234yf	[8]	6	1.466	4.654	1.02	0.829	2.095	0.521	0.519
R1233zd(E)	[9]	13	1.341	5.377	1.4	0.729	1.541	0.462	0.249
R1234ze(E)	[7]	24	2.365	0.676	0.65	0.977	0.188	0.187	0.261
R1234ze(E)	[8]	8	1.784	1.302	1.08	1.05	0.616	0.516	0.442
R1243zf	[10]	4	3.965	7.533	1.86	2.84	4.509	1.35	1.99
R1336mzz(E)	[11]	7	17.017	7.412	6.43	5.87	3.188	2.85	2.44
R1336mzz(Z)	[12]	11	7.854	4.022	4.2	3.93	1.791	1.58	1.53

В результате расчетов теплопроводности ряда хладагентов (таблица) мы получили, что наиболее точно из уравнений (1)–(3) воспроизводит температурную зависимость $\lambda(T)$ уравнение (3), параметры которого рассчитаны по методике, предложенной в работе [3]. Значение AAD, рассчитанное по методике [4], например, для хладагентов R1234yf и R1243zf равно соответственно 6% и 9,6%.

3. Новая корреляционная зависимость теплопроводности пропиленов от температуры

Для математического моделирования поведения $\lambda(T)$ авторы [1–5] использовали линейные функции. Однако, анализ наиболее точных экспериментальных данных о теплопроводности $\lambda(T)$ [7, 11], привел нас к выводу, что для корректного моделирования теплопроводности гидрофторолефинов необходимо использовать нелинейные функции.

Поэтому мы, наряду с линейной моделью:

$$f(T) = \lambda_0 (C_1 + C_2 T_{rb}), \quad (6)$$

разработали корреляционную зависимость в виде:

$$f(T) = \lambda_0 (D_1 + D_2 T_{rb} + D_3 T_{rb}^2). \quad (7)$$

где $\lambda_0 = p_c^{7/6} / (\sqrt{10} M^{1/10} T_c^{1/6} \text{Gu}^4)$, $C_1 = 0.186$, $C_2 = -0.0904$, $D_1 = 0.221$, $D_2 = -0.157$, $D_3 = 0.03$.

Результаты статистического анализа зависимости (6) на основе данных [7–12], которые выполнены в пакете MathCad 15, представлены в таблице. Отметим, что в работах [8, 9] приведены данные о λ только для однофазной области. Поэтому мы рассчитали значения

λ^{sat} для R1234yf и R1233zd(E) с помощью уравнений линии упругости, $p_s = p_s(T)$, этих веществ, разработанных авторами [13, 14].

4. Выводы

Предложенная в работе корреляционная зависимость (7), во-первых, описывает данные [7–12] о теплопроводности ряда новых экологически безопасных веществ с меньшей неопределенностью (таблица), чем известные модели теплопроводности жидких хладагентов [1–5], во-вторых, может использоваться для расчета значений теплопроводности новых холодильных агентов на основе их критических параметров, молекулярной массы и нормальной температуры кипения.

Список литературы

1. Latini G., Sotte M. Thermal conductivity of refrigerants in the liquid state: A comparison of estimation methods // *Int. J. Refrig.* 2012. V. 35. P. 1377–1383.
2. Di Nicola G., Pierantozzi M., Petrucci G., Stryjek R. Equation for the Thermal Conductivity of Liquids and an Artificial Neural Network // *J. Thermophys. Heat Transfer.* 2016. V. 30. P. 1–10.
3. Цветков О.Б., Мумронов В.В., Лантнев Ю.А. Теплопроводность жидких гидрофторхлорпроизводных олефинов. Корреляции и априорные оценки // *Вестник Международной академии холода.* 2021. № 3. С. 75–80.
4. Tsvetkov O.B., Mitropov V.V., Prostorova A.O., Laptev Yu.A. Thermal conductivity prediction of Trans-1-Chloro-3,3,3-Trifluoropropene (R1233zd(E)) // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020. V. 1683. P. 032021.
5. Gharagheizi F., Ilani-Kashkouli P., Sattari M., Mohammadi A.H., Ramjugernath D., Richon D. Development of a General Model for Determination of Thermal Conductivity of Liquid Chemical Compounds at Atmospheric Pressure // *AIChE J.* 2013. V. 59. P. 1702–1708.
6. Kolobaev V.A., Rykov S.V., Kudryavtseva I.V., Ustyuzhanin E.E., Popov P.V., Rykov V.A., Sverdlov A.V., Kozlov A.D. Methodology for constructing the equation of state and thermodynamic tables for a new generation refrigerant // *Izmeritel'naya Tekhnika.* 2021. No 2. P. 9–15.
7. Miyara A., Fukuda R., Tsubaki K. Thermal conductivity of saturated liquid of R1234ze(E)+R32 and R1234yf+R32 mixtures // *Trans. of the JSRAE.* 2011. V. 28, No. 4. P. 435–443.
8. Perkins R.A., Huber M.L. Measurement and Correlation of the Thermal Conductivity of 2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf) and trans-1,3,3,3-Tetrafluoropropene (R1234ze(E)) // *J. Chem. Eng. Data.* 2011. V. 56. P. 4868–4874.
9. Perkins R.A., Huber M.L. Measurement and Correlation of the Thermal Conductivity of trans-1-Chloro-3,3,3-trifluoropropene (R1233zd(E)) // *J. Chem. Eng. Data.* 2017. V. 62. P. 2659–2665.
10. Kim D., Liu H., Yang X., Yang F., Morfitt J., Arami-Niya A., Ryu M., Duan Y., May E.F. Thermal conductivity measurements and correlations of pure R1243zf and binary mixtures of R32+R1243zf and R32+R1234yf // *Int. J. Refrig.* 2021. (in press). <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.07.019>
11. Mondal D., Kariya K., Tuhin A.R., Miyoshi K., Miyara A. Thermal conductivity measurement and correlation at saturation condition of HFO refrigerant trans-1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-butene (R1336mzz(E)) // *Int. J. Refrig.* 2021. V. 129. P. 109–117.
12. Perkins R.A., Huber M.L. Measurement and Correlation of the Thermal Conductivity of cis-1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-butene // *Int. J. Thermophys.* 2020. V. 41. P. 103.
13. Rykov S.V., Kudryavtseva I.V., Sverdlov A.V., Rykov V.A. Calculation method of R1234yf phase equilibrium curve within temperature range from 122.6 K to 367.85 K // *AIP Conference Proceedings.* 2020. V. 2285. P. 030070.
14. Rykov S.V., Kudryavtseva I.V., Rykov V.A., Ustyuzhanin E.E. Description of the liquid-vapor phase equilibrium line of pure substances within the bounds of scale theory based on the Clapeyron equation // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021. V. 2057. 012113.

05.13.18

Д.С. Лобарёв, Д.В. Толбухин

Псковский государственный университет,
институт математического моделирования и игропрактики,
кафедра математики и теории игр,
Псков, lds1979@mail.ru, swampydt@yandex.ru

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ PYTHON В ОБЛАЧНОЙ СРЕДЕ GOOGLE COLAB

В статье рассмотрены методы и новые алгоритмы решения дифференциальной линейно-квадратичной задачи управления. Модель объекта управления описывается системой линейных дифференциальных уравнений, а функционал качества, который требуется минимизировать, имеет квадратичный вид. Решается задача поиска оптимального программного управления с использованием принципа максимума Понтрягина. В работе представлен алгоритм поиска решения на языке программирования Python и его библиотек NumPy и SymPy, рассмотрено его действие на конкретном примере. При разработке сервиса, выполняющего вывод результатов работы программы, используется Widgets облачного сервиса Google Colab.

Ключевые слова: *линейно-квадратичная задача, оптимальное управление, принцип максимума Понтрягина, Python, Google Colab.*

Работа посвящена поиску оптимального решения дифференциальной линейно-квадратичной задачи на языке программирования Python в облачной интерактивной среде разработки Google Colab. Динамическая управляемая система имеет стандартную форму [1]. Для поиска решения задачи оптимального управления будем использовать принцип максимума Понтрягина [1, с. 336–338].

Запуск алгоритма поиска решения задачи будет производиться на облачном сервисе Google Colab, позволяющего оформлять текст, производить расчеты и строить графики в виде единого интерактивного документа. Для работы в Google Colab используется широко распространенный язык Python и его математическая библиотека NumPy, которая предназначена для выполнения численных и символьных расчетов, в том числе численного интегрирования и дифференцирования. Для визуализации построения графиков используется пакет Matplotlib. Для управления математическими выражениями и символьными вычислениями применим библиотеку SymPy, которая объединяет математику и компьютерные науки для решения математических выражений с помощью математических символов.

Опыт поиска оптимального управления в двухкритериальной динамической задаче с экспертными оценками представлен, в частности, в системе компьютерной математики Maple [2]. При решении многокритериальных динамических задач [3] и дифференциальных игр с векторными функциями выигрыша игроков [4] был применен метод динамического программирования Беллмана, который позволяет найти оптимальное управление с обратной связью, где управляющее воздействие зависит от времени и сложившейся ситуации.

Функционирование управляемой динамической системы рассматривается на временном промежутке $t \in [0, t_1]$. Текущее состояние системы в каждый момент времени t характеризуется фазовым вектором $x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R^n$, который меняется со временем в соответствии с системой линейных дифференциальных уравнений с краевыми условиями:

$$\dot{x}(t) = A(t) \cdot x(t) + B(t) \cdot u(t), \quad (1)$$

$$x(0) = x_0, x(t_1) = x_1 \tag{2}$$

Здесь $A(t), B(t)$ – матрицы размера $(n \times n), (n \times q)$ соответственно, элементы которых непрерывны. Функция $u(t) = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T \in U \subseteq R^q$ представляет собой управляющее воздействие на изменение системы (1)-(2). По общей методике, учитываем известные правила и обозначения:

$$1. \frac{\partial(Ax)}{\partial x} = A^T; 2. \frac{\partial(x^T Ax)}{\partial x} = Ax + A^T x; 3. (AB)^T = B^T A^T.$$

Квадратичный функционал представлен в общем виде [1, с. 364]:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_1} [x^T(t)S(t)x(t) + u^T(t)Q(t)u(t)]d(t) + \frac{1}{2} [x^T(t_1)Cx(t_1)], \tag{3}$$

где $S(t), C$ – неотрицательные определённые симметрические матрицы размера $(n \times n)$, а $Q(t)$ – положительно определённая симметрическая матрица размера $(q \times q)$.

На множестве допустимых процессов $D(t_0, x_0)$, как на множестве троек $d = (t_1, x(\bullet), u(\bullet))$, определяется функционал качества [1, с. 364]:

$$I(d) = \frac{1}{2} \int_0^{t_1} f^0(t, x(t), u(t))d(t) + F(t_1, x(t_1)), \tag{4}$$

где $f^0(t, x(t), u(t)) = x^T(t)S(t)x(t) + u^T(t)Q(t)u(t)$ и $F(t_1, x(t_1)) = \frac{1}{2} [x^T(t_1)Cx(t_1)]$.

Решение линейно-квадратичной задачи заключается в поиске такой тройки $d^* = (t_1^*, x^*(\bullet), u^*(\bullet)) \in D(t_0, x_0)$, что:

$$I(d^*) = \min_{d \in D(t_0, x_0)} I(d),$$

$x^*(\bullet)$ – оптимальная траектория; $u^*(\bullet)$ – оптимальное управление; t_1^* – оптимальный момент окончания процесса.

Необходимым условием минимума функционала (4) является принцип максимума Понтрягина. Существует эффективный алгоритм применения принципа для решения задачи (1)-(2) [1, с. 364].

1. Составляем гамильтониан:

$$H(t, \psi, x, u) = \psi^T [A(t)x + B(t)u] - \frac{1}{2} [x^T S(t)x + u^T Q(t)u]. \tag{5}$$

Функция $\psi(t)$ в гамильтониане называется вспомогательной [1, с. 337].

2. Находим максимум гамильтониана (5) по управлению. Если ограничения на управления отсутствуют, можно применить необходимые условия безусловного экстремума: $\frac{\partial H(t, \psi(t), x(t), u)}{\partial u} = B^T(t)\psi(t) - Q(t)u = 0$. Отсюда находим вид управления в задаче (1)-(3)

$$u^*(t) = Q^{-1}(t)B^T(t)\psi(t). \tag{6}$$

В силу положительной определённости матрицы $Q(t)$ выполняется достаточное условие максимума: $\frac{\partial^2 H(t, \psi(t), x(t), u)}{(\partial u)^2} = -Q(t) < 0$

3. Выписываем уравнения системы (2)-(3) с учетом (6) и условий трансверсальности [1, с. 365]

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= A(t)x(t) + B(t)Q^{-1}(t)B^T(t)\psi(t), x(t_0) = x_0, \\ \frac{d\psi(t)}{dt} &= \frac{-\partial H(t, \psi(t), x(t), u)}{\partial x} = -A(t)\psi(t) + S(t)x(t), \end{aligned} \tag{7}$$

$$\psi(t_1) = -Cx(t_1).$$

Далее решается система дифференциальных однородных уравнений с краевыми условиями. Здесь $x(t), \psi_1(t), \dots, \psi_n(t)$ - неизвестные функции, которые найдутся как единственное решение системы (7).

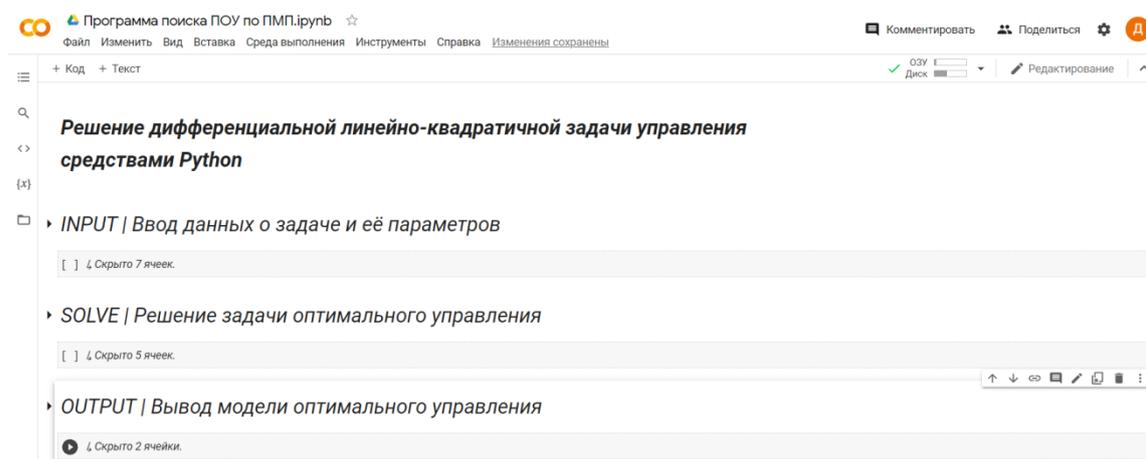


Рис. 1 – Главное окно программы в Google Colab

Программа поиска оптимального управления в задаче (1)-(3) в Google Colab состоит из трех блоков, представленных на рис. 1 [5]:

1. Ввод данных (Input). Динамическая управляемая система однозначно задается вводом правой части уравнений (1) и краевыми условиями в матричном виде. Функционал качества записывается в явном виде. Каждый шаг подготовки программы сопровождается подробными комментариями, включая синтаксис языка программирования Python. Для работы с матрицами и векторами в системе в Google Colab содержится библиотека линейной алгебры SymPy, которую интегрируют командой `from sympy import`. Пример ввода данных в Google Colab представлен ниже на рис. 2.

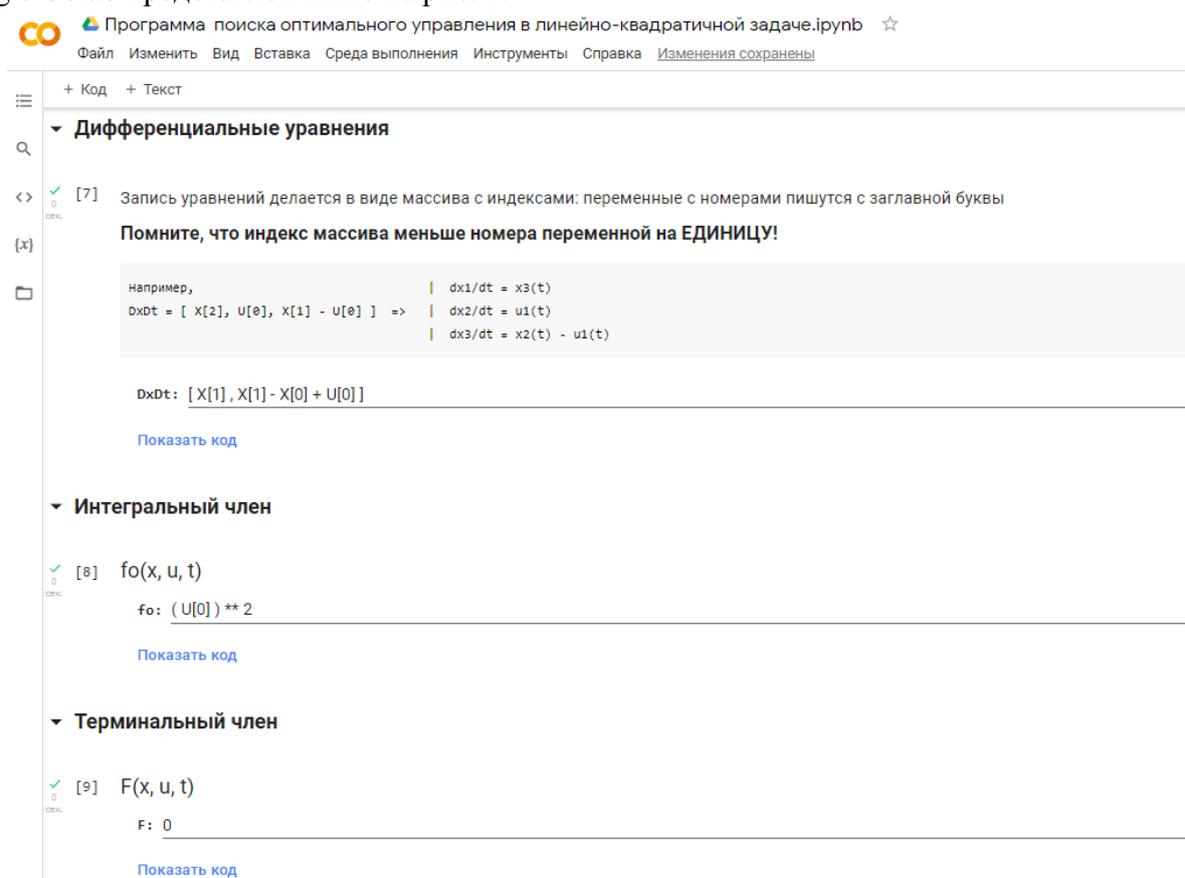


Рис. 2 – Ввод данных в Google Colab

2. Решение задачи (Solve). Согласно (5) программа формирует гамильтониан, определяет вид оптимального управления (6) и проверяет условия оптимальности. Далее с помощью встроенных функций в библиотеку NumPy решается система обыкновенных дифференциальных уравнений с краевым условием (7). Оптимальное программное управление и компоненты фазового вектора записываются в аналитическом виде (рис. 3).

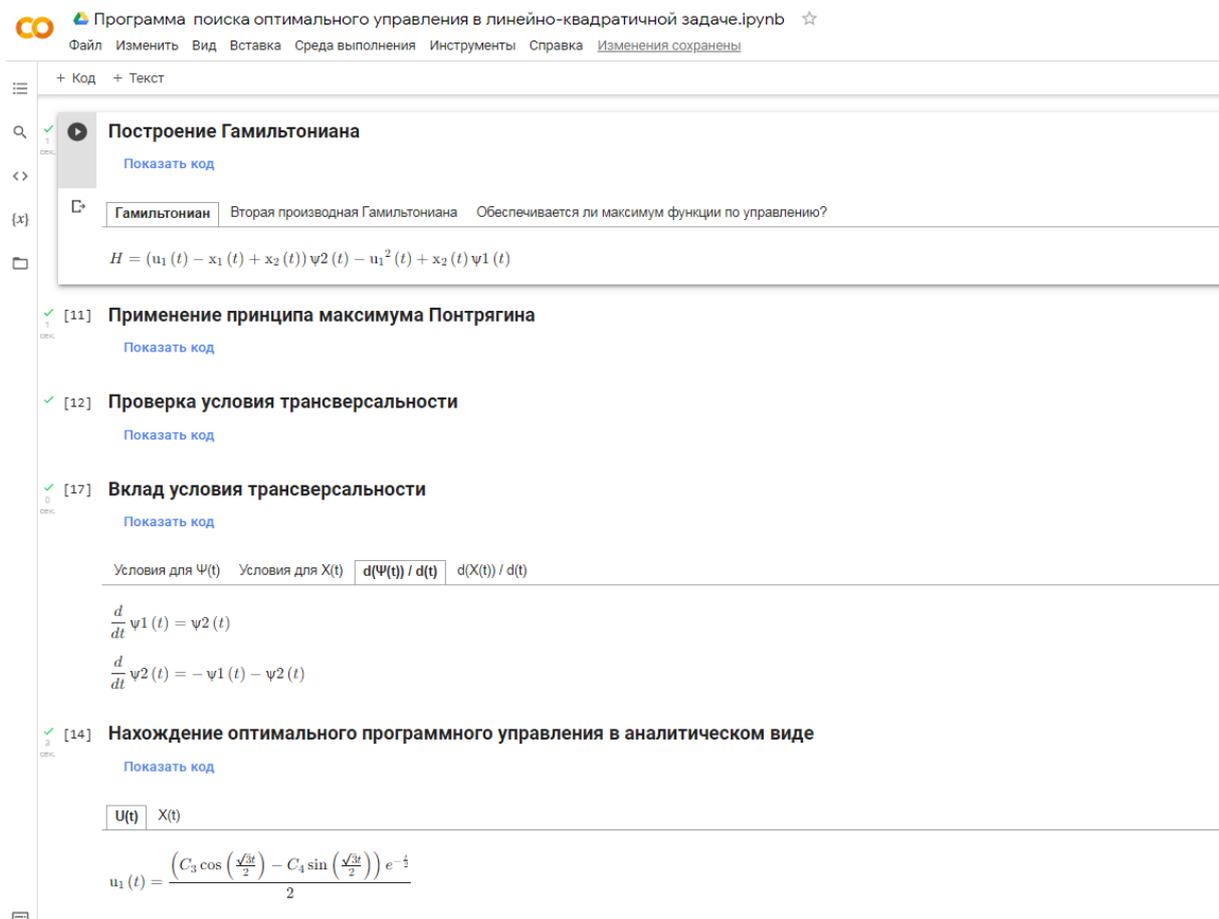


Рис. 3 – Поиск решения задачи в Google Colab

3. Ответ (Output). В качестве ответа программа выдает значение оптимального управления и компоненты фазового вектора в аналитическом и графическом виде. Для графического отображения решения используется функция plt.plot() библиотеки Matplotlib. Удобная система навигации в виде вкладок обеспечена возможностью использования функции TabBar() виджета widgets после импортирования в Google Colab.

Модельный пример 1. Динамическая система имеет вид:

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = x_2(t), \quad \frac{dx_2(t)}{dt} = x_1(t) + u(t)$$

с краевыми условиями $x_1(0) = 2, x_2(0) = \frac{-3}{2}, x_1(1) = \frac{1}{2}e, x_2(1) = -e^{-1}$ и функционалом качества:

$$I = \int_0^1 u^2(t)dt \rightarrow \min.$$

Решается задача Лагранжа. При сравнении с постановкой задачи оптимального управления (1)-(3), определяем следующие значения: $A(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}; B(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; S(t) = 0; Q(t) = 2; C = 0; t_0 = 0; t_1 = 1.$

Составляем гамильтониан и находим максимум по управлению:

$$H(t, \psi, x, u) = \psi_1 x_2 + \psi_2 u - u^2, \quad \frac{\partial}{\partial u} H(t, \psi(t), x(t), u) = \psi_2(t) - 2u = 0. \text{ Отсюда } u^*(t) = \frac{\psi_2(t)}{2} \text{ и } \frac{\partial^2}{(\partial u)^2} H(t, \psi(t), x(t), u) = -2 < 0.$$

Выписываем уравнение системы согласно (7):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} x_1(t) &= x_2(t), & x_1(0) &= 2, & x_1(1) &= \frac{e}{2}, \\ \frac{d}{dt} x_2(t) &= x_1(t) + \frac{\psi_2(t)}{2}, & x_2(0) &= -\frac{3}{2}, & x_2(1) &= -e^{-1}, \end{aligned}$$

$$\frac{d}{dt}\psi_1(t) = -\frac{\partial}{\partial x_1}H(t, \psi(t), x(t), u) = -\psi_2(t),$$

$$\frac{d}{dt}\psi_2(t) = -\frac{\partial}{\partial x_2}H(t, \psi(t), x(t), u) = -\psi_1(t).$$

Условия трансверсальности выполняются, так как $F(t_1, x) = 0$, то $\delta F = 0$ и $-H(t_1)\delta t_1 + \psi_1(t_1)\delta x_1 + \psi_2(t_1)\delta x_2 = 0$, $t_1 = 1$, то $\delta t_1 = 0$, $\delta x_1 = 0$, $\delta x_2 = 0$.

Решая двухточечную краевую задачу, получаем:

$$\psi_1(t) = C_1 e^t + C_2 e^{-t}, \quad \psi_2(t) = -\frac{d}{dt}\psi_1(t) = -C_1 e^t + C_2 e^{-t},$$

$$x_1(t) = C_3 e^t + C_4 e^{-t} - \frac{C_1}{4} t e^t - \frac{C_2}{4} t e^{-t},$$

$$x_2(t) = C_3 e^t - C_4 e^{-t} - \frac{C_1}{4} e^t - \frac{C_1}{4} t e^t - \frac{C_2}{4} e^{-t} - \frac{C_2}{4} t e^{-t}.$$

Из краевых условий находим $C_1 = 2$, $C_2 = 4$, $C_3 = C_4 = 1$ и искомую пару: оптимальную траекторию $x^*(t) = (x_1^*(t), x_2^*(t))^T$, где

$$x_1^*(t) = e^t + e^{-t} - \frac{t e^t}{2} - t e^{-t}, \quad x_2^*(t) = \frac{e^t}{2} - 2e^{-t} + t e^{-t} - \frac{t e^t}{2},$$

и оптимальное управление $u^*(t) = -e^t + 2e^{-t}$.

Модельный пример 2. Динамическая система имеет вид:

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = x_2(t), \quad \frac{dx_2(t)}{dt} = x_2(t) - x_1(t) + u(t)$$

с краевыми условиями $x_1(0) = -2$, $x_2(0) = 1$ и функционалом качества:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{2\sqrt{3}\pi} u^2(t) dt + \frac{1}{2} (x_1^2(2\sqrt{3}\pi) + x_2^2(2\sqrt{3}\pi)) \rightarrow \min.$$

Решается задача Больца. При сравнении с постановкой задачи оптимального управления (1)-(3), определяем следующие значения: $A(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$; $B(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$; $S(t) = 0$; $Q(t) = 1$; $C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$; $t_0 = 0$; $t_1 = 2\sqrt{3}\pi$.

После составления гамильтониана, проверки условного экстремума и поиска максимума по управлению, решаем краевую двухточечную задачу:

$$\frac{d}{dt}x_1(t) = x_2(t), \quad x_1(0) = -2,$$

$$\frac{d}{dt}x_2(t) = x_2(t) - x_1(t) + \frac{\psi_2(t)}{2}, \quad x_2(0) = 1,$$

$$\frac{d}{dt}\psi_1(t) = \psi_2(t), \quad \psi_1(2\sqrt{3}\pi) = -2x_1(2\sqrt{3}\pi),$$

$$\frac{d}{dt}\psi_2(t) = -\psi_1(t) - \psi_2(t), \quad \psi_2(2\sqrt{3}\pi) = -2x_2(2\sqrt{3}\pi).$$

Из краевых условий находим искомую пару: оптимальную траекторию $x^*(t) = (x_1^*(t), x_2^*(t))^T$ (рис. 4), где

$$x_1^*(t) = \left(\left[3 \sin \left(\frac{\sqrt{3}t}{2} + \frac{\pi}{6} \right) - 5\sqrt{3} \cos \left(\frac{\sqrt{3}t}{2} + \frac{\pi}{6} \right) \right] e^t - \left[\sqrt{3} \sin \left(\frac{\sqrt{3}t}{2} + \frac{\pi}{3} \right) + \cos \left(\frac{\sqrt{3}t}{2} + \frac{\pi}{3} \right) \right] 3e^{2\sqrt{3}\pi} \right) \frac{e^{-t/2}}{3(1 + e^{2\sqrt{3}\pi})},$$

$$x_2^*(t) = \left(\left[5\sqrt{3} \sin \left(\frac{\sqrt{3}t}{2} \right) + 3 \cos \left(\frac{\sqrt{3}t}{2} \right) \right] e^t + \left[\sqrt{3} \sin \left(\frac{\sqrt{3}t}{2} \right) + \cos \left(\frac{\sqrt{3}t}{2} \right) \right] 3e^{2\sqrt{3}\pi} \right) \frac{e^{-t/2}}{3(1 + e^{2\sqrt{3}\pi})},$$

и оптимальное управление

$$u^*(t) = \left(\sqrt{3} \sin\left(\frac{\sqrt{3}t}{2}\right) + \cos\left(\frac{\sqrt{3}t}{2}\right) \right) \frac{-2e^{2\sqrt{3}\pi-t/2}}{1 + e^{2\sqrt{3}\pi}}.$$

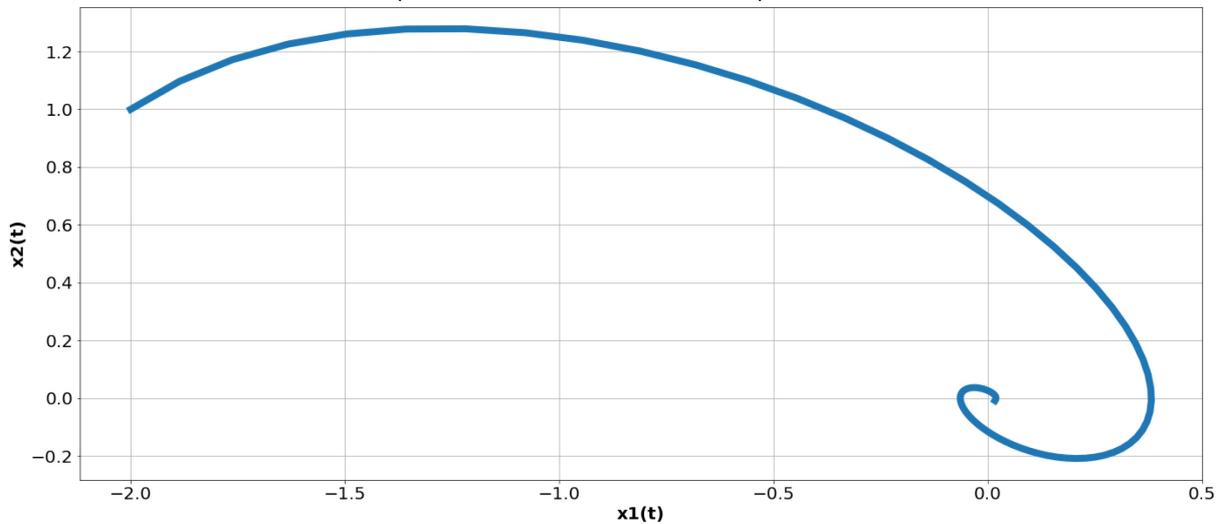


Рис. 4 – Вывод фазового вектора $x^*(t) = (x_1^*(t), x_2^*(t))^T$ в Google Colab

Представлена оригинальная программа, позволяющая решить линейно-квадратичную задачу оптимального управления средствами языка программирования Python в облачном сервисе Google Colab [5]. Программа решает задачи оптимального управления, используя принцип максимума Понтрягина с квадратичным видом функционала качества и линейно-квадратичной динамической системой.

Список литературы

1. Пантелеев А.В., Бортакровский А.С. Теория управления в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2003. 582 с.
2. Лобарёв Д.С. Поиск оптимального решения в двухкритериальной линейно-квадратичной задаче с экспертными оценками в системе Maple // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2014. № 4. С. 114–122.
3. Лобарёв Д.С. Решение многокритериальных динамических задач с экспертными оценками методом динамического программирования // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2011. № 3 (51). С. 149–152.
4. Лобарёв Д.С. Экспертные оценки в дифференциальной линейно-квадратичной игре n лиц с векторными функциями выигрыша // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 6. С. 205–208.
5. Толбухин Д.В., Лобарёв Д.С. Решение дифференциальной линейно-квадратичной задачи управления средствами Python. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021667998, 08.11.2021. Заявка № 2021667531 от 08.11.2021.

05.13.18

¹И.С. Некрасов, ^{1,2}В.С. Тынченко, ^{1,2}Я.А. Тынченко, ¹Т.А. Панфилова

¹Сибирский федеральный университет,
кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
лаборатория биотопливных композиций,
Красноярск, nekrasov-is@ya.ru,

²Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,
кафедра информационно-управляющих систем,
Красноярск, vadimond@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ В СИСТЕМЕ ASPEN HYSYS

В работе рассматриваются особенности моделирования технологического оборудования с использованием программной среды Aspen HYSYS. В качестве примера рассмотрена установка гидрокрекинга. Детальное внимание уделено построению модели в соответствии с технологической схемой процесса. Также рассмотрены возможности применения и адаптации полученной модели для различных задач.

Ключевые слова: *моделирование, модель, гидрокрекинг, установка гидрокрекинга, aspen hysys.*

Введение

Экологические проблемы и новые правила в отношении жидкого топлива, принятые в Европе, США и России, требуют уменьшения загрязняющих веществ за счёт сокращения вредных выбросов. Между тем, быстрый рост спроса на дизельное топливо и керосин приводит к развитию многих новых процессов, которые позволяют преобразовывать более тяжелые нефтяные фракции в более легкие, пригодные для использования продукты. Процесс гидрокрекинга используется для преобразования низкокачественного сырья (например, вакуумного газойля) в высокоценное транспортное топливо, такое как дизельное топливо, керосин, нефть и обогащенный водородом газ при повышенной температуре и давлении. [1]

Обычно промышленный гидрокрекинг проводят в двух каталитических реакторах с насадочным слоем. Первый реактор разложения серо- и азотсодержащих соединений представляет собой установку гидроочистки, в то время как жидкая фракция из первого реактора подвергается гидроизомеризации и гидрокрекингу во втором реакторе - реакторе гидрокрекинга. Более высокое содержание водорода в продуктах обеспечивает лучшие характеристики сгорания, что соответствует новым техническим условиям для топлива. Кроме того, гидрокрекинг позволяет обрабатывать широкий спектр сырья с различными характеристиками и производить широкий ассортимент продукции.[2]

Также возможно использование установки гидрокрекинга для производства биотоплива (например, биокеросин).[3]

Поскольку научно-исследовательская деятельность при работе с технически сложными системами сложно реализуема ввиду значительной стоимости технологического оборудования, использование систем автоматизированного проектирования для симуляции и исследования процессов производства особенно актуально в наше время.

В рамках данной статьи будет рассмотрен вопрос моделирования установки гидрокрекинга в программной среде Aspen HYSYS.

Процесс построения модели

Сырьё – прямогонный вакуумный газойль с установки ЭЛОУ-АВТ-7 - поступает на установку гидрокрекинга из резервуаров сырьевого парка или напрямую с вакуумной колонны установки ЭЛОУ-АВТ-7.

После предварительного нагрева за счёт серии теплообменников, в тройник смешения подаётся подпиточный водородсодержащий газ.

Газо-сырьевая смесь с температурой 317-379 °С поступает в печь поз. FH-100. Печь поз. FH-100 состоит из одной радиационной камеры с однопоточным горизонтальным змеевиком и оборудована 16 пилотными горелками и 16 основными горелками. В печи сырьё нагревается до требуемой температуры входа в реактор поз. R-100 за счёт сжигания в горелках печи топливного газа.

Сырьё с температурой 333-391 °С поступает в реактор гидрокрекинга поз. R-100. Реактор гидрокрекинга является одноступенчатым, с четырьмя неподвижными слоями катализатора гидрокрекинга, расположенными последовательно. По мере продвижения сырья через слои катализатора протекают реакции крекинга сырья. Экзотермические реакции крекинга высвобождают тепло и повышают температуры участвующих в реакции веществ. Для регулирования роста температуры и скорости реакции между слоями катализатора вводится циркулирующий водородсодержащий газ – квенч. Далее продукты реакции реактора гидрокрекинга R-100 поступают в реактор гидроочистки R-101.

В реакторе R-101 находится три слоя катализатора. В реакторе используются катализатор гидроочистки. Конструкция внутренних деталей реактора между слоями катализатора обеспечивает тщательное перемешивание реагентов и хорошее распределение паров и жидкости, стекающей на следующий слой. Пройдя реактор R-101, газопродуктовая смесь (далее ГПС) охлаждается рядом теплообменников. Далее газопродуктовая смесь с температурой 225 °С, поступает в горячий сепаратор высокого давления (далее ГСВД) D-100, где происходит разделение парожидкостной смеси. После теплообменника E-103 газообразные продукты попадают в АВО (Аппарат воздушного охлаждения). Жидкие продукты реакции с температурой не выше 224 °С поступают в горячий сепаратор низкого давления (далее ГСНД) D-101. Жидкая фаза ХСВД и пары ГСНД поступают в тройник смешения и далее направляются в холодный сепаратор низкого давления (далее ХСНД) D-103, в котором разделяются на газ и жидкие углеводороды. Жидкие углеводороды смешиваются и направляются в колонну фракционирования С-100. Циркулирующий ВСГ с верха ХСВД и ХСНД поступает в тройник смешения и выводится за установку в блок короткоциклового абсорбции (КЦА). Сырьё колонны фракционирования поступает в печь нагрева, где нагревается до температуры 278 °С. После печи FH-101 сырьё поступает в колонну. Колонна фракционирования С-100 содержит 30 тарелок: 22 тарелок над зоной испарения и 8 тарелок под ней. Пары выводятся с верха колонны. Гидроочищенная керосиновая фракция отбирается как боковой погон с тарелки № 12. Гидроочищенная дизельная фракция - выводится с куба колонны фракционирования. Сырьё подается в колонну в зону испарения между тарелками № 22 и № 23. Отпарная колонна керосина С-101 заполнена насадкой, в куб отпарной колонны для отпарки более легких компонентов подается водяной пар. Пары верха колонны возвращаются в колонну фракционирования над тарелкой № 10. Балансовый избыток гидроочищенной керосиновой фракции отводится за установку.

Кубовый продукт колонны фракционирования - гидроочищенная дизельная фракция - охлаждается и затем уходит в парк готовой продукции. Смоделированная схема установки гидрокрекинга показана на рисунке 1.

Анализ полученных данных

По результатам моделирования получаем основные показатели процесса: выход продукта, представленный в таблице 1

Таблица 1 – Массовый расход продукта

Показатель	Исходное сырьё	Дизельная фракция	Нафта	Керосин
Температура, °С	38	37,79	64,99	246,2
Давление, МПа	0,2	0,2297	0,15	0,1879
Масс. Расход., кг/час.	32130	19362	6605	4658

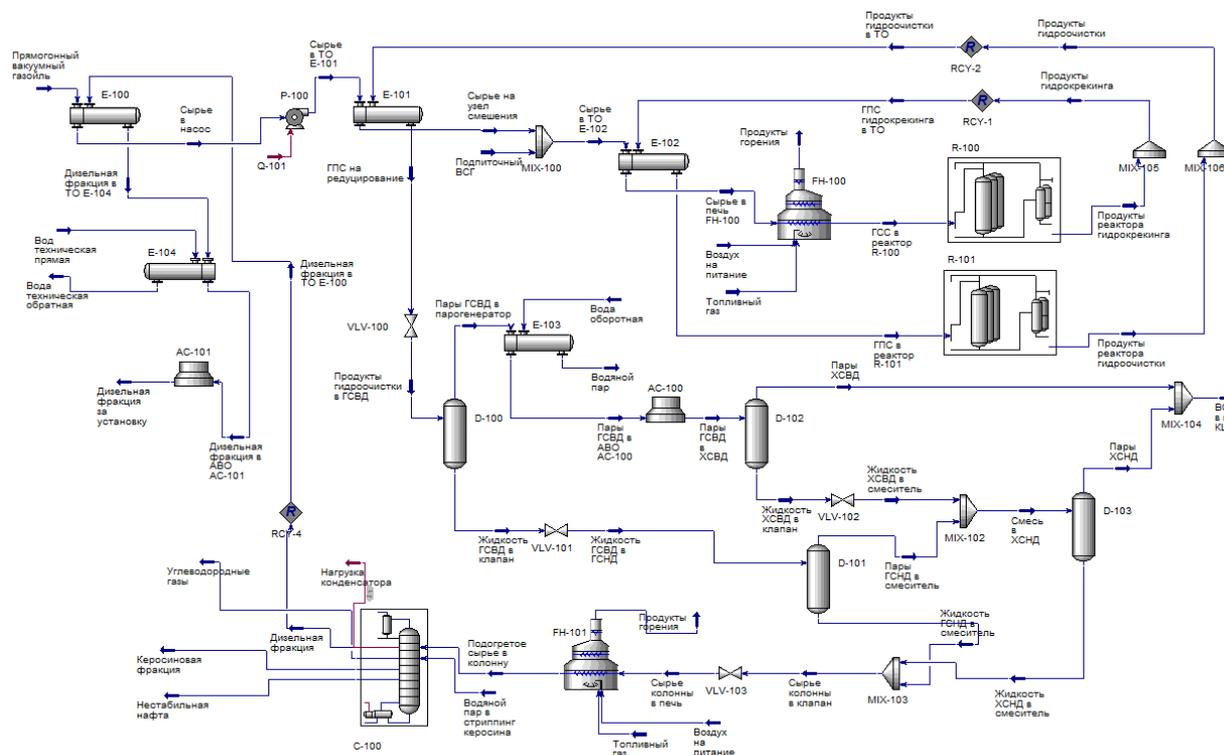


Рис. 1 – Модель установки гидрокрекинга

Полученную модель можно использовать для исследования влияния различных факторов на выход продукта, симуляции пуско-наладочных работ (при переводе модели в динамический режим), расчёта и отслеживания теплового и энергетического баланса системы, а также расчёта капитальных затрат на строительство и эксплуатацию установки, с помощью встроенного калькулятора экономического блока программы.

Заключение

В статье рассмотрен вопрос моделирования технологического процесса нефтепереработки на примере установки гидрокрекинга с использованием программного обеспечения Aspen HYSYS. Приведён принцип построения модели в соответствии с технологической схемой, а также проанализированы возможности применения полученной модели для различных задач производства. В дальнейшем планируется применения полученной модели в исследовании вопроса прогнозирования отказов установки гидрокрекинга методами нейросетевого моделирования.

Исследования выполнены по государственному заданию по проекту «Разработка комплекса научно-технических решений в области создания биотоплив и оптимальных биотопливных композиций, обеспечивающих возможность трансформации потребляемых видов энергоносителей в соответствии с тенденциями энергоэффективности, снижения углеродного следа продукции и использования видов топлива альтернативных ископаемому» (Контракт FSRZ-2021-0012) в научной лаборатории биотопливных композиций Сибирского федерального университета, созданной в рамках деятельности Научно-образовательного центра «Енисейская Сибирь».

Список литературы

1. Naveen Bhutani, Ajay K. Ray, and G. P. Rangaiah. Modeling, Simulation, and Multi-objective Optimization of an Industrial Hydrocracking Unit //Industrial & Engineering Chemistry Research: - 2006. - Vol. 45 – No. 4. – P.1354-1372.
2. Hua Zhou etc. Modeling and optimization of an industrial hydrocracking unit to improve the yield of diesel or kerosene //Fuel - 2011. - Vol. 90 – Issue 12. – P.3521-3530.
3. Mohit Anand etc. Optimizing renewable oil hydrocracking conditions for aviation bio-kerosene production //Fuel - 2016. - Vol. 151 – P.50-58.

05.13.18

¹Е.В. Поезжаева канд. техн. наук, ²С.Э. Шаклеина канд. техн. наук, ¹Д.Н. Кучев¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь,²Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(Березниковский филиал),
кафедра Технологии и механизации производств,
Березники, tmp@bf.pstu.ru, kuchevdmritri@yandex.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДА УКРЕПЛЕНИЯ ПЛОСКИХ КРЫШЕК
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АППАРАТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТИПА
ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

В статье рассматривается проблема укрепления плоских крышек круглого типа. Указаны методы укрепления плоских крышек рёбрами жёсткости. При помощи моделирования напряжённо-деформированного состояния аппарата обоснован приемлемый метод укрепления плоской крышки.

Ключевые слова: плоская крышка, напряжённо-деформированное состояние, рёбра жёсткости, компьютерное моделирование, численные методы.

Для укрепления плоских круглых крышек рёбрами жёсткости, которые фиксируются изнутри или снаружи, используют радиальное расположение (по радиусам от центра), параллельное расположение (параллельно диаметру), поперечно-параллельное (параллельно диаметру и поперечно этой параллели) [1].

Методика [1] рекомендует располагать укрепляющие элементы следующим образом (рис. 1). Положение параллельных рёбер получено из условий равенства изгибающих моментов для рёбер. Каждое ребро принимается за балку, лежащую на двух опорах, которая нагружена равномерно распределённой нагрузкой от внутреннего избыточного давления на элемент крышки, при прохождении рёбер через центр тяжести данных элементов.

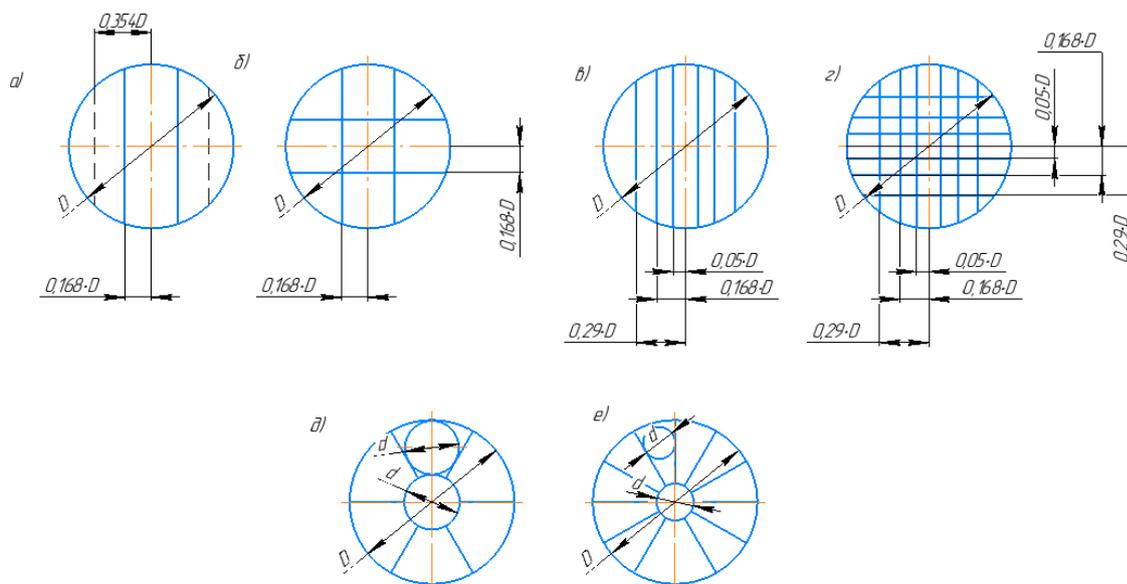


Рис. 1 – Размещение укрепляющих рёбер в плоских круглых крышках.

- а) параллельное размещение с числом рёбер равное 4; б) параллельно-поперечное размещение с числом рёбер равное 4; в) параллельное размещение с числом рёбер равное 6; г) параллельно-поперечное размещение рёбер с числом рёбер равное 12; д) радиальное расположение рёбер с числом равное 6; е) радиальное размещение рёбер с числом равное 12.

Благодаря указанному выше способу, все ребра работают в одинаковых условиях и получаются по расчету одного сечения. При размещении ребер на равных расстояниях друг от друга диаметрально ребра являются наиболее нагруженными, что нерациональными. При размещении по радиусу, укрепляющий элемент рассматривается так же, как балка, опёртая по концам и нагруженная равномерно распределённой нагрузкой. Принимается, что половина всей нагрузки, действующей на плоскую крышку, воспринимают укрепляющие элементы.

Постановка задачи. Указанные условия укрепления плоских крышек не дают рекомендаций по количеству укрепляющих ребер, расположению ребер на крышке, а именно каким образом лучше размещать укрепляющие ребра жёсткости. Настоящей задачей является исследование расположения ребер жёсткости на крышке плоской конфигурации, каким образом их количество влияет на возникающие напряжения и перемещения. Требуется определить рациональное и приемлемое расположение укрепляющих ребер на плоской крышке аппарата.

Исследование. В качестве укрепляющего элемента выбрано ребро жёсткости с постоянной толщиной $s' = 4$ мм, которая связана с высотой соотношением 1:5. Ребра располагали радиально, параллельно и параллельно перпендикулярно в двух направлениях диаметру (поперечно-параллельное). Однако, в последнем случае использовали ребро жёсткости с соотношением толщины и высоты 1:2,5. Исследования проводились путём моделирования напряжённо-деформированного состояния вертикального цилиндрического аппарата, разработанного на кафедре ТМП в Березниковском филиале ПНИПУ [2]. Внутреннее избыточное давление (p) в аппарате задавали в границах от 0,1 до 1 МПа с интервалом в 0,1.

По аналитической методике [1] определим максимальные напряжений в ребрах, при радиальном расположении.

Метод конечных элементов делит исследуемый объект на множество небольших частей простой геометрической формы, которые называются элементами. Они в свою очередь заменяют сложную задачу множеством простых решений, что требуется рассматривать одновременно [2]. В первую очередь проводится анализ деформаций конструкции, а исходя из деформаций получают карты напряжений. С использованием численных методов программного продукта «Solidworks Simulation» были получены следующие результаты (рис. 2).

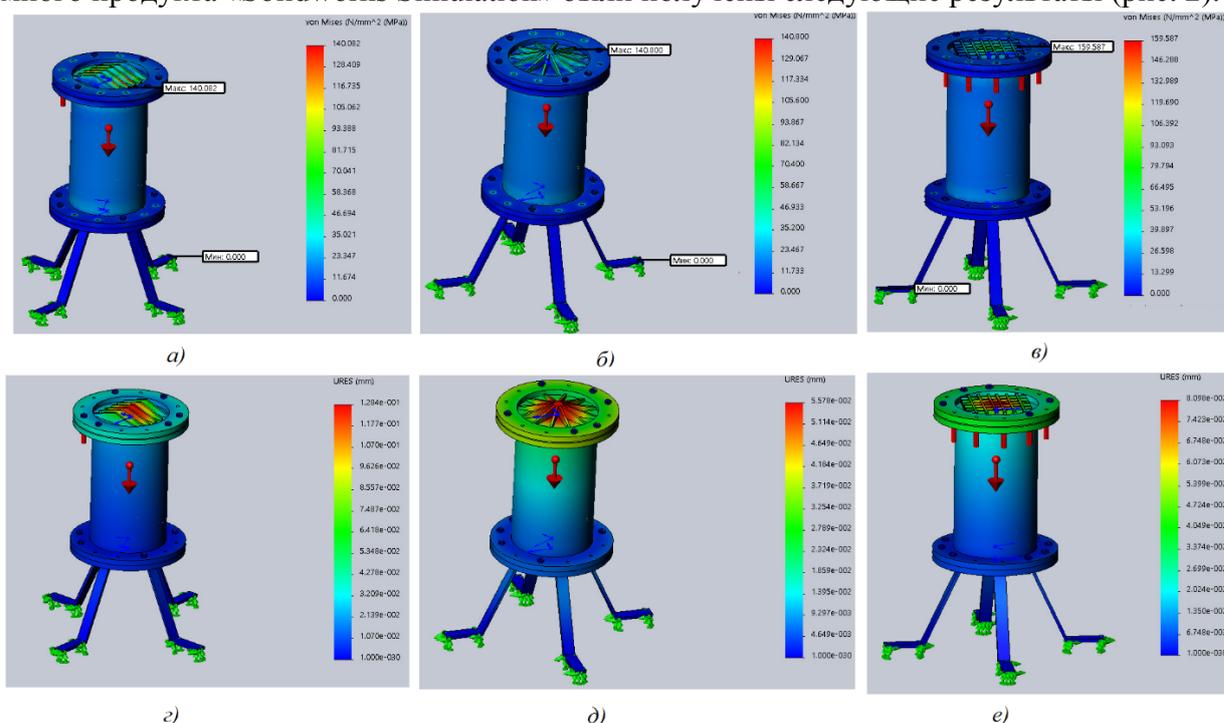


Рис. 2 – Эпюры напряжений, перемещений для крышек с различным расположением ребер.

а) эпюра напряжений параллельного расположения рёбер; б) эпюра напряжений радиального расположения рёбер) в) эпюра напряжений параллельно-поперечного расположение рёбер; г) эпюра перемещений параллельного расположения рёбер; д) эпюра перемещений радиального расположения рёбер); е) эпюра перемещений параллельно-поперечного расположение рёбер.

Для решения поставленной задачи определено максимальное число рёбер равное 12. Эпюры напряжений и перемещений получены при максимальном давлении 1 МПа. В качестве конструкционного материала плоской крышки использовалась высоколегированная сталь 12Х18Н10Т с допускаемым напряжением 184 МПа [3]. Максимальное напряжение расположено на минимальном сечении ребра жёсткости (рис.2, а, б, в). Однако напряжение на плоской крышке распределяется по кольцевым окружностям, что видно из эпюр перемещений (рис. 2, г, д, ж). В ходе аналитического расчёта определяем $\sigma_{ц} = 88,264$ МПа, в ходе численного расчёта $\sigma_{max} = 140$ МПа. Следовательно, аналитическая методика определения максимальных напряжений в рёбрах не учитывает множество физико-механических свойств материала, что определены в численном расчёте. Распределение напряжений и перемещений представлено на рис. 3.

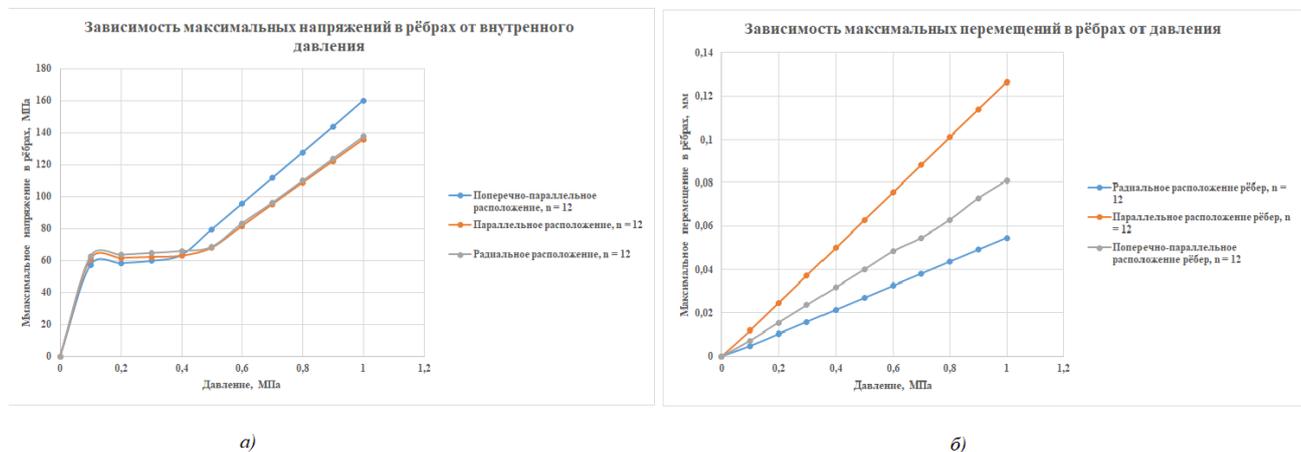


Рис. 3. – Зависимости напряжений (а) и перемещений (б) в рёбрах при радиальном, параллельном и поперечно-параллельном расположении от внутреннего давления

Полученные результаты говорят о том, что использование радиальных и параллельных рёбер жёсткости является оптимальным вариантом. Горизонтальный участок от 0,1 до 0,4 МПа демонстрирует способность к сопротивлению рёбрами жёсткости, воспринимаемой нагрузки. На данном участке напряжения в рёбрах жёсткости стараются сохранять постоянную величину. Для более детального изучения выбранных расположений получены зависимости напряжений и перемещений от числа рёбер (рис. 4).

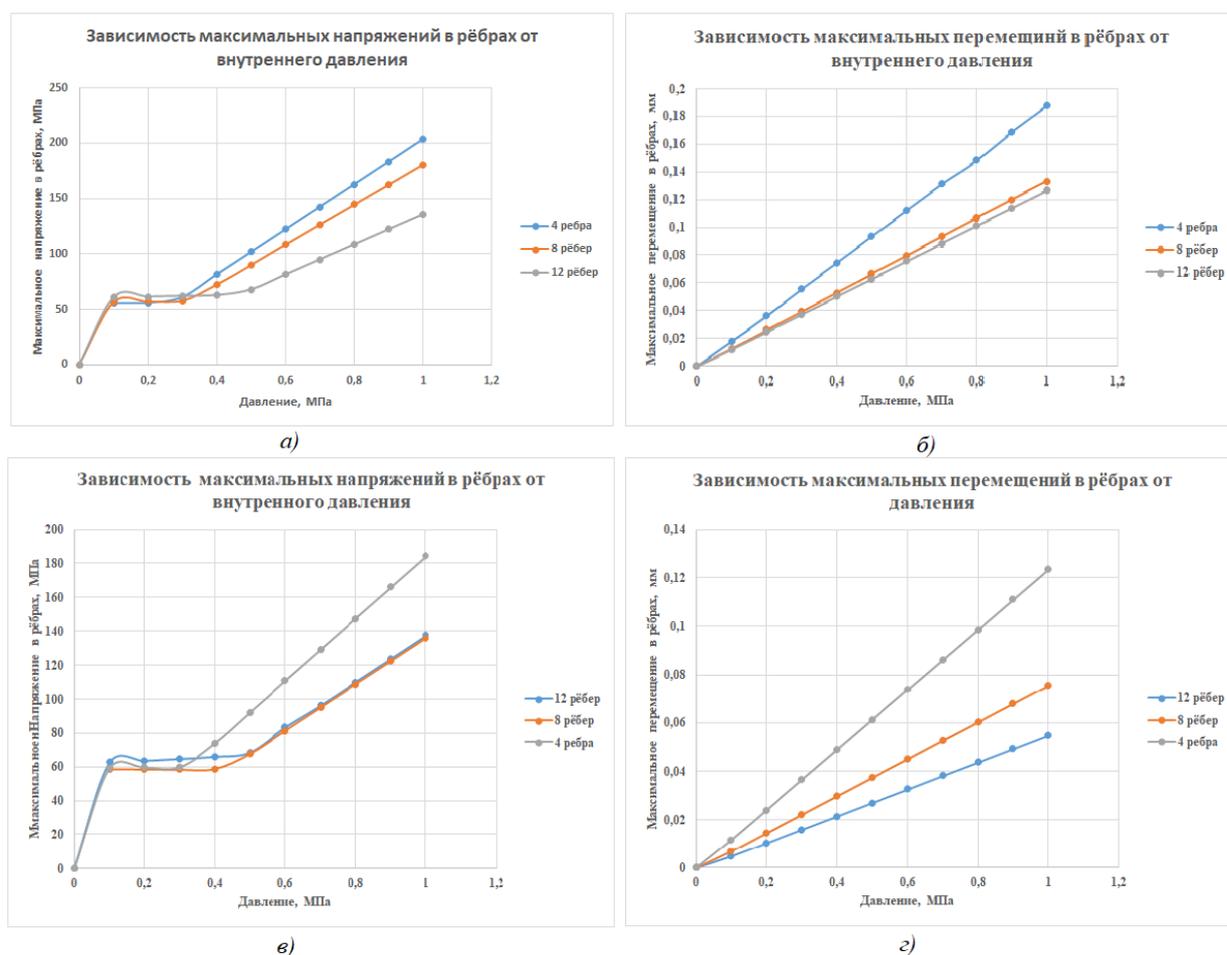


Рис. 4. – Зависимости напряжений и перемещений в рёбрах жёсткости от внутреннего давления.

- а) Зависимость максимальных напряжений в рёбрах параллельного расположения;
- б) Зависимость максимальных перемещений в рёбрах параллельного расположения;
- в) Зависимость максимальных напряжений в рёбрах радиального расположения;
- г) Зависимость максимальных перемещений в рёбрах радиального расположения;

При параллельном расположении рёбер, с уменьшением числа рёбер увеличивается напряжение и перемещение в них. С использованием радиального расположение рёбер, с уменьшением их числа, напряжение сначала уменьшается (интервал давления 0,1 – 0,3 МПа), а затем увеличивается (интервал давления 0,3 – 1 МПа). Перемещения в рёбрах увеличиваются с увеличением числа рёбер. Максимальная способность рёбер к сохранению постоянных напряжений наблюдается при радиальном расположении рёбер и их количестве $n = 12$.

При диаметре крышки плоской конфигурации $D = 140$ мм, толщине ребра равное $s' = 4$ мм, соотношением высоты и толщины 1:5, прямоугольным сечением. Оптимальным расположением рёбер является радиальное и их количество равное $n = 8$. Следовательно, данное расположение рёбер и их количество можно использовать для укрепления плоских крышек аппаратов, работающих под внутреннем избыточным давлением с указанным соотношением геометрических характеристик рёбер жёсткости. Полученные результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1 – параметры для проектирования плоской крышки круглой формы

Название параметра	Величина параметра
Толщина стенки цилиндрического аппарата	s
Толщина ребра жёсткости прямоугольного сечения	$s' = s$
Высота ребра жёсткости	$h = 5 \cdot s'$
Количество рёбер	8
Расположение	Радиальное
Максимальное напряжение в рёбрах	$-5444,6p^6 + 19754p^5 - 28254p^4 + 19931p^3 - 6944,3p^2 + 1093,1p + 0,2592$; где p – внутреннее избыточное давление
Максимальное перемещение в рёбрах	$\Delta = 0,0758 \cdot p - 0,0005$
Толщина плоской крышки	$s'' = 0,5 \cdot s$

Выводы. В ходе исследования по укреплению плоских крышек цилиндрического аппарата, авторы работы пришли к решению, что крышку плоской конфигурации целесообразнее всего укреплять рёбрами жёсткости радиального расположения с количеством рёбер в $n = 8$ (при необходимости их установки с учетом действующего давления), прямоугольного сечения, толщиной s' и высотой $5 \cdot s'$. Авторы работы также вывели зависимости для определения максимальных напряжений и перемещений в рёбрах, которые могут быть использованы для проектирования плоских крышек круглой формы различных аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением. В случае невозможности укрепления плоской крышки рёбрами жёсткости радиального расположения, требуется укрепление рёбрами жёсткости параллельного расположения в количестве $n = 12$, с теми же геометрическими характеристиками.

Список литературы

1. *Лашинский Александр Александрович.* Основы конструирования и расчета химической аппаратуры [Текст] : справочник / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. - Изд. 4-е, стер. - Москва : Альянс, 2011. - 752 с.
2. *Поезжаева Е.В., Шаклеина С.Э., Кучев Д.Н.* ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛОСКИХ КРЫШЕК И ДНИЩ АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ВНУТРЕННИМ ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. №3. С. 37-43.
3. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.

05.13.18

А.А. Рачишкин, Д.А. Груздков

Тверской государственной технической университет,
факультет информационных технологий,
кафедра автоматизации технологических процессов,
Тверь, rachishkinandr@yandex.ru

ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье рассматриваются способы построения моделей по расчету физических экспериментов контактного взаимодействия шероховатых поверхностей. Представлен алгоритм трехмерного моделирования шероховатой поверхности на основе математического описания микронеровностей в виде сегментов эллипсоида вращения. Приведены общие принципы программной архитектуры системы дискретно-событийного моделирования контактного взаимодействия шероховатой поверхности.

Ключевые слова: *дискретно-событийное моделирование, микронеровность, шероховатая поверхность, контактное взаимодействие.*

Введение. Системы компьютерного моделирования получили широкое развитие при решении прикладных инженерных задач. Они встраиваются в алгоритмы проектных расчётов, модернизируют их методики, предлагая более эффективные решения. Современные компьютеры, дающие возможность оперировать большими объемами вычислительных данных, позволяют использовать их для моделирования физических экспериментов. Системы такого рода не вытесняют ни одну из составляющих исследования, а интегрируются в общий процесс, оптимизируя выполнение каждого этапа решения поставленной задачи.

Постановка задачи. Целью данной статьи является описание программной архитектуры для проведения численных экспериментов с помощью дискретно-событийного компьютерного моделирования процессов контактного и фрикционного взаимодействия шероховатых поверхностей.

Существует ряд сформированных подходов в этом направлении [1,2], однако, они основаны на искусственном создании рельефа поверхности и базируются на теории случайного поля. Благодаря теории случайного поля можно получить спектральные характеристики поверхности. Применяя данные алгоритмы, часто можно получить не соответствие построенной компьютерной модели с реальной микрогеометрией поверхности. При сопоставлении с реальными техническими поверхностями, подвергнутыми различным технологиям обработки [3], подобные допущения дают существенную погрешность экспериментов.

Описание модели. Описание компьютерной модели можно разделить на первичную и вторичную составляющие. К первичной относятся генерация микротопографии шероховатых поверхностей и расчёт характеристик контактного взаимодействия. Вторичная содержит специализированные расчётные модули, которые могут подключаться в зависимости от требований поставленной задачи: фрикционное взаимодействие, электрическое сопротивление, форсированные режимы испытаний, термическое сопротивление и т.д. Такой принцип позволяет дополнять программу новыми возможностями и модифицировать имеющиеся вторичные системы.

Создание трёхмерной компьютерной модели с возможностью математического описания изменения морфологии поверхности требует принятия ряда допущений к генерируемому рельефу. Выбор модели топографии поверхности является одним из ключевых вопросов при

проведении симуляций контактного взаимодействия [4]. В работе [5] рельеф моделируется сферическими сегментами. Для описания их деформации использовались точные и приближённые решения контактных задач. Моделирование микрогеометрии учитывало распределение радиусов микронеровностей и их высоту, однако, это происходило на основании анализа профилограмм технических поверхностей и неадекватно описывало их топографию. Задачи моделирования микрогеометрии при контактном взаимодействии можно ограничить рассмотрением части шероховатой поверхности выше уровня средней плоскости [6]. Это сократит расходуемые ресурсы и не повлияет на область применения программного средства.

Более общим случаем модели единичной микронеровности является сегмент эллипсоида вращения [7], позволяющий (в отличие от сферического сегмента) учесть анизотропию шероховатых поверхностей, возникающую в процессе механической обработки.

Моделирование контактного взаимодействия осуществляется итерационным сближением поверхности с полупространством. Изменённые параметры микронеровности, вступившие в контактное взаимодействие, просчитываются индивидуально на каждом шаге внедрения с учётом их упругой или упругопластической деформации и наличия функционального покрытия [8].

Программная архитектура. Общая архитектура программного средства для обеспечения эффективного использования вычислительных ресурсов построена с учётом необходимости оперирования большим количеством микрогеометрических и физико-механических параметров в системе на каждом шаге внедрения. На рис. 1 представлен общий вид системы.



Рис. 1 – Общая архитектура программы

Оператор задаёт параметры микронеровностей и их количество. Система генерирует микронеровности и передаёт их в блок хранения данных. После подтверждения передачи применяется выбранный алгоритм создания поверхности, который распределяет микронеровности в виде сегментов эллипсоидов по средней плоскости поверхности. При этом в хранилище данных дописывается информация о координатах центров каждой микронеровности. Далее необходимо настроить входные параметры, отвечающие за контактное взаимодействие: наличие функционального покрытия, микротвердости, приведенные модули упругости как для покрытия, так и для полупространства, выставить границы возможного варьирования характеристик, настроить шаг и предел внедрения.

Каждая итерация внедрения формирует данные по изменению характеристик контактного взаимодействия шероховатых поверхностей. Создаётся блок данных, содержащий в себе новые контактные характеристики сегментов, вступивших во взаимодействие. В зависимости от глубины внедрения рассчитывается их упругая или упругопластическая деформация. Этот процесс повторяется, пока не будет достигнут выставленный предел внедрения. Данные, полученные на этом этапе, являются ядром блока хранения данных. Вторичные модули используют их для моделирования собственных задач и оперирует ими собственный контроллер.

Вывод. В результате программа с описанной структурой является законченным ядром для системы проведения физических экспериментов контактного взаимодействия шероховатых поверхностей с помощью дискретно-событийного компьютерного моделирования. Возможность создания новых и модификации имеющихся модулей системы позволяет гибко настраивать экспериментальную логику для решения научных и прикладных задач. Ядро системы содержит базовую логику формирования и деформации шероховатой поверхности, а расширяемая модель хранения данных через контроллер позволяет использовать полученные результаты для подключения вторичных модулей по исследованию вопросов трения, износа, проведения ускоренных испытаний, подбора наиболее подходящих материалов в зависимости от поставленных требований, расчёта термического и электрического сопротивления стыка и многих других.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-326.2021.4

Список литературы

1. *Bhushan B.* Contact mechanics of rough surfaces in tribology: multiple asperity contact. / Bharat Bhushan.// Tribology letters.1998.№ 4. p. 1-35.
2. *Горячёва И.Г.* Механика дискретного контакта./ И.Г. Горячёва, О.Г. Чекина.// Механика контактных взаимодействий. Под ред. И.И. Воровича и В.М. Александрова.- М.Физматлит, 2001.-с.418-437.
3. *Порошин В.В.* Основы комплексного контроля топографии поверхностей деталей./ В.В. Порошин- М. Машиностроение-1. 2007.-196 с.
4. *Сутягин О.В.* Компьютерное моделирование микротопографии шероховатых поверхностей./ О.В. Сутягин, А.Н. Болотов, А.А. Рачишкин.// «Трение и износ», Т. 36, №5, 2015 с. 536-545
5. *Демкин Н.Б.* Зависимость эксплуатационных свойств фрикционного контакта от микрогеометрии контактирующих поверхностей./ Н. Б. Демкин, В. В. Измайлов.// Трение и износ. 2010. том 31, № 1. с 7-15.
6. ГОСТ 25142-82.Шероховатость поверхности. Термины и определения. Введён 1983-01-01 М. Изд-во стандартов, 1982, 20с.: ил.
7. *Дёмкин Н.Б.* Качество поверхности и контакт деталей машин. / Н.Б.Дёмкин, Э.В.Рыжов.- М. Машиностроение,1981.224 с.
8. *Сутягин О.В.* Компьютерное моделирование контактного взаимодействия шероховатых поверхностей. / О.В. Сутягин, А.Н. Болотов, А.А. Рачишкин.// «Трение и износ», Т. 37, №4, 2016 с. 427-435

05.13.18

**А.В. Рязанов, А.А. Добров, Д.В. Доронков,
А.Н. Пронин, Т.Д. Демкина, М.Ю. Шуваева, А.С. Снегирева**

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПЕТЛЕВЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОПУСКНОЙ КАМЕРЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

В работе представлены результаты расчетно-экспериментального исследования процесса неизотермического турбулентного перемешивания потока теплоносителя в модели корпуса ядерного реактора методом теплового следа. В процессе исследований определено пространственное распределение тепловой метки в потоке теплоносителя. Выполнена оценка параметров перемешивания контрастной струи в модели напорного тракта и выявлена возможность повышения теплотехнической надежности современной ЯЭУ.

Ключевые слова: *теплоноситель, перемешивание потоков, вычислительная гидродинамика, энергетическая установка.*

Введение. К настоящему времени разработано большое количество расчетных программ, предназначенных для численного моделирования теплофизических и гидродинамических процессов. Эти прикладные программы могут иметь принципиальные различия в схемах решения уравнений движения жидкости, способах задания расчетной сетки, а также в используемых моделях турбулентности. Причем даже работы одних и тех же авторов, демонстрирующие примеры расчетов сложных гидродинамических процессов внутри модели реактора с применением различных моделей турбулентности, свидетельствуют о расхождении результатов [1]. В России на сегодняшний день отсутствует необходимая база экспериментальных данных, предназначенная для валидации импортозамещающих кодов вычислительной гидродинамики для решения задач в области турбулентных смешений потоков с различными физическими свойствами [2]. Примером сложного технического объекта атомной промышленности, который довольно часто находится под влиянием процессов турбулентного перемешивания потоков с различными физическими свойствами, является реактор атомной станции малой мощности. Проведение аэродинамического эксперимента с использованием неизотермической модели напорного тракта водо-водяного реактора позволяет исследовать особенности течения потока и создать высокоточную базу данных, пригодную для валидации отечественных кодов вычислительной гидродинамики по рассматриваемому классу задач. Комплексное расчетно-экспериментальное исследование направлено на повышение эксплуатационных характеристик и технико-экономических показателей перспективных реакторных установок малой мощности.

Методика экспериментального исследования. Одним из этапов исследований, направленных на изучение гидродинамики процесса перемешивания теплоносителя в опускной камере ядерного реактора, являлся эксперимент, который проводился на высоконапорном аэродинамическом стенде НГТУ им. Р.Е. Алексеева [3]. Стенд (рис. 1) представляет собой аэродинамический контур, в состав которого входят вентилятор высокого давления, буферная емкость, раздающая система трубопроводов, экспериментальная модель, измерительный комплекс.

Экспериментальная модель (рис. 2) имеет конструкцию, характерную для водо-водяного реактора, а именно: радиальный подвод теплоносителя через патрубки, движение теплоносителя по опускному каналу до нижней напорной камеры, сформированной эллиптическим днищем и нижней частью имитатора активной зоны, разворот теплоносителя при переходе из опускного канала в нижнюю камеру, подъем теплоносителя через каналы-имитаторы активной зоны с последующим осевым выходом из верхней сливной камеры.



Рис. 1 – Общий вид стенда

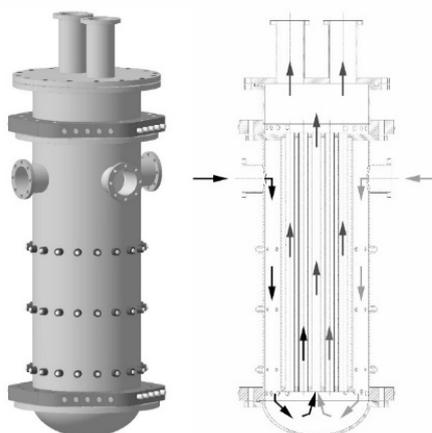


Рис. 2 – Экспериментальная модель

Для изучения особенностей течения теплоносителя внутри модели применялся метод теплового следа. Во время проведения эксперимента в одну из петель модели был организован подвод горячего потока. Такая подача контрастной метки дает возможность с высокой точностью регистрировать её перераспределение внутри среды, не оказывая при этом значительного влияния на гидродинамику основного потока.

Для контроля за температурным полем использовались высокоточные калиброванные хромель-алюмелевые термопары с диаметром термоэлектрода 0,5 мм (погрешность определения температуры $\pm 0,5$ °C). Мониторинг и обработка первичных экспериментальных данных велась в программных комплексах собственной разработки.

Методика численного исследования. В расчете моделируется трехмерное нестационарное неизотермическое турбулентное течение вязкой несжимаемой жидкости. В данном исследовании наиболее важным фактором, влияющим на теплогидравлические характеристики элементов реакторной установки, являются крупномасштабные вихревые структуры, поэтому расчеты проводились без учета сил плавучести. Расчетная геометрия представлена на рисунке 3.

Практической целью проведения моделирования является определение температурной неоднородности на входе в активную зону реактора для обоснования ее теплотехнической надежности. Для адекватного описания рассматриваемых физических процессов требуется использовать современные RANS - LES модели турбулентности [4].

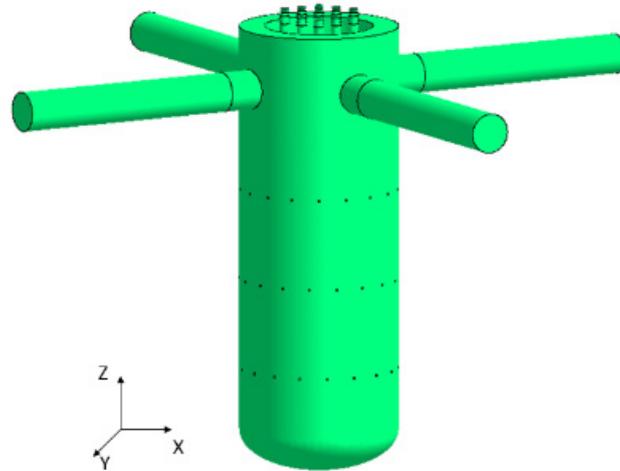


Рис. 3 – Расчетная модель

Результаты исследований. В ходе исследований получены данные о распределении температуры рабочей среды в характерных областях модели. Во всех моделируемых режимах (рис. 4) горячее пятно было обнаружено в области противоположной его вводу, что является следствием наличия закрутки потока теплоносителя относительно патрубков подачи. При этом наибольший вклад в спиральное движение теплоносителя вносит опускная камера, при движении внутри которой поток отклоняется на угол примерно 170–180°.

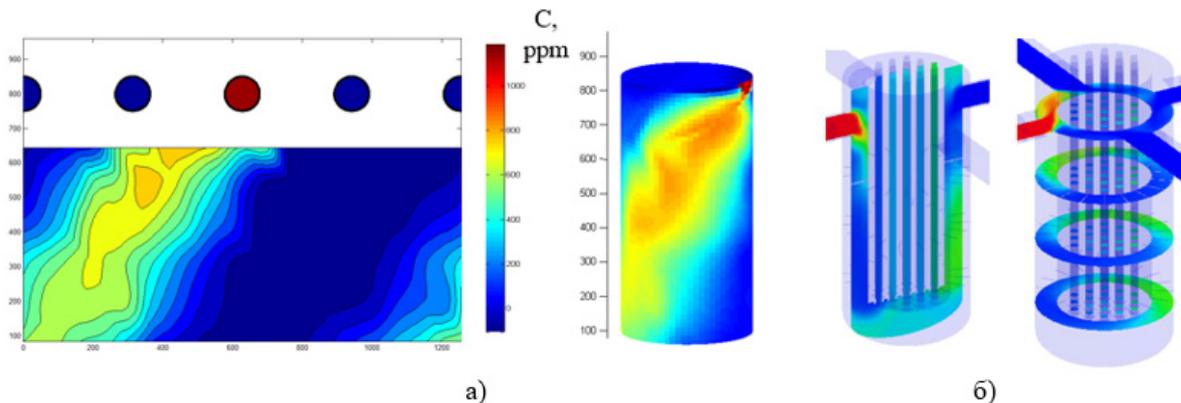


Рис. 4 – Результаты комплексных исследований: а) экспериментальные; б) численные

В результате расчетного моделирования наблюдается вихревая структура, полученная в нижней части модели, что свидетельствует о верном воспроизведении картины течения. Наблюдается удовлетворительно качественное согласие мгновенных и усредненных по времени полей температуры для расчетов и эксперимента.

Заключение. В результате комплексных расчетно-экспериментальных исследований было установлено:

- распределение относительной температуры по входам в каналы-имитаторы активной зоны неравномерно;
- наибольшая относительная температура наблюдается со стороны патрубка, противоположного «горячему»;
- в нижней части модели напорной камеры наблюдается явление закрутки потока более чем на 180°.

Проведено сравнение результатов эксперимента и расчетов в программе ЛОГОС. Было получено хорошее качественное и количественное совпадение результатов расчета и

эксперимента, что свидетельствует о высокой эффективности CFD-кода при моделировании процессов смешения потоков. Комплексные исследования показали недостаточную эффективность перемешивания турбулентных потоков в опускном кольцевом канале, что подтверждает необходимость установки смесительного устройства.

Список литературы

1. *Sun L.* Numerical study on coolant flow distribution at the core inlet for an integral pressurized water reactor // *Nucl. Eng. Technol.* 2017. V. 49. Is. 1. P. 71–81.
2. *Большухин М.А., Знаменская И.А., Свешников Д.Н., Фомичев В.И.* Термографическое исследование турбулентных пульсаций воды при неизотермическом смешении // *Автоматрия.* 2014. Т. 5. С. 75–83.
3. *Dmitriev S.M.* An experimental study into the hydrodynamics of the loop coolant flows' mixing in the nuclear reactor downcomer // *Thermal Engineering.* 2021. V 4. P. 270-277.
4. *Герасимов А.В.* Расчетно-экспериментальные исследования процессов течения потока теплоносителя в области направляющего канала за перемешивающими решетками ТВС // *Инженерно-физический журнал.* 2020. Т. 93. № 1. С. 145-154.
5. *Снегирёв А.Ю.* Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений // учеб. пособие. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2009.

05.13.18

И.Н. Сидоров, А.В. Горелов, А.И. Энская

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
Казань, INSidorov1955@mail.ru

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье представлена математическая модель для определения эффективных компонент тензора модулей упругости дисперсно армированного полимерного композиционного материала на основе метода осреднения в периодических средах. Предложен алгоритм решения задачи на ячейке периодичности для вычисления эффективных механических характеристик этого материала на основе метода граничных элементов.

Ключевые слова: дисперсно армированный полимерный композиционный материал, эффективные компоненты тензора модулей упругости, метод осреднения в периодических средах, задача на ячейке периодичности, метод граничных элементов.

В работе [1] предложен алгоритм определения эффективных компонент тензора модулей упругости дисперсно армированного полимерного композиционного материала (ДАПКМ) с конструктивными элементами: полимерной матрицей, субмикронными сферическими частицами, состоящими из внешней изотропной оболочки постоянной толщины с известными механическими характеристиками, включения в виде изотропного элемента (дисперсной частицы наполнителя) также с известными механическими характеристиками. В данной работе также рассматривался переходный слой между включением и оболочкой, образовавшийся из-за диффузного проникновения материала оболочки в материал включения. При этом показано, что для определения эффективных модулей упругости необходимо решать локальную задачу на ячейке периодичности (ЯП) для периодических функций от «быстрых» переменных.

В данной работе предложен алгоритм вычисления эффективных компонент тензора модулей упругости ДАПКМ с помощью решения задачи на ЯП методом граничных элементов (МГЭ).

Рассмотрим представительный объем ДАПКМ (рис. 1), состоящий из следующих элементов: 1 – изотропная полимерная матрица; 2 – субмикронная сферическая частица с включением в виде изотропного элемента с заданными механическими характеристиками, покрытым внешней изотропной оболочкой постоянной толщины (рис.2). В отличие от работы [1] переходный слой между включением и оболочкой в данной работе не рассматриваем.

Представительный объем гетерогенного ДАПКМ является регулярной периодической вдоль координат x_1, x_2, x_3 структурой (рис. 1). При этом поперечные размеры ячейки l_1, l_2, l_3 (рис. 1) много меньше общих размеров представительного объема L_1, L_2, L_3 вдоль соответствующих осей координат. В соответствии с методологией работы [2] введены «быстрые» переменные ξ_1, ξ_2, ξ_3 которые определяют локальное изменение параметров напряженно – деформированного состояния (НДС) ДАПКМ при внешнем нагружении. Связь «быстрых» и «медленных» переменных будем представлять как

$$\xi_1 = \frac{x_1}{\varepsilon}, \xi_2 = \frac{x_2}{\varepsilon}, \xi_3 = \frac{x_3}{\varepsilon}, \varepsilon = \frac{l_1}{L_1}$$

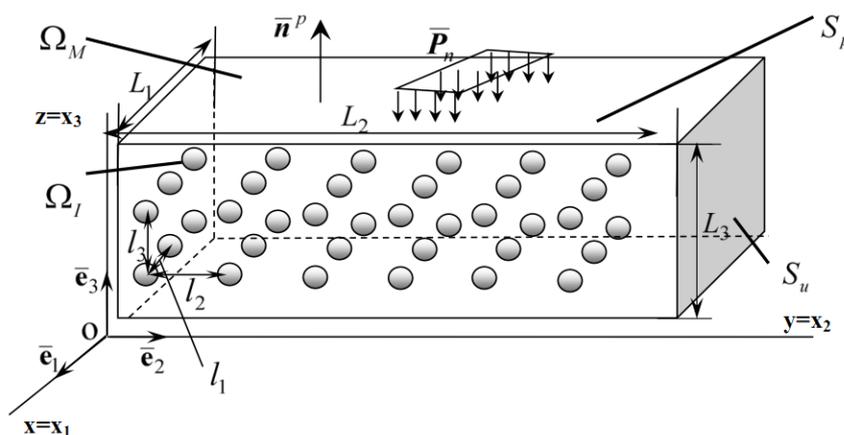


Рис. 1 – Общий вид ДАПКМ: 1 - Ω_M - объем матрицы, 2 - Ω_I - объем включения; $S_{u(p)}$ - поверхности задания кинематических (статических) граничных условий, \bar{P}_n - вектор напряжений на S_p , \bar{n}^p - вектор единичной нормали к поверхности S_p .

Задача по определению эффективных компонент тензора модулей упругости сводится к задаче на ЯП [1], разбиение на подобласти которой представлено на рисунке 2, а подобласти аналитически представляются как

$$\begin{aligned} \Omega_{\xi,1} &= \left[(\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq \tilde{a}^2 \right], \quad \tilde{a} = a/\varepsilon L_1, \\ \Omega_{\xi,2} &= \left[\tilde{a}^2 \leq (\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq (\tilde{a} + \tilde{b})^2 \right], \quad \tilde{b} = b/\varepsilon L_1, \\ \Omega_{\xi,3} &= \left[(\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq (\tilde{a} + \tilde{b})^2 \right], \\ \Omega_{\xi,4} &= \left[|\xi_1| \leq \frac{k_1}{2} \right] \times \left[|\xi_2| \leq \frac{1}{2} k_2 \right] \times \left[|\xi_3| \leq \frac{1}{2} k_3 \right], \quad k_i = \frac{l_i}{l_1}, \quad i = \overline{1,3}, \\ \Omega_{\xi,M} &= \Omega_{\xi,4} / \Omega_{\xi,3}, \quad \Omega_{\xi} = \Omega_{\xi,1} \cup \Omega_{\xi,2} \cup \Omega_{\xi,M}. \end{aligned} \quad (1)$$

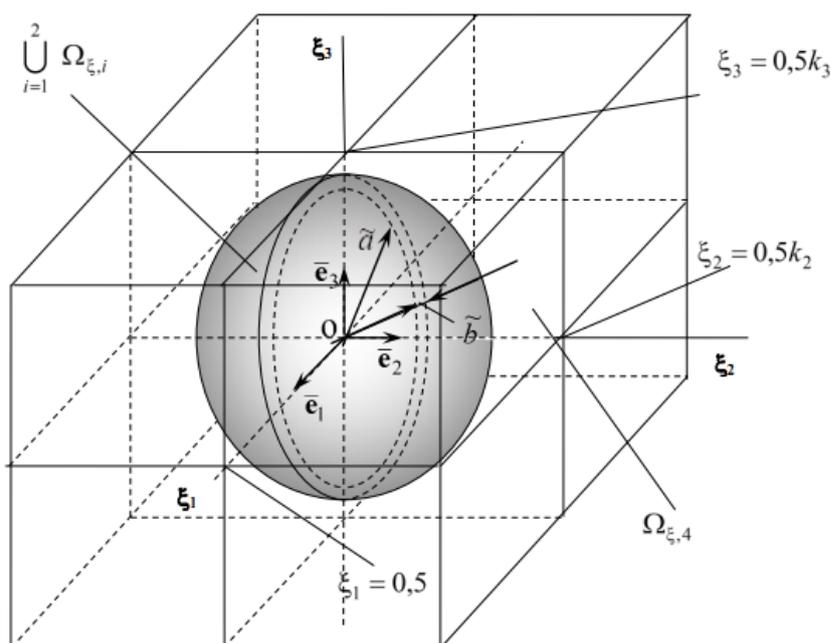


Рис. 2 – Область Ω_{ξ} , занятая ячейкой периодичности

Уравнения для периодических функций $N_{rm}^i(\bar{\xi})$ с условиями, накладываемыми на эти функции [1], после введения функций $U_{rm}^i(\bar{\xi}) = N_{rm}^i(\bar{\xi}) + \frac{1}{2}(\delta_{ir}\xi_m + \delta_{im}\xi_r)$ [3] переходят к виду (δ_{ir} - символ Кронекера):

$$\frac{\partial}{\partial \xi_q} \left(C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial U_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) = 0, \quad \bar{\xi} \in \Omega_\xi, \quad \mathbf{U}_{rm}(\bar{\xi}) = U_{rm}^i(\bar{\xi}) \mathbf{e}_i, \tag{2}$$

$$C^{qkij}(\bar{\xi}) = \lambda(\xi) \delta_{qk} \delta_{ij} + \mu(\xi) (\delta_{qi} \delta_{kj} + \delta_{qj} \delta_{ki}),$$

$$\lambda(\xi) = \begin{cases} \lambda_M, & \bar{\xi} \in \Omega_{\xi,M}, \\ \lambda_{1(2)}, & \bar{\xi} \in \Omega_{\xi,1(2)}, \end{cases} \quad \mu(\xi) = \begin{cases} \mu_M, & \bar{\xi} \in \Omega_{\xi,M}, \\ \mu_{1(2)}, & \bar{\xi} \in \Omega_{\xi,1(2)}, \end{cases} \tag{3}$$

$$\left[\left(C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial U_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) \mathbf{e}_k n_q^I \right]_{\tilde{S}_{I,1(2)}} = 0, \quad [\mathbf{U}_{rm}(\bar{\xi})]_{\tilde{S}_{I,1(2)}} = 0, \quad \bar{\xi} \in \tilde{S}_{I,1(2)}$$

$$\tilde{S}_{I,1} = [(\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) = \tilde{a}^2], \quad \tilde{S}_{I,2} = [(\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) = (\tilde{a} + \tilde{b})^2], \tag{4}$$

$$[[\mathbf{U}_{rm}]_j] = \mathbf{U}_{rm} \left(\bar{\xi} \left| \xi_j = \frac{1}{2} k_j \right. \right) - \mathbf{U}_{rm} \left(\bar{\xi} \left| \xi_j = -\frac{1}{2} k_j \right. \right) = \frac{1}{2} (k_m \mathbf{e}_r \delta_{jm} + k_r \mathbf{e}_m \delta_{jr}),$$

$$[[\boldsymbol{\Sigma}_{rm}^p]]_p = 0, \quad \boldsymbol{\Sigma}_{rm}^p(\bar{\xi}) = C^{pkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial U_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \mathbf{e}_k, \quad j = \overline{1,3}, \quad p = \overline{1,3}, \tag{5}$$

$$\langle U_{rm}^i(\bar{\xi}) \rangle_\xi = \frac{1}{\Omega_\xi} \int_{\Omega_\xi} U_{rm}^i(\bar{\xi}) d\Omega_\xi = \langle N_{rm}^i(\bar{\xi}) \rangle_\xi + \frac{1}{2} \langle (\delta_{ir}\xi_m + \delta_{im}\xi_r) \rangle_\xi = 0, \tag{6}$$

где операция $[\cdot]_{\tilde{S}_{I,1(2)}}$ - означает разность односторонних пределов вектора на границе раздела $\tilde{S}_{I,1(2)}$ (рис. 2), n_q^I - компоненты единичной внешней нормали на поверхности $\tilde{S}_{I,1(2)}$.

Для вычисления эффективных компонент тензора модулей упругости необходимо решить задачу (2) – (5) для шести векторов «псевдоперемещений» $\mathbf{U}_{11}(\bar{\xi}) = [U_{11}^1(\bar{\xi}), U_{11}^2(\bar{\xi}), U_{11}^3(\bar{\xi})]^T$, $\mathbf{U}_{22}(\bar{\xi})$, $\mathbf{U}_{33}(\bar{\xi})$, $\mathbf{U}_{12}(\bar{\xi})$, $\mathbf{U}_{13}(\bar{\xi})$, $\mathbf{U}_{23}(\bar{\xi})$. При этом эффективные компоненты тензора модулей упругости вычисляются как

$$\hat{C}^{pppp} = \left\langle C^{ppij}(\bar{\xi}) \frac{\partial U_{pp}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right\rangle_\xi, \quad \hat{C}^{ppnn} = \left\langle C^{ppij}(\bar{\xi}) \frac{\partial U_{nn}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right\rangle_\xi,$$

$$\hat{C}^{pnpn} = \left\langle C^{pnij}(\bar{\xi}) \frac{\partial U_{pn}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right\rangle_\xi, \quad p, n = \overline{1,3}.$$

Компоненты «псевдонапряжений» $\Sigma_{rm}^{qk}(\bar{\xi}) = C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial U_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j}$ в соответствии с (3)

представляются как

$$\Sigma_{rm}^{qk}(\bar{\xi}) = \lambda(\bar{\xi}) \delta_{qk} \operatorname{div}(\mathbf{U}_{rm}(\bar{\xi})) + \mu(\bar{\xi}) \left(\frac{\partial U_{rm}^q(\bar{\xi})}{\partial \xi_k} + \frac{\partial U_{rm}^k(\bar{\xi})}{\partial \xi_q} \right), \quad (7)$$

и эти напряжения удовлетворяют уравнениям равновесия (уравнениям Ламе для вектора «псевдоперемещений» $\mathbf{U}_{rm}(\bar{\xi})$) (функции $\lambda(\bar{\xi})$, $\mu(\bar{\xi})$ - кусочно – постоянные, Δ_{ξ} - оператор Лапласа)

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\Sigma_{rm}^q(\bar{\xi}))}{\partial \xi_q} = L_{\xi}(\mathbf{U}_{rm}(\bar{\xi})) &= (\lambda(\bar{\xi}) + \mu(\bar{\xi})) \operatorname{grad}_{\xi}(\operatorname{div}_{\xi}(\mathbf{U}_{rm}(\bar{\xi}))) + \\ &+ \mu(\bar{\xi}) \Delta_{\xi} \mathbf{U}_{rm}(\bar{\xi}) = 0, \quad \Sigma_{rm}^q(\bar{\xi}) = \Sigma_{rm}^{qk}(\bar{\xi}) \bar{\mathbf{e}}_k, \quad \bar{\xi} \in \Omega_{\xi}. \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнение (8) имеет фундаментальное решение – вектор Кельвина [4,5]

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_i(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) &= \frac{1}{16\pi\mu(\bar{\xi})(1-\nu(\bar{\xi}))} \frac{1}{r} \left[(3-4\nu(\bar{\xi}))\delta_{ij} + \frac{\eta_i\eta_j}{r^2} \right] \mathbf{e}_j, \\ \nu(\bar{\xi}) &= \lambda(\bar{\xi}) / (2(\lambda(\bar{\xi}) + \mu(\bar{\xi}))), \end{aligned} \quad (9)$$

при действии единичной силы $\bar{\mathbf{e}}_i$, приложенной в точке бесконечной упругой изотропной среды с радиус – вектором $\bar{\varsigma}$ и направленной вдоль оси ξ_i , $\eta_i = \xi_i - \varsigma_i$, $r^2 = \eta_i\eta_i$. Этому вектору соответствуют компоненты тензора напряжений, имеющие вид

$$T_i^{qk}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) = \lambda(\bar{\xi}) \delta_{qk} \operatorname{div}_{\xi}(\mathbf{G}_i(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})) + \mu(\bar{\xi}) \left(\frac{\partial G_i^q(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})}{\partial \xi_k} + \frac{\partial G_i^k(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})}{\partial \xi_q} \right). \quad (10)$$

Вектор Кельвина удовлетворяет уравнению

$$\begin{aligned} L_{\xi}(\mathbf{G}_i(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})) &= \frac{\partial(T_i^{qk}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})\bar{\mathbf{e}}_k)}{\partial \xi_q} = \frac{\partial(\mathbf{T}_i^q(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}))}{\partial \xi_q} = -\bar{\mathbf{e}}_i \delta(\bar{\xi} - \bar{\varsigma}), \\ \mathbf{T}_i^q(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) &= \lambda(\bar{\xi}) \bar{\mathbf{e}}_q \operatorname{div}_{\xi}(\mathbf{G}_i(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})) + \mu(\bar{\xi}) \left(\operatorname{grad}_{\xi} G_i^q(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) + \frac{\partial \mathbf{G}_i(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})}{\partial \xi_q} \right), \end{aligned} \quad (11)$$

где $\delta(\bar{\xi} - \bar{\varsigma})$ - дельта функция Дирака.

Используя вторую формулу Грина [4,5] для уравнений (8), (11) получим интегральное представление вектора «псевдоперемещений» $\mathbf{U}_{rm}(\bar{\varsigma})$ ($\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ - скалярное произведение векторов \mathbf{a} , \mathbf{b}) в областях $\Omega_{\xi,1(2,M)}$ (рис. 2)

$$\beta^{(1)}(\bar{\varsigma})(\bar{\mathbf{e}}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(1)}(\bar{\varsigma})) = \int_{\tilde{S}_{I,1}} \left[(\Sigma_{rm}^{(1)}(\bar{\xi}) \cdot \mathbf{G}_i^{(1)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})) - (\mathbf{T}_i^{(1)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(1)}(\bar{\xi})) \right] ds_{\xi}, \quad (12)$$

$$\Sigma_{rm}^{(1)}(\bar{\xi}) = \Sigma_{rm}^{(1)q}(\bar{\xi}) n_q^{(1)}, \quad \mathbf{T}_i^{(1)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) = \mathbf{T}_{i(1)}^q(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) n_q^{(1)}, \quad \beta^{(1)}(\bar{\varsigma}) = \begin{cases} 1, & \bar{\varsigma} \in \Omega_{\xi,1} \\ 1/2, & \bar{\varsigma} \in \tilde{S}_{I,1} \end{cases},$$

$$\beta^{(2)}(\bar{\varsigma})(\bar{\mathbf{e}}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(2)}(\bar{\varsigma})) = \int_{\tilde{S}_{I,1} \cup \tilde{S}_{I,2}} \left[(\Sigma_{rm}^{(2)}(\bar{\xi}) \cdot \mathbf{G}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})) - (\mathbf{T}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(2)}(\bar{\xi})) \right] ds_{\xi} \quad (13)$$

$$\Sigma_{rm}^{(2)}(\bar{\xi}) = \Sigma_{rm}^{(2)q}(\bar{\xi})n_q^{(2)}, \quad T_i^{(2)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) = T_{i(2)}^q(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})n_q^{(2)}, \quad \beta^{(2)}(\bar{\varsigma}) = \begin{cases} 1, & \bar{\varsigma} \in \Omega_{\xi,2} \\ 1/2, & \bar{\varsigma} \in \tilde{S}_{I,1} \cup \tilde{S}_{I,2} \end{cases},$$

$$n_q^{(2)}|_{\tilde{S}_{I,1}} = -n_q^{(1)}|_{\tilde{S}_{I,1}}, \quad n_q^{(2)}|_{\tilde{S}_{I,2}} = -n_q^{(M)}|_{\tilde{S}_{I,2}},$$

$$\beta^{(M)}(\bar{\varsigma})(\bar{e}_i \cdot U_{rm}^{(M)}(\bar{\varsigma})) = \int_{\tilde{S}_M} [(\Sigma_{rm}^{(M)}(\bar{\xi}) \cdot G_i^{(M)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})) - (T_i^{(M)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) \cdot U_{rm}^{(M)}(\bar{\xi}))] ds_{\xi}, \quad (14)$$

$$\Sigma_{rm}^{(M)}(\bar{\xi}) = \Sigma_{rm}^{(M)q}(\bar{\xi})n_q^{(M)}, \quad T_i^{(M)}(\bar{\xi}, \bar{\varsigma}) = T_{i(M)}^q(\bar{\xi}, \bar{\varsigma})n_q^{(M)}, \quad \beta^{(M)}(\bar{\varsigma}) = \begin{cases} 1, & \bar{\varsigma} \in \Omega_{\xi,M} \\ 1/2, & \bar{\varsigma} \in \tilde{S}_M \end{cases},$$

$$\tilde{S}_M = \tilde{S}_{I,2} \cup \tilde{S}_{M1} \cup \tilde{S}_{M2} \cup \tilde{S}_{M3}, \quad \tilde{S}_{Mi} = [|\xi_i| = \frac{k_i}{2}], \quad i = 1, 2, 3.$$

В формулах (12) – (14) векторы с индексами 1, 2, M определяются с помощью параметров лаге соответственно включения, оболочки и матрицы и формул (7) – (10); $n_q^{(1)}$, $n_q^{(2)}$, $n_q^{(M)}$ - внешние единичные нормали соответственно на поверхностях $\tilde{S}_{I,1}$, $\tilde{S}_{I,2}$, \tilde{S}_M областей $\Omega_{\xi,1}$, $\Omega_{\xi,2}$, $\Omega_{\xi,M}$. При устремлении вектора $\bar{\varsigma}$ к поверхностям $\tilde{S}_{I,1}$, $\tilde{S}_{I,2}$, \tilde{S}_M (12) – (14) преобразуются в граничные интегральные уравнения, которые решаются с помощью МГЭ [4]. Для получения дискретных аналогов интегральных уравнений (12) – (14) ($\bar{\varsigma} \in \tilde{S}_{I,1}, \tilde{S}_{I,2}, \tilde{S}_{I,M}$) согласно МГЭ разобьем поверхность $\tilde{S}_{I,1}$, $\tilde{S}_{I,2}$, \tilde{S}_M на ГЭ и применим метод коллокаций [5], состоящий в удовлетворении этих уравнений в совокупности узлов ГЭ. С этой целью разобьем эти поверхности соответственно на $M_{\xi,1}$, $M_{\xi,2}$, $M_{\xi,M}$ изопараметрических треугольных (шестиузловых) и/или прямоугольных (восьмиузловых) граничных элементов (ГЭ)(рис. 3) с квадратичной интерполяцией векторов перемещений, напряжений внутри ГЭ [4]

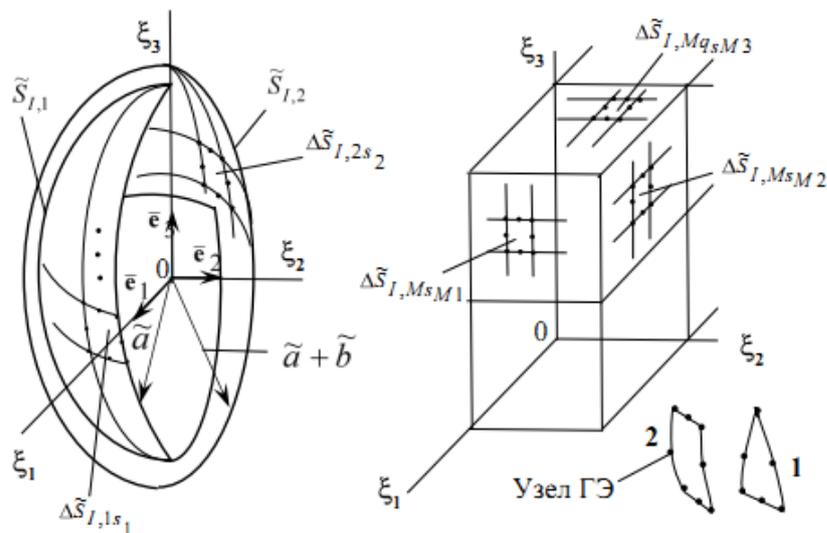


Рис. 3 – Разбиение $\tilde{S}_{I,1}$, $\tilde{S}_{I,2}$, \tilde{S}_M на граничные элементы: 1,2 – треугольный (шестиузловой), четырехугольный (восьмиузловой) ГЭ.

$$\mathbf{U}_{rm}^{(\cdot)}(\bar{\xi}) = \sum_{l=1}^{NB_q} \mathbf{U}_{rm,l}^{(\cdot)} N^l, \quad \boldsymbol{\Sigma}_{rm}^{(\cdot)}(\bar{\xi}) = \sum_{l=1}^{NB_q} \boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(\cdot)} N^l, \quad (15)$$

где N^l - известные базисные функции [4], NB_q - количество узлов ГЭ с номером q , $\mathbf{P}_{rm,l}^{(\cdot)}$ - значения векторной переменной $\mathbf{P}_{rm}^{(\cdot)}$ в узлах (точках коллокации) ГЭ.

С учетом (15) аппроксимационные формы представлений (12) – (14), (4) – (6) примут вид

$$\beta^{(1)}(\bar{\xi}_{q_1}) (\bar{\mathbf{e}}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(12)}(\bar{\xi}_{q_1})) = \sum_{s_1=1}^{M_{\xi,1}} \sum_{l=1}^{NB_{s_1}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(12)s_1} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,1s_1}} N^l \mathbf{G}_i^{(1)}(\bar{\xi}, \bar{\xi}_{q_1}) ds_{\xi} \right) - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(12)s_1} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,1s_1}} \mathbf{T}_i^{(1)}(\bar{\xi}, \bar{\xi}_{q_1}) N^l ds_{\xi} \right) \right], \quad \bar{\xi}_{q_1} \in \tilde{S}_{I,1}, \quad q_1 = \overline{1, M_{\tilde{S}_{I,1}}}, \quad (16)$$

$$\beta^{(2)}(\tilde{\xi}_{q_2}) (\bar{\mathbf{e}}_i \cdot \tilde{\mathbf{U}}_{rm}^{(2)}(\tilde{\xi}_{q_2})) = \sum_{s_1=1}^{M_{\xi,1}} \sum_{l=1}^{NB_{s_1}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(21)s_1} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,1s_1}} N^l \mathbf{G}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \tilde{\xi}_{q_2}) ds_{\xi} \right) - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(21)s_1} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,1s_1}} \mathbf{T}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \tilde{\xi}_{q_2}) N^l ds_{\xi} \right) \right] + \sum_{s_2=1}^{M_{\xi,2}} \sum_{l=1}^{NB_{s_2}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(2M)s_2} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,2s_2}} N^l \mathbf{G}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \tilde{\xi}_{q_2}) ds_{\xi} \right) - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(2M)s_2} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,2s_2}} \mathbf{T}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \tilde{\xi}_{q_2}) N^l ds_{\xi} \right) \right], \quad \tilde{\xi}_{q_2} = \begin{cases} \bar{\xi}_{q_1}, \tilde{\xi}_{q_2} \in \tilde{S}_{I,1} \\ \bar{\xi}_{q_2}, \tilde{\xi}_{q_2} \in \tilde{S}_{I,2} \end{cases} \quad (17)$$

$$\tilde{\mathbf{U}}_{rm}^{(2)}(\tilde{\xi}_{q_2}) = \begin{cases} \mathbf{U}_{rm,l}^{(21)q_2}, \tilde{\xi}_{q_2} \in \tilde{S}_{I,1} \\ \mathbf{U}_{rm,l}^{(2M)q_2}, \tilde{\xi}_{q_2} \in \tilde{S}_{I,2} \end{cases}, \quad q_2 = \overline{1, M_{\tilde{S}_{I,1}} + M_{\tilde{S}_{I,2}}},$$

$$\beta^{(M)}(\tilde{\xi}_{q_M}) (\bar{\mathbf{e}}_i \cdot \tilde{\mathbf{U}}_{rm}^{(M)}(\tilde{\xi}_{q_M})) = \sum_{s_2=1}^{M_{\xi,2}} \sum_{l=1}^{NB_{s_2}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(M2)s_2} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,2s_2}} N^l \mathbf{G}_i^{(M)}(\bar{\xi}, \tilde{\xi}_{q_M}) ds_{\xi} \right) - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(M2)s_2} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,2s_2}} \mathbf{T}_i^{(M)}(\bar{\xi}, \tilde{\xi}_{q_M}) N^l ds_{\xi} \right) \right] + \quad (18)$$

$$+ \sum_{j=1}^3 \sum_{s_{Mj}=1}^{M_{\xi,Mj}} \sum_{l=1}^{NB_{s_{Mj}}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(Mj)s_{Mj}} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,Ms_{Mj}}} N^l \mathbf{G}_i^{(M)}(\bar{\xi}, \tilde{\xi}_{q_M}) ds_{\xi} \right) - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(Mj)s_{Mj}} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,Ms_{Mj}}} \mathbf{T}_i^{(M)}(\bar{\xi}, \tilde{\xi}_{q_M}) N^l ds_{\xi} \right) \right], \quad \tilde{\xi}_{q_M} = \begin{cases} \bar{\xi}_{q_2}, \tilde{\xi}_{q_M} \in \tilde{S}_{I,2} \\ \bar{\xi}_{q_{Mj}}, \tilde{\xi}_{q_{Mj}} \in \tilde{S}_{I,Mj} \end{cases}$$

$$\tilde{\mathbf{U}}_{rm}^{(M)}(\tilde{\xi}_{q_M}) = \begin{cases} \mathbf{U}_{rm,l}^{(M2)q_M}, \tilde{\xi}_{q_M} \in \tilde{S}_{I,2} \\ \mathbf{U}_{rm,l}^{(Mj)q_M}, \tilde{\xi}_{q_M} \in \tilde{S}_{I,Mj} \end{cases}, \quad q_M = 1, \left(M_{\tilde{S}_{I,2}} + \sum_{i=1}^3 M_{\tilde{S}_{Mi}} \right),$$

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{U}_{rm}^{(12)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_1}) - \mathbf{U}_{rm}^{(21)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_1}) = 0, \quad q_1 = \overline{1, M_{\tilde{s}_{I,1}}}, \\
 & \mathbf{U}_{rm}^{(2M)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_2}) - \mathbf{U}_{rm}^{(M2)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_2}) = 0, \quad q_2 = \overline{M_{\tilde{s}_{I,1}} + 1, M_{\tilde{s}_{I,1}} + M_{\tilde{s}_{I,2}}},
 \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
 & \boldsymbol{\Sigma}_{rm}^{(12)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_1}) - \boldsymbol{\Sigma}_{rm}^{(21)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_1}) = 0, \quad q_1 = \overline{1, M_{\tilde{s}_{I,1}}}, \\
 & \boldsymbol{\Sigma}_{rm}^{(2M)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_2}) - \boldsymbol{\Sigma}_{rm}^{(M2)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_2}) = 0, \quad q_2 = \overline{M_{\tilde{s}_{I,1}} + 1, M_{\tilde{s}_{I,1}} + M_{\tilde{s}_{I,2}}},
 \end{aligned} \tag{20}$$

$$\mathbf{U}_{rm}^{(Mt)} \left(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_{Mt}} \middle| \zeta_t = \frac{1}{2} k_t \right) - \mathbf{U}_{rm}^{(Mt)} \left(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_{Mt}} \middle| \zeta_t = -\frac{1}{2} k_t \right) = \frac{1}{2} (k_m \mathbf{e}_r \delta_{tm} + k_r \mathbf{e}_m \delta_{tr}), \quad t = \overline{1, 3},$$

$$q_{Mt} = \overline{M_{\tilde{s}_{I,1}} + M_{\tilde{s}_{I,2}} + 1, M_{\tilde{s}_{I,1}} + M_{\tilde{s}_{I,2}} + \sum_{j=1}^t M_{\tilde{s}_{Mj}}}, \tag{21}$$

$$\boldsymbol{\Sigma}_{rm}^{p(Mt)} \left(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_{Mp}} \middle| \zeta_p = \frac{1}{2} k_p \right) - \boldsymbol{\Sigma}_{rm}^{p(Mt)} \left(\bar{\boldsymbol{\zeta}}_{q_{Mp}} \middle| \zeta_p = -\frac{1}{2} k_p \right) = 0, \quad p = \overline{1, 3},$$

$$q_{Mp} = \overline{M_{\tilde{s}_{I,1}} + M_{\tilde{s}_{I,2}} + 1, M_{\tilde{s}_{I,1}} + M_{\tilde{s}_{I,2}} + \sum_{j=1}^p M_{\tilde{s}_{Mj}}}, \tag{22}$$

$$\langle \langle \mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}) \rangle \rangle_{\zeta} = \frac{1}{\Omega_{\zeta}} \left(\sum_{p=1}^2 \int_{\Omega_{\zeta,p}} (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(p)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}})) d\Omega_{\zeta} + \int_{\Omega_{\zeta,M}} (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(M)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}})) d\Omega_{\zeta} \right) = 0 \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{\Omega_{\zeta}} \int_{\Omega_{\zeta,1}} (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(1)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}})) d\Omega_{\zeta} = \alpha_1 \langle \langle \mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(1)}(\bar{\boldsymbol{\zeta}}) \rangle \rangle_{\zeta,1} = \\
 & = \alpha_1 \sum_{s1=1}^{M_{\xi,1}} \sum_{l=1}^{NB_{s1}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(12)s1} \cdot \int_{\Delta \tilde{s}_{I,1s1}} N^l \langle \mathbf{G}_i^{(1)}(\bar{\boldsymbol{\xi}}, \bar{\boldsymbol{\zeta}}) \rangle_{\zeta,1} ds_{\xi} \right) - \right. \\
 & \left. - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(12)s1} \cdot \int_{\Delta \tilde{s}_{I,1s1}} \langle \mathbf{T}_i^{(1)}(\bar{\boldsymbol{\xi}}, \bar{\boldsymbol{\zeta}}) \rangle_{\zeta,1} N^l ds_{\xi} \right) \right], \quad \alpha_1 = \frac{\Omega_{\zeta,1}}{\Omega_{\zeta}},
 \end{aligned} \tag{24}$$

$$\bar{\boldsymbol{\zeta}} \in \Omega_{\zeta,1}, \quad \langle \cdot \rangle_{\zeta,1} = \frac{1}{\Omega_{\zeta,1}} \int_{\Omega_{\zeta,1}} (\cdot) d\Omega_{\zeta},$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{\Omega_{\zeta}} \int_{\Omega_{\zeta,2}} (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(2)}(\bar{\zeta})) d\Omega_{\zeta} = \alpha_2 \langle (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(2)}(\bar{\zeta})) \rangle_{\zeta,2} = \\
& = \alpha_2 \sum_{s1=1}^{M_{\xi,1}} \sum_{l=1}^{NB_{s1}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(21)s1} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,1s1}} N^l \langle \mathbf{G}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \bar{\zeta}) \rangle_{\zeta,2} ds_{\xi} \right) - \right. \\
& \left. - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(21)s1} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,1s1}} \langle \mathbf{T}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \bar{\zeta}) \rangle_{\zeta,2} N^l ds_{\xi} \right) \right] + \\
& + \alpha_2 \sum_{s2=1}^{M_{\xi,2}} \sum_{l=1}^{NB_{s2}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(2M)s2} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,2s2}} N^l \langle \mathbf{G}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \bar{\zeta}) \rangle_{\zeta,2} ds_{\xi} \right) - \right. \\
& \left. - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(2M)s2} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,2s2}} \langle \mathbf{T}_i^{(2)}(\bar{\xi}, \bar{\zeta}) \rangle_{\zeta,2} N^l ds_{\xi} \right) \right], \quad \alpha_2 = \frac{\Omega_{\zeta,2}}{\Omega_{\zeta}},
\end{aligned} \tag{25}$$

$$\bar{\zeta} \in \Omega_{\zeta,2}, \quad \langle \cdot \rangle_{\zeta,2} = \frac{1}{\Omega_{\zeta,2}} \int_{\Omega_{\zeta,2}} (\cdot) d\Omega_{\zeta},$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{\Omega_{\zeta}} \int_{\Omega_{\zeta,M}} (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(M)}(\bar{\zeta})) d\Omega_{\zeta} = \alpha_M \langle (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{U}_{rm}^{(M)}(\bar{\zeta})) \rangle_{\zeta,M} = \\
& = \alpha_M \sum_{s2=1}^{M_{\xi,2}} \sum_{l=1}^{NB_{s2}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(M2)s2} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,2s2}} N^l \langle \mathbf{G}_i^{(M)}(\bar{\xi}, \bar{\zeta}) \rangle_{\zeta,M} ds_{\xi} \right) - \right. \\
& \left. - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(M2)s2} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,2s2}} \langle \mathbf{T}_i^{(M)}(\bar{\xi}, \bar{\zeta}) \rangle_{\zeta,M} N^l ds_{\xi} \right) \right] + \\
& + \alpha_M \sum_{j=1}^3 \sum_{sMj=1}^{M_{\xi,Mj}} \sum_{l=1}^{NB_{sMj}} \left[\left(\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(Mj)sMj} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,MsMj}} N^l \langle \mathbf{G}_i^{(M)}(\bar{\xi}, \bar{\zeta}) \rangle_{\zeta,M} ds_{\xi} \right) - \right. \\
& \left. - \left(\mathbf{U}_{rm,l}^{(Mj)sMj} \cdot \int_{\Delta \tilde{S}_{I,MsMj}} \langle \mathbf{T}_i^{(M)}(\bar{\xi}, \bar{\zeta}) \rangle_{\zeta,M} N^l ds_{\xi} \right) \right], \quad \alpha_M = \frac{\Omega_{\zeta,M}}{\Omega_{\zeta}},
\end{aligned} \tag{26}$$

$$\bar{\zeta} \in \Omega_{\zeta,M}, \quad \langle \cdot \rangle_{\zeta,M} = \frac{1}{\Omega_{\zeta,M}} \int_{\Omega_{\zeta,M}} (\cdot) d\Omega_{\zeta}.$$

В формах (16) – (26) приняты обозначения: $\mathbf{U}_{rm,l}^{(12)s1}$ ($\mathbf{U}_{rm,l}^{(21)s1}$), $\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(12)s1}$ ($\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(21)s1}$) - векторы узловых «псевдоперемещений», «псевдонапряжений» на $\tilde{S}_{I,1}$ области $\Omega_{\xi,1}$ ($\Omega_{\xi,2}$); $\mathbf{U}_{rm,l}^{(2M)s2}$ ($\mathbf{U}_{rm,l}^{(M2)s2}$), $\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(2M)s2}$ ($\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(M2)s2}$) - векторы узловых «псевдоперемещений», «псевдонапряжений» на $\tilde{S}_{I,2}$ области $\Omega_{\xi,2}$ ($\Omega_{\xi,M}$); $\mathbf{U}_{rm,l}^{(Mj)sMj}$, $\boldsymbol{\Sigma}_{rm,l}^{(Mj)sMj}$ - векторы узловых

«псевдоперемещений», «псевдонапряжений» на $\tilde{S}_{I,Mj}$, ($j = 1,2,3$) области $\Omega_{\xi,M}$; $\Delta\tilde{S}_{I,1s_1}$, $\Delta\tilde{S}_{I,2s_2}$, $\Delta\tilde{S}_{I,MsM1}$, $\Delta\tilde{S}_{I,MsM2}$, $\Delta\tilde{S}_{I,MsM3}$ - соответственно поверхности ГЭ на $\tilde{S}_{I,1}$, $\tilde{S}_{I,2}$, $\tilde{S}_{I,Mj}$, ($j = 1,2,3$) (рис. 3); $M_{\xi,Mj}$ ($j = 1,2,3$) - количество ГЭ на поверхностях $\tilde{S}_{I,Mj}$, ($j = 1,2,3$); $M_{\tilde{S}_{I,1}}$, $M_{\tilde{S}_{I,2}}$, $M_{\tilde{S}_{I,Mi}}$ ($i = 1,2,3$) - общее количество узлов соответственно на поверхностях $\tilde{S}_{I,1}$, $\tilde{S}_{I,2}$, $\tilde{S}_{I,Mi}$, ($i = 1,2,3$).

После решения системы уравнений (16) – (26) компоненты эффективных модулей упругости вычисляются как:

$$\hat{C}^{qkrm} = \left\langle C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial U_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right\rangle_{\xi} = \left\langle \Sigma^{qkrm}(\bar{\xi}) \right\rangle_{\xi} = \frac{1}{\Omega_{\xi}} \left(\sum_{p=1}^2 \int_{\Omega_{\xi,p}} \Sigma^{(p)qkrm}(\bar{\xi}) d\Omega_{\xi} + \int_{\Omega_{\xi,M}} \Sigma^{(M)qkrm}(\bar{\xi}) d\Omega_{\xi} \right),$$

$$\Sigma^{(p,M)qkrm}(\bar{\xi}) = \lambda(\bar{\xi}) \delta_{qk} \operatorname{div}(\mathbf{U}_{rm}^{(p,M)}(\bar{\xi})) + \mu(\bar{\xi}) \left(\frac{\partial U_{rm}^{(p,M)q}}{\partial \xi_k} + \frac{\partial U_{rm}^{(p,M)k}}{\partial \xi_q} \right),$$

где компоненты тензора «псевдонапряжений» $\Sigma^{(p,M)qkrm}(\bar{\xi})$ в областях $\Omega_{\xi,1}$, $\Omega_{\xi,2}$, $\Omega_{\xi,M}$ вычисляются с помощью «псевдоперемещений», полученных на основании представлений (16) – (18).

Таким образом, предложен алгоритм вычисления эффективных компонент тензора модулей упругости ДАПКМ на основе решения задачи на ЯП с использованием МГЭ. Алгоритм состоит из: 1.) интегрального представления векторов «псевдоперемещений» и «псевдонапряжений, связанных с периодическими функциями от «быстрых» переменных в подобластях ЯП; 2.) решения интегральных уравнений по определению этих векторов на границах раздела подобластей и внешних границах ЯП с помощью МГЭ; 3.) вычисления эффективных компонент тензора модулей упругости ДАПКМ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России
в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер 075-03-2020-051/3
от 09.06.2020 (номер темы fzsu-2020-0021).*

Список литературы

1. Сидоров И.Н., Энская А.И. Алгоритм гомогенизации упругих свойств дисперсно армированных полимерных композиционных материалов // Научно – технический вестник Поволжья. 2020. № 9. С. 60 – 66.
2. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. М.: Наука, 1984. 352 с.
3. Димитриенко Ю.И., Соколов А. П.. Метод конечных элементов для решения локальных задач механики композиционных материалов: учеб. пособие / Ю. И. Димитриенко, А. П. Соколов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 68 с.
4. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Метод граничных элементов в прикладных науках: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. 494 с.
5. Угодчиков А.Г., Хуторянский Н.М. Метод граничных элементов в механике деформируемого твердого тела. Казань: Изд-во Казан. ун – та. 1986. 296 с.

05.13.18

И.В. Федотова

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н. П. Огарева,
институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и электротехники,
Саранск, iv_fedotova_98@bk.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ КООРДИНАТ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Наблюдатель состояния – это модель, подключенная параллельно к объекту управления и получающая непрерывную информацию об изменениях регулирующего воздействия и регулирующей величины. В основе MRAS наблюдателей (наблюдателей с эталонной моделью) лежат модели электромагнитных процессов асинхронного двигателя. В статье рассматриваются различные методы применения MRAS наблюдателей в таких двигателях как – синхронный двигатель с постоянными магнитами и асинхронный двигатель.

Ключевые слова: *адаптивный наблюдатель, наблюдатель MRAS, наблюдатели с эталонной моделью, наблюдатель состояния, синхронный двигатель с постоянными магнитами, асинхронный двигатель.*

Преимущество привязки адаптивной системы к модели (MRAS) заключается в его простоте и отличных динамических характеристиках. MRAS используется для точного определения скорости и положения для привода PMSM (синхронный двигатель с постоянными магнитами) [1].

Адаптивная система эталонной модели (MRAS) предназначена для оценки скорости и положения ротора. Система используется для уменьшения колебания скорости и крутящего момента синхронного двигателя с постоянными магнитами (PMSM) при резких изменениях нагрузки. Адаптивный подход к эталонной модели использует две независимые модели машин различной конструкции для оценки одной и той же переменной состояния (противо-ЭДС, поток ротора, реактивная мощность, ток и т. д.) на основе различных наборов входных переменных. Принципиальная блок-схема MRAS с входными и выходными сигналами показана на рисунке 1, где v_s, i_s – напряжение и ток статора, i_d, i_q – токи на оси d-q, подаваемые с эталонной модели, ε – фактическая и расчетная ошибка, ω_r^{est} – расчетная скорость ротора, \hat{i}_d, \hat{i}_q – токи на оси d-q, подаваемые с регулируемой модели.

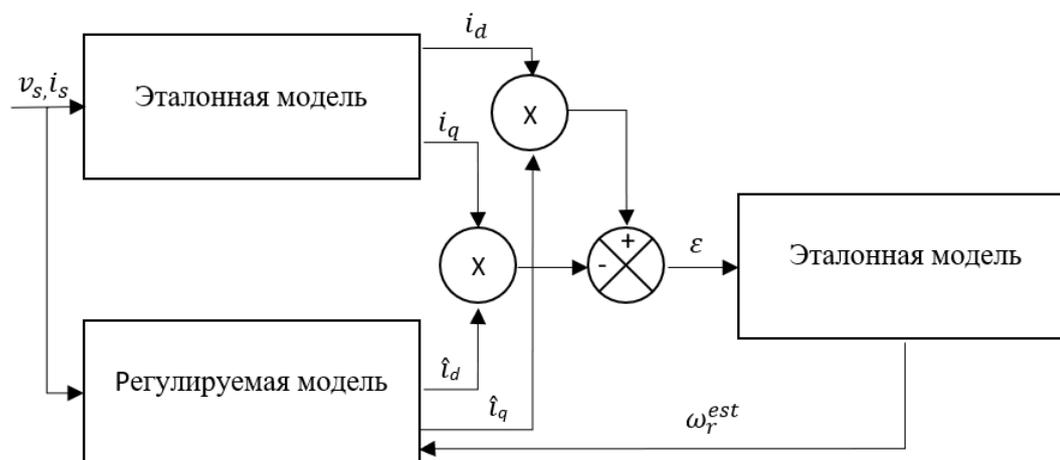


Рис.1 – Принципиальная блок-схема MRAS

В этом алгоритме управления MRAS эталонной моделью является сам PMSM, а регулируемой моделью - уравнения тока статора PMSM во вращающейся системе отсчета. Механизм адаптации представляет собой ПИ - регулятор. Таким образом, уравнения настраиваемой модели представлены в виде:

$$p \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} & \omega_r \frac{L_q}{L_d} \\ -\omega_r \frac{L_d}{L_q} & -\frac{R_s}{L_q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_d}{L_d} \\ \frac{V_q}{L_q} - \omega_r \frac{\lambda_f}{L_q} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Поскольку $\lambda_f = Li$, уравнение можно представить в виде:

$$p \begin{bmatrix} i_d + \frac{\lambda_f}{L_d} \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} & \omega_r \frac{L_q}{L_d} \\ -\omega_r \frac{L_d}{L_q} & -\frac{R_s}{L_q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d + \frac{\lambda_f}{L_d} \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_d}{L_d} + \lambda_f \frac{R_s}{L^2 d} \\ \frac{V_q}{L_q} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Определим $i^*_d, i^*_q, V^*_d, V^*_q$:

$$\begin{aligned} i^*_d &= i_d + \frac{\lambda_f}{L_d}, i^*_q = i_q, \\ V^*_d &= V_d + \lambda_f \frac{R_s}{L_d}, V^*_q = V_q, \end{aligned} \quad (3)$$

отсюда, подставляя (3) в (2), получаем:

$$p \begin{bmatrix} i^*_d \\ i^*_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} & \omega_r \frac{L_q}{L_d} \\ -\omega_r \frac{L_d}{L_q} & -\frac{R_s}{L_q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i^*_d \\ i^*_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V^*_d}{L_d} \\ \frac{V^*_q}{L_q} - \omega_r \frac{\lambda_f}{L_q} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Из (4) уравнения состояния настраиваемой модели PMSM:

$$\begin{aligned} p \begin{bmatrix} \hat{i}^*_d \\ \hat{i}^*_q \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} & \omega_r \frac{L_q}{L_d} \\ -\omega_r \frac{L_d}{L_q} & -\frac{R_s}{L_q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}^*_d \\ \hat{i}^*_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V^*_d}{L_d} \\ \frac{V^*_q}{L_q} - \omega_r \frac{\lambda_f}{L_q} \end{bmatrix}, \\ \hat{i}^*_d &= \hat{i}_d + \frac{\lambda_f}{L_d}, \hat{i}^*_q = \hat{i}_q. \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнение (5) является уравнением моделирования для эталонной адаптивной системы. В этом случае выходы эталонной модели и настраиваемой модели представляют собой две оценки токов статора. Сигнал скорости приводит в действие частоту вращения ротора, что сводит ошибку к нулю. Следовательно, расчетная скорость определяется как:

$$w_r^{est} = k_p \varepsilon + k_i \int \varepsilon dt. \quad (6)$$

Во вращающейся системе отсчета d – q, вход в адаптивный механизм, который является ПИ-регулятором, задается следующим образом:

$$\varepsilon = i_d \hat{i}_q - i_q \hat{i}_d. \quad (7)$$

Полное уравнение для расчетной скорости ротора w_r^{est} определяется уравнением (8). Он также известен как закон управления:

$$w_r^{est} = \int_0^t k_i (i_d \hat{i}_q - i_q \hat{i}_d - \frac{\lambda_f}{L_d} (i_q - \hat{i}_q)) dt + k_p (i_d \hat{i}_q - i_q \hat{i}_d - \frac{\lambda_f}{L_d} (i_q - \hat{i}_q)) + w_r^{est} \quad (8)$$

Для улучшения статических и динамических характеристик в системе приводов двигателей обычно используется векторное управление, ориентированное на поле, или прямое управление крутящим моментом. При векторном управлении использование датчиков скорости увеличило бы стоимость системы, снизило бы надежность и сузило бы область применения. В настоящее время идентификация скорости на основе MRAS является наиболее используемым алгоритмом оценки скорости без датчиков, поэтому предлагается улучшенный метод оценки взаимной скорости, основанный на MRAS с обратной ЭДС (BEMF-MRAS) [2], [3].

Модель напряжения / тока асинхронного двигателя на основе против-ЭДС показана на рисунке 2, где v_s, i_s – напряжение и ток статора, R_s – сопротивление статора, ω_r – скорость вращения ротора:

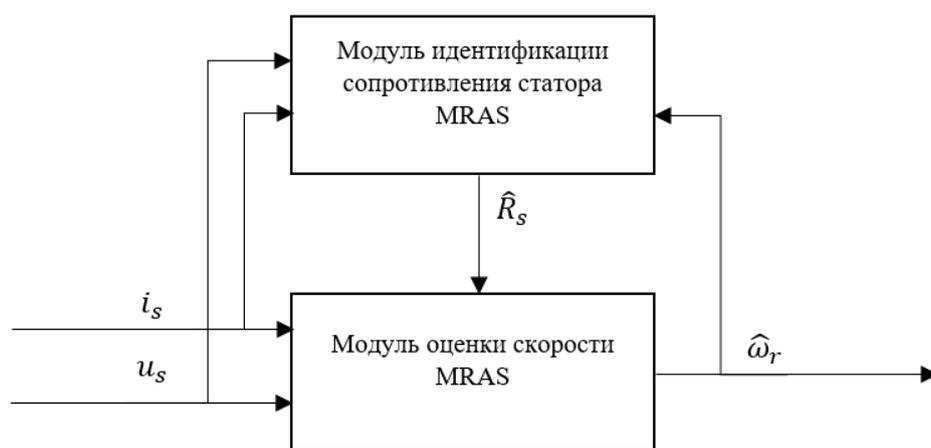


Рис. 2 – Блок-схема оценки сопротивления статора и скорости

Уравнение напряжения:

$$\begin{bmatrix} e_{r\alpha} \\ e_{r\beta} \end{bmatrix} = \frac{L_r}{L_m} \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \end{bmatrix} - \frac{L_r}{L_m} \begin{bmatrix} R_s + \sigma L_{ss} p & 0 \\ 0 & R_s + \sigma L_{ss} p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Уравнение тока:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_{r\alpha} \\ \dot{e}_{r\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & -\omega_r \\ 0 & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{r\alpha} \\ e_{r\beta} \end{bmatrix} + \frac{L_m p}{T_r} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

В уравнениях (9) и (10), $e_{r\alpha} = \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt}$, $e_{r\beta} = \frac{d\psi_{r\beta}}{dt}$ – являются обратными ЭДС в статической системе координат. Уравнение (9) называется уравнением напряжения, а уравнение (10) – уравнением тока. Уравнение напряжения, основанное на обратной ЭДС, содержит сопротивление статора R_s , но не содержит скорости вращения ротора ω_r , тогда как уравнение (10), основанное на обратной ЭДС, содержит скорость вращения ротора ω_r , но не содержит сопротивления статора R_s .

Разница между выходными данными моделей создает отклонение для ПИ-регулятора. Чем меньше отклонение, тем ближе расчетная скорость к реальной. Отклонение регулятора можно вычислить, используя уравнение (11), где k_p – пропорциональное усиление ПИ-регулятора, k_i – интегральное усиление ПИ-регулятора:

$$\hat{\omega}_r(t) = k_p + \varepsilon(t) + k_i \int \varepsilon dt. \quad (11)$$

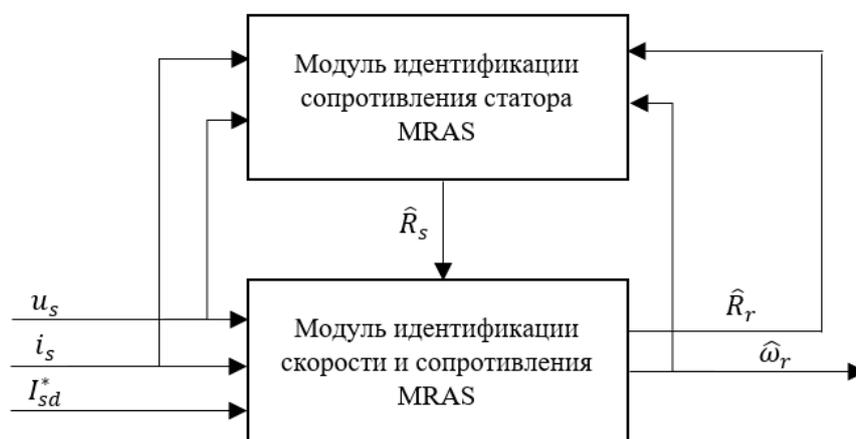


Рис. 3 – Блок-схема системы определения скорости

На рисунке 3 показана структурная схема системы идентификации скорости MRAS. Она разделена на два подмодуля. Один из них – определение скорости MRAS и сопротивления ротора. Подмодуль имеет четыре входа, которые являются напряжением статора u_s , током статора i_s , сигналом тока возбуждения низкой частоты i_{sd}^* и сопротивлением статора R_s . Другой подмодуль – осуществляет определение сопротивления статора MRAS. Он также

имеет четыре входа, которые являются напряжением статора u_s , током статора i_s , сопротивлением R_r ротора и частотой вращения ω_r ротора, определяемыми идентификацией скорости и сопротивления ротора MRAS.

Идентификация скорости и сопротивления ротора MRAS позволяет правильно определить скорость ω_r и сопротивление ротора R_r , если наложить низкочастотный сигнал на заданный ток возбуждения i_{sd} . Модуль идентификации сопротивления статора MRAS использует значения ω_r и R_r в качестве входных данных для оценки сопротивления R_s статора. R_s также участвует в идентификации ω_r и R_r . Эта взаимная идентификация может повысить точность оценки скорости ω_r .

В данной статье были рассмотрены общие математические основы применения адаптивных наблюдателей (MRAS).

Список литературы

1. A simplified sensorless speed control of permanent magnet synchronous motor using model reference adaptive system. Everestus Ojionuka, Ifeanyi Chinaeke-Ogbuka, Cosmas Ogbuka, Cajethan Nwosu. Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL.70 (2019), NO6, 473-479.
2. Improved Mutual MRAS Speed Identification Based on Back-EMF. Hong Zheng, Jiancheng Zhao and Liangzhong Liu. J Electr Eng Technol.2016; 11(3): 769-774.
3. Application of MRAS algorithm to replace the speed sensor in induction motor drive system. Pavel Karlovský, Jiří Lettl. Procedia Engineering 192 (2017) 421 – 426.

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

05.13.19

А.А. Шашков, В.А. Атрощенко

АО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» -
«НИИ – космического приборостроения»,
Москва, smich-kt@mail.ru,
Кубанский государственный технологический университет,
кафедра информатики и вычислительной техники,
Краснодар, atos.v@yandex.ru

**ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ
МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ
В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

В работе рассмотрены устойчивость канального и абонентского кодирования конфиденциальной информации при деструктивных воздействиях в каналах связи со стороны злоумышленников.

Ключевые слова: канальное кодирование, абонентское кодирование, псевдослучайная последовательность.

В условиях разворачивающихся в мире гибридных войн важное значение приобретают вопросы защиты конфиденциальной информации, циркулирующей в сфере управления государственными и коммерческими структурами критически важных объектов страны [1]. Традиционно защита конфиденциальной информации осуществляется канальными или абонентскими методами кодирования.

В условиях деструктивных воздействий, за счет снижения качества каналов связи, следует ожидать потери устойчивости традиционных методов канального и абонентского кодирования информации.

Известно [2], что при канальном кодировании информации качество стандартного канала по вероятности ошибки на символ должно быть не хуже $P \leq 10^{-6}$. Такие высокие требования к качеству канала обусловлены тем, что в закодированном тексте отсутствует внутренняя избыточность и для повышения достоверности закодированной информации необходимо повышать качества канала связи, а также обеспечить синхронную работу датчиков кодирующей псевдослучайной последовательности (ПСП) на передающей и приемной сторонах связи.

Аналогичные требования к качеству канала связи предъявляются и при абонентском кодировании информации [2]. Хотя абонентское кодирование информации непосредственно не связано с каналом связи, но качество канала влияет на достоверность передаваемых по ним закодированного текста.

При абонентском кодировании качество канала определяет количество местных или общих искажений в закодированном тексте. Под местными искажениями понимается искажение отдельных букв в раскодированном тексте, которые легко исправляются оператором по смыслу раскодированных слов. То есть местные искажения не влияют на процесс раскодирования, так как не нарушают на приемной стороне синхронность следования знаков кодирующих ПСП относительно знаков раскодированного текста.

Общие искажения возникают при пропусках или добавлении лишних букв в закодированный текст при передаче по каналам связи, что приводит к сдвигу на приемной стороне знаков кодирующих ПСП относительно знаков раскодированного текста, это приводит к сбою раскодирования принятого текста. Для продолжения раскодирования необходимо устранить возникший сдвиг между знаками кодирующей ПСП и раскодированного текста.

Таким образом, канальное и абонентское методы кодирования информации эффективны на стандартных каналах хорошего качества, когда вероятность ошибки в дискретном канале не превышает величины порядка $P \leq 10^{-6}$. Как известно [3] вероятность появления ошибок в m местах закодированного текста в каналах с независимыми ошибками равна

$P(e_{im}) \geq \frac{1}{(2+h^2)^m}$. Тогда вероятность появления двух ошибок при $h^2 = 20, r^2 = 0,99$, разделенных достаточным большим интервалом, будет приблизительно равна $\frac{1}{(2+h^2)^2} \approx 2 \cdot 10^{-3}$, а вероятность тройной смежной ошибки в каналах с памятью,

рассчитанной по известной формуле [3] $P(e_{1,2,3}) = \frac{1}{8+12h^2+2h^4(3-2r^2-r^4)+h^6(1-r^2)^2}$, становится больше и равна $3 \cdot 10^{-3}$.

Проведенные расчеты показали, что это разница значительно возрастает при высоких кратностях ошибок, как показано в таблице.

Из таблицы видно, что при кратности $m > 5$ случаи, соответствующие для независимых ошибок ($r=0$) и на каналах с памятью ($r = 0,99$), существенно различаются. В каналах с памятью вероятность появления смежных ошибок высокой кратности более на три порядка выше, чем в биномиальных каналах связи. То есть в реальных каналах связи, которые обладают памятью, следует ожидать появление пачек ошибок, которые будут отрицательно сказываться на устойчивости декодирования информации.

Таблица – Вероятности появления m смежных ошибок

m	$h^2=20$, Значение вероятностей при $r =$			
	0	0,99	0,999	1
1	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$
2	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
3	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$
4	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
5	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$
6	$8,7 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
7	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
8	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$
9	$8,2 \cdot 10^{-13}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
10	$3,7 \cdot 10^{-14}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$

В условиях деструктивных воздействий, за счет снижения соотношения сигнал/помеха вероятность появления пачек ошибок будет резко возрастать, что может привести к потере устойчивости закрытой связи. Граничную оценку вероятности появления ошибок различной кратности m в кодовой блоке длины n , в зависимости от соотношения сигнал/помеха h^2 и коэффициента корреляции r в канале, можно рассчитать по формуле [3]:

$$P(n, \geq m) \leq \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n-m}{2} \rfloor} (2i+m-1) \frac{C_n^{m+2i}}{(h^2)^{m+2i} (1-r^2)^{m+2i-1}}$$

Расчеты по данной формуле показали, что в каналах достаточно хорошего качества ($h^2=100$) при отсутствии деструктивных воздействий вероятность кратности ошибки достаточно мала, что позволяет исправлять возникающие одиночные ошибки при декодировании текста. Однако в условиях деструктивных воздействий соотношение

сигнал/помеха может снизиться до единицы и менее, что отрицательно скажется на устойчивости закрытой связи.

При абонентском кодировании это приведет к значительному увеличению количества местных и общих искажений, исправление которых становится невозможным. А при канальных методах кодирования будет затруднена синхронизация датчиков кодирующей ПСП, что также отрицательно скажется на устойчивости закрытой связи.

Однако следует подчеркнуть, что абонентское кодирование в отличие от канального даже при снижении качества канала связи позволяет закрывать информацию ценой многократных одновременных передач закодированного текста по различным каналам связи и осуществить исправление местных искажений, например, по мажоритарному принципу. Таким образом, при ухудшении качества канала связи абонентское кодирование превосходит по надежности канальное и поэтому в особых условиях обстановки является предпочтительнее. Однако при активных деструктивных воздействиях может наступить момент, когда пакеты ошибок в декодированном тексте будут превышать длительность смысловых слов или будут искажены отличительные и показательные группы закодированных сообщений, что приведет также к невозможности организации закрытой связи. Такая ситуация чаще всего возникает в КВ радиоканалах, которые подвержены замираниям сигналов и доступны для деструктивных воздействий [3].

Таким образом, в условиях активных деструктивных воздействий соотношение сигнал/шум может стать меньше единицы $h^2 \leq 1$, что приведет к неработоспособности традиционных методов защиты информации и поэтому в этих условиях возникает задача по изысканию альтернативных методов защиты информации.

Одним из методов защиты информации при деструктивных воздействиях является переход к канальным методам защиты информации на уровне непрерывных сигналов. Это можно осуществить при использовании специальных систем связи, способных одновременно обеспечивать защиту, как от организованных помех, так и защиту передаваемой информации на уровне непрерывных сигналов.

В специальных системах связи каждый последовательный информационный элемент передается составным сигналом, структура которого манипулируется по закону псевдослучайной последовательности, вырабатываемой в датчике ПСП [4]. За счет повышения мощности составного сигнала, путем увеличения его базы, обеспечивается инвариантность специальной системы связи к деструктивным воздействиям в канале связи.

Однако проблемы обеспечения защиты информации на уровне непрерывных сигналов потребует предъявления особых требований к разведзащищенности ПСП. То есть ПСП специальных систем связи должны будут обладать такой же разведзащищенностью, как и кодирующие ПСП традиционных методов защиты информации, чтобы обеспечить надежную защиту информации на уровне непрерывных сигналов. Тогда появляется возможность комплексной защиты информации как от деструктивных воздействий в канале связи, так и несанкционированного доступа к содержанию передаваемой информации.

Список литературы

1. *Гриняев С.Н.* Поле битвы – киберпространство: теория, приемы, средства, методы и системы ведения информационной войны / С.Н. Гриняев // – Минск: Харвест, 2004. – 448 с
2. *Коржик В.И., Яковлев В.А.* Основы криптографии: учебное пособие / В.И.Коржик, В.А.Яковлев. – СПб., ИЦ Интермедия, 2016. – 312 с.: илл.
3. *Исаков Е.Е., Мякотин А.В., Жадан А.П., Кривцов С.П., Басулин Д.В.* Оценка необходимых и достаточных значений реальной пропускной способности военных систем передачи информации // Информация и космос. Радиотехника и связь. 2017. С. 133– 136.
4. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты./ В.И.Борисов, В.М.Зинчук, А.Е.Лимарев и др. - М.: Радио и связь, 2000. - 384с.

05.13.19

А.А. Шашков, В.А. Атрощенко

АО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» -
«НИИ – космического приборостроения»,
Москва, smich-kt@mail.ru,
Кубанский государственный технологический университет,
кафедра информатики и вычислительной техники,
Краснодар, atos.v@yandex.ru

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОБХОДИМЫХ И ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ РАЗВЕДЗАЩИЩЕННОСТИ ПСП СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

В работе приводится структурное моделирование необходимых и достаточных условий обеспечения высокой разведзащищенности ПСП специальных систем связи на основе применения итеративного алгоритма декодирования БЧХ-кодов.

Ключевые слова: *псевдослучайная последовательность, БЧХ-коды, ПС-сигналы, оптимизированные помехи.*

Известны переборные и непереборные алгоритмы криптоанализа выходных последовательностей ЛРРС, используемых в специальных системах связи для защиты от помех [1-7].

Выходная последовательность ЛРРС обладает многими свойствами, которые приближают ее к чисто случайной последовательности.

Если длина регистра выбрана достаточно большой ($k=40-60$) и порождающий полином имеет много ненулевых коэффициентов, то структура выходной последовательности ЛРРС не отличается от чисто случайного шума и имеет практически «бесконечный» период не повторяющийся на длине сеанса связи. Однако, это не гарантирует высокую криптозащищенность.

Для обеспечения высокой криптозащиты, необходимо выходную последовательность ЛРРС усложнить таким образом, чтобы сложность решения приближалась к чисто переборной задаче [5,7].

Проведем криптоанализ выходной последовательности ЛРРС и последовательности после нелинейных преобразованием, путем структурного моделирования алгоритма Берлекемпа-Месси, применяемого при декодировании БЧХ кодов.

Промежуточные результаты выполнения алгоритма изображены на рис.1, а конечные результаты приведены в таблице. Из рис. 1 и таблицы видно, что данный алгоритм обладает весьма высокой эффективностью. При отсутствии ошибок для правильного определения порождающего полинома $h(x)$ требуется всего $2k+1$ -шагов, где k длина ЛРРС. При наличии ошибок происходит накопление неправильных решений. Следовательно, чтобы обеспечить его работоспособность на каналах с ошибками, необходимо периодически сбрасывать промежуточные решения в исходные состояния и начинать работу сначала. При этом периодичность сброса, очевидно, должна быть, заведомо, больше предполагаемой длины ЛРРС.

Кроме того, из таблицы 1 видно, что введение нелинейных операций не позволяет находить порождающий полином ЛРРС даже при перехвате $2k$ безошибочных элементов. Однако для выходной последовательности после применения нелинейных преобразований можно построить эквивалентный виртуальный ЛРРС, длина которого R , на много превосходит длину обычного ЛРРС, то есть $R \gg k$. Тогда, как видно из таблицы 1 достаточно перехватить $2R$ неискаженных элементов с выхода нелинейных элементов, где R длина

эквивалентного (виртуального ЛРРС), чтобы определить длину виртуального ЛРРС и породить такую же ПСП. Следовательно, введение нелинейных операций эквивалентно увеличению длины исходного ЛРРС, что подтверждает результаты работы [7]. И если на длине сеанса лишить противника перехвата $2R$ символов, то в течение сеанса радиосвязи обеспечивается высокая разведзащищенность ПСП, что приводит к надежной защите передаваемой информации и ПС-сигнала от оптимизированных помех.

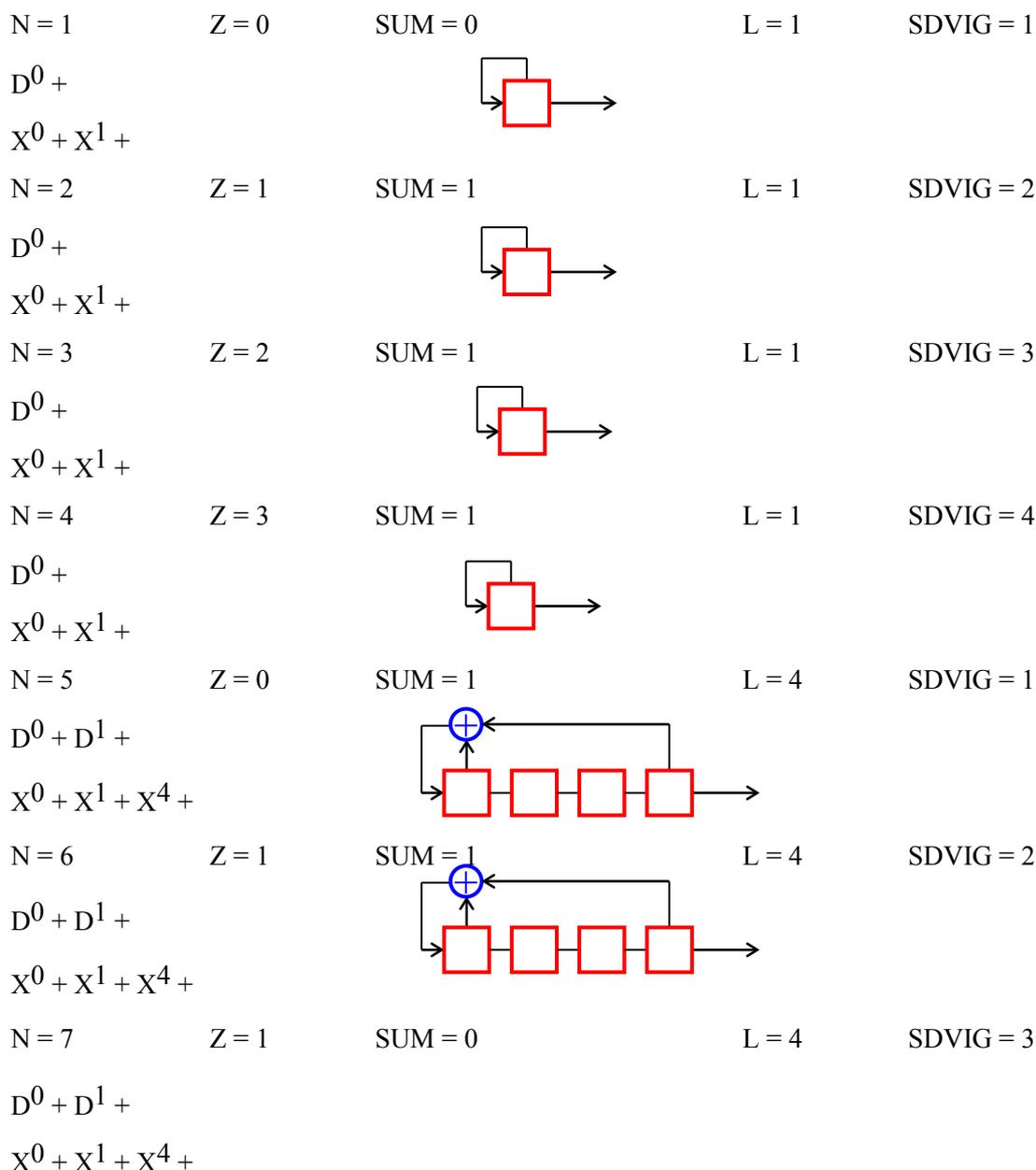


Рис. 1 – Промежуточные результаты нахождения порождающего полинома ЛРРС и его начального заполнения

Таким образом, исследования показали, чтобы повысить разведзащищенность ПСП необходимо либо увеличить длину ЛРР до размеров, превышающих половину длительности сеанса связи, либо введением нелинейных преобразований увеличить виртуальную длину ЛРР до величины превышающую длительность сеанса связи. Первый путь нереален, он ведет к чрезмерному увеличению объема оборудования. Второй путь, как показало структурное моделирование на ЭВМ алгоритма Берлекэмп-Мессе позволяет с наименьшими затратами на оборудование усложнить анализ ПСП, путем увеличения длины виртуального ЛРРС до величины намного превышающей длительность сеанса связи, и поэтому является наиболее целесообразным для использования в датчиках ПСП специальных систем связи.

Таблица – Результаты оценки разведзащищенности ПСП с выхода ЛРР и после нелинейных узлов усложнения

N п/п	Порождающий полином	Нелинейная операция	Кол-во шагов	Эквивалентный полином
1.	$1+X^2+X^5$	—	10	$1+X^2+X^5$
2.	$1+X+X^2+$	—	10	$1+X+X^2+X^3+X^5$
3.	X^3+X^5	—	8	$1+X+X^4$
4.	$1+X+X^4$ $1+X+X^4$	элемент “джеффи”	20	$1+X+X^2+X^4+X^5+X^8+X^{10}$
5.	$1+X^3+X^{10}$	—	20	$1+X^3+X^{10}$
6.	$1+X^3+X^{10}$	три элемента “джеффи”	112	$1+X+X^5+X^7+X^8+X^9+X^{10}+X^{11}+X^{13}+$ $+X^{14}+X^{15}+X^{16}+X^{18}+X^{19}+X^{21}+X^{22}+$ $+X^{23}+X^{25}+X^{27}+X^{30}+X^{31}+X^{32}+X^{32}+$ $+X^{33}+X^{34}+X^{36}+X^{37}+X^{38}+X^{39}+X^{40}$ $+X^{41}+X^{43}+X^{44}+X^{45}+X^{46}+X^{50}+X^{51}$ $+X^{55}+X^{56}$.

Примечание:

1. Изменение начального заполнения, как и изменение обратных связей ЛРР не влияет на количество шагов, необходимых для вычисления эквивалентного полинома.

2. Элемент “Джеффи” представляет функциональный узел, объединяющий несколько нелинейных операций.

Выводы:

Полученные результаты показали, что большой период ПСП может выступать лишь в качестве необходимого условия обеспечения разведзащищенности ПСП. Для обеспечения достаточных условий требуется увеличить эквивалентную сложность ПСП до размеров, превышающих половину сеанса связи. Указанная эквивалентная сложность как показали результаты теоретического и имитационного моделирования достаточно просто обеспечивается за счет нелинейных узлов усложнения.

Если же одновременно с защитой от организованных помех требуется обеспечить закрытый служебный канал связи на уровне непрерывных сигналов, то разведзащищенность ПСП специальных систем связи должна быть не хуже разведзащищенности ПСП традиционных систем защиты информации, так как здесь становится опасным раскрытие информации и после окончания сеанса связи.

Список литературы

1. Малыгин И. Широкополосные системы связи. / И.Малыгин. – М: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. – 200 с.
2. Арсланов Х.А. Перспективная система связи Вооружённых Сил создаётся на основе цифровых технологий [Электронный ресурс] // Военно-Промышленный курьер. № 1 (567) за 14.02.2015 г. URL: <http://vpk-news.ru/articles/23369>
3. Бударин Э.А., Васюков Д.Ю., Дементьев В.Е., Колбасова Г.С., Краснов В.А., Лепешкин О.М., Лаута О.С., Митрофанов М.В., Худайназаров Ю.К. Обеспечение защиты информации в локальных вычислительных сетях; Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Санкт-Петербург, 2013.
4. Коржик В.И., Яковлев В.А. Основы криптографии: учебное пособие / В.И.Коржик, В.А.Яковлев. – СПб., ИЦ Интермедия, 2016. – 312 с. : илл.
5. Мао В.В. Современная криптография. – М. : Вильямс, 2005. – 768 с.
6. Черемушкин А.В. Криптографические протоколы. Основные свойства и уязвимости. – М. : Академия, 2007. – 254 с.
7. Korzhik V.I. Optimization of key distribution protocols based on noisy channels within active adversaries // LNCS. – 2012. – P. 51–64.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

В.С. Минкин, М.Г. Кузнецов,
Р.Х. Шагимуллин, В.В. Харьков, Г.Х. Гумерова
ПАРО-ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ
АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Ключевые слова: генератор акустической энергии,
акустический нагнетатель, газовая струя.

Рассмотрены устройство и принцип действия паро-газодинамического реактивного двигателя. Новая технология сжигания горючей смеси в паро-газодинамическом реактивном двигателе обеспечивает перемещение средства передвижения не только над водой и по воде, но и под водой.

К.Г. Николаев, Б.Н. Иванов,
В.С. Минкин, Е.С. Воробьев, Р.Х. Шагимуллин
АЛГОРИТМ СОПРЯЖЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ВНУТРИПЛАСТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
НЕФТЕЙ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Ключевые слова: сопряжение,
рациональные технологии, моделирование.

Статья является развитием наших работ, посвященным рациональным технологиям обработки нефтесодержащих систем [2-9].

В основе данных технологий лежит коренной принцип всеобщей аналогии материальных образований и их взаимодействий, который целесообразно применять и при рационализации технологий водородной энергетики [17-22].

Г.Э. Аминова, П.Е. Денисенко
ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ
В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Ключевые слова: железнодорожные транспортные системы,
беспроводная система, сеть GSM-R,
сеть LTE, сеть 5G, smart railways.

В работе рассмотрены беспроводные системы обеспечения работоспособности железнодорожных транспортных систем и перспективы ее развития. Актуальность темы обусловлена растущим интересом к использованию беспроводной связи для критических и некритических коммуникаций в железнодорожных транспортных системах, а также необходимостью повышения производительности, безопасности и комфорта пассажиров. Указанные улучшения, особенно повышение производительности и безопасность, сопровождаются огромными объемами трафика данных, которые должны обрабатываться системами беспроводной связи. Следовательно, беспроводная связь внутри и снаружи железнодорожных транспортных систем является ключевой технологией для достижения этих целей.

Г.Н. Власичев, Н.М. Махина
СТРАТЕГИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ
ТОПЛИВОМ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩАЯ ДЛИТЕЛЬНОЕ
ХРАНЕНИЕ С ОТСРОЧКОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОБ
ОКОНЧАНИИ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Ключевые слова: отработавшее ядерное топливо,
хранение, переработка, радиационная безопасность.

В работе рассмотрены стратегии обращения с отработавшим ядерным топливом. Сделаны выводы об экономической и энергетической целесообразности проектирования и строительства контейнерных хранилищ ОЯТ с возможностью долгосрочного хранения.

Н.В. Ершов
БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В ВУЗе

Ключевые слова: управление, оптимизация ресурсов, потери.
В работе рассмотрено применение инструментов бережливого производства к системе не материального производства. Рассмотрен конкретный пример в работе такой системы, обнаружены проблемные места и предложены мероприятия по устранению потерь.

V.S. Minkin, M.G. Kuznetsov,
R.Kh. Shagimullin, V.V. Kharkov, G.H. Gumerova
STEAM-GAS DYNAMIC GENERATORS
OF ACOUSTIC VIBRATIONS

Keywords: acoustic energy generator,
acoustic supercharger, gas jet.

The device and the principle of operation of a steam-gas dynamic jet propulsion are considered. The new technology of combustion of a combustible mixture in a steam-gas dynamic jet propulsion ensures the movement of the vehicle not only over water and on water, but also under water

K.G. Nikolaev, B.N. Ivanov,
V.S. Minkin, E.S. Vorobiev, R.Kh. Shagimullin
THE ALGORITHM OF CONJUGATION
OF RATIONAL TECHNOLOGIES OF INTRA-RESERVOIR
TRANSFORMATION OF OILS
AND HYDROGEN ENERGY

Keywords: conjugation, rational technologies, modeling.
This article is a development of our work on rational technologies for processing oil-containing systems. These technologies are based on the fundamental principle of the universal analogy of material formations and their interactions, which is advisable to apply when rationalizing hydrogen energy technologies.

G.E. Aminova, P.E. Denisenko
OVERVIEW OF WIRELESS APPLICATIONS
IN THE RAILWAY INDUSTRY

Keywords: railway transport systems, wireless system,
GSM-R network, LTE network, 5G network, smart railways.
The paper shows the wireless systems for the operability of railway transport systems and the prospects for its development. The relevance of the topic is due to the growing interest in the use of wireless communication for critical and non-critical communications in railway transport systems, as well as the need to improve productivity, safety and comfort of passengers. These improvements, especially performance and security improvements, come with huge volumes of data traffic that must be handled by wireless communication systems. Consequently, wireless communication inside and outside rail transport systems is a key technology to achieve these goals.

G.N. Vlasichev, N.M. Makhina
SPENT NUCLEAR FUEL MANAGEMENT STRATEGY
FOR LONG-TERM STORAGE WITH A FUTURE
DECISION-MAKING DECISION
TO END THE FUEL CYCLE

Keywords: spent nuclear fuel, storage,
reprocessing, radiation safety.

The article considers the strategies of appealing with spent nuclear fuel. It has been found that the economic and energy feasibility of designing and building container storage facilities for SNF from long-term storage.

N.V. Ershov
LEAN MANUFACTURING AT THE UNIVERSITY

Keywords: control, resource optimization, losses.
The paper considers the application of lean manufacturing tools to the system of non-material production. A specific example in the operation of such a system is considered, problem areas are found and measures to eliminate losses are proposed.

В.И. Курир

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТУРБИН,
ПОДВЕРЖЕННЫХ КАВИТАЦИИ

Ключевые слова: гидротурбина, кавитационная защита,
защитные нанопокртия.

Представлен анализ работ по созданию оптимальной защиты гидротурбин от кавитационного разрушения и гидроабразивного износа.

Н.А. Максимов, Ю.Б. Склеймин

ОРИЕНТАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ (БПЛА) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТЫ
ВЫСОТ МЕСТНОСТИ

Ключевые слова: БПЛА, матрица высот местности,
определение координат, выделение контуров, яркие точки,
диспаритет, навигация.

В статье разрабатывается алгоритм определения текущего местоположения БПЛА, оснащенного монокулярной камерой, по фотографиям местности под ним. Показана возможность сведения решаемой задачи к задаче определения диспаритета (сдвига) по двум последовательным пересекающимся изображениям, для множества наиболее ярких точек, что позволило определить их высоты. Таким образом производится построение карты высот. Предлагается алгоритм поиска связанных точек изображения с данными модели высот данной местности (DTED), хранящейся в памяти бортового компьютера. На основе предложенного алгоритма производится оперативное определение координат БПЛА.

Г.В. Меркишин, Б.М. Породин

УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПРЯМОЙ.

Ключевые слова: алгоритм, положение, прямая, проекция,
расположение.

В работе рассматривается алгоритм оценки пространственного положения прямой с помощью при помощи матриц, а также упрощение алгоритма оценки положения прямой.

И.С. Некрасов, В.С. Тынченко,

Я.А. Тынченко, В.В. Бухтояров

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА МЕТОДАМИ
НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: отказ оборудования, нейросетевое
моделирование, модель, обучение, гидрокрекинг.

В работе рассматриваются особенности прогнозирования отказов оборудования методами нейросетевого моделирования. В качестве примера рассмотрена технологическая установка гидрокрекинга. Детальное внимание уделено обоснованию методов и разработке алгоритма нейросетевого оценивания параметров гидрокрекинга. Также обозначен порядок выбора и обучения нейронной сети.

Е.Е. Орехова, А.С. Пермовский

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА
МАССОГАБАРИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТЕПЛООБМЕННИКА 3-4 КОНТУРА РЕАКТОРНОЙ
УСТАНОВКИ КЛТ-40

Ключевые слова: теплообменник,
реакторная установка, КЛТ-40.

В настоящее время активно развивается направление реакторостроения. В современных реакторных установках предъявляются высокие требования в части безопасности, а также повышен интерес к технологии «мирного» атома. Особенно стоит выделить отрасль компактных реакторных установок, используемых в судах, возросший интерес к которым привел к разработке серии реакторов РИТМ. Важным параметром в реакторостроении является правильный выбор

V.I. Kurir

EXTENDING THE SERVICE LIFE OF HYDRO TURBINES
SUBJECTED TO CAVITATION

Keywords: Hydraulic turbine, cavitation protection
and protection against hydroabrasive wear,
protective nanocoatings.

The analysis of works on the creation of optimal protection of hydraulic turbines from cavitation destruction and hydroabrasive wear is presented.

N.A. Maksimov, Yu.B. Skleymin

ORIENTATION OF UNMANNED AIRCRAFT (UAV)
USING A TERRAIN HEIGHT MAP

Keywords: UAV, terrain elevation matrix,
determination of coordinates, contour selection, bright points,
disparity, navigation.

The article develops an algorithm for determining the current location of a UAV equipped with a monocular camera, based on photographs of the terrain below it. The possibility of reducing the problem to be solved to the problem of determining the disparity (shift) by two consecutive intersecting images for a set of the brightest points is shown, which made it possible to determine their heights. This is how the height map is constructed. An algorithm is proposed to search for associated image points with the data of the elevation model of a given area (DTED), which is stored in the memory of the on-board computer. On the basis of the proposed algorithm, the UAV coordinates are quickly determined.

G.V. Merkishin, B.M. Porodin

SIMPLIFIED ALGORITHM FOR ESTIMATING THE
SPATIAL POSITION OF A STRAIGHT LINE.

Keywords: algorithm, position, line, projection, location.
The paper considers an algorithm for estimating the spatial position of a straight line using matrices, as well as simplifying the algorithm for estimating the position of a straight line.

I.S. Nekrasov, V.S. Tynchenko,

Ya.A. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov

PREDICTION OF HYDROCRACKING PROCESS UNIT
FAILURES USING NEURAL NETWORK MODELING
METHODS

Keywords: equipment failure, neural network modeling, model,
training, hydrocracking.

The article discusses the features of equipment failure forecasting using neural network modeling methods. As an example, a process unit for hydrocracking is considered. Detailed attention is paid to the substantiation of methods and the development of an algorithm for neural network estimation of hydrocracking parameters. The selection procedure and training of the neural network are also indicated.

E.E. Orekhova, A.S. Permovskiy

INFLUENCE OF CONSTRUCTION MATERIALS
ON THE MASS-DIMENSIONAL CHARACTERISTICS
OF THE HEAT EXCHANGER OF THE 3-4 CONTOURS
OF THE KLT-40 UNIT

Keywords: heat exchanger, KLT-40 reactor unit.

At the present time the field of reactor engineering is actively developing. This development is associated with new requirements for reactor units (RU) in terms of safety, as well as with increased interest in "peaceful" atom technology. Particularly noteworthy is the industry of compact reactor units, which are used in ships, the increased interest in which led to the development of the RITM series of reactors. An important parameter of the reactor construction is the right choice of material for each element of the reactor unit. Not

материала для каждого элемента реакторной установки (РУ). От выбора материала зависит не только работоспособность конкретного элемента, но и всей установки в целом. В работе проведён сравнительный анализ и рассмотрена возможность оптимизации материала трубок теплообменника 3-4 контура РУ КЛТ-40 с точки зрения массогабаритных характеристик.

И.С. Полякова, Ф.Г. Хисамов
САМОРЕГУЛИРУЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
В ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТАХ – ПРОБЛЕМЫ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Ключевые слова: пусконаладочные работы, охрана труда, монтаж, наладка, электрооборудование, безопасность, испытания, эксплуатация.

В данной статье рассмотрены саморегулируемые организации (СРО) в строительстве, точнее, в пусконаладочной деятельности и проблемы их функционирования. Пусконаладочные работы являются заключительной частью строительно-монтажных работ. После отмены в 2010 г. государственного лицензирования определенных видов строительных работ пусконаладочные работы на объектах капитального строительства могут быть реализованы саморегулируемыми организациями с соответствующим допуском. Введение системы СРО в пусконаладочной деятельности привело к тому, что в настоящее время на рынке функционирует много посреднических юридических фирм, содействующих в получении свидетельств о допуске к пусконаладочным работам компаниям, которые не отвечают необходимым требованиям, тем самым, снижается качество капитального строительства и уровень его безопасности.

К.В. Прокопьев, И.М. Кузьмина, М.А. Иванова, Т.И. Васильева
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ТРАНСКРИПЦИЙ МЕРОПРИЯТИЙ

Ключевые слова: web-приложение, клиентская часть, HTML, CSS, JavaScript, AJAX, jQuery, серверная часть, XAMPP. В работе изложены этапы разработки web-приложения для создания транскрипций мероприятий с помощью Google Cloud Speech API.

О.А. Рак, Д.А. Веденькин
СОВРЕМЕННЫЕ РЛС В РОССИЙСКОЙ АРМИИ

Ключевые слова: бортовая радиолокационная станция, радиолокатор, радиоэлектронное оборудование, авиационный комплекс, радиофотоника, квантовые технологии.

В данной статье на основании достигнутых научных достижений и техники рассматриваются варианты компоновки РЛС на новых принципах и их совместное использование в составе авиационного комплекса. Представлены их ближайшие перспективы и возможности какими они должны обладать в настоящее время с использованием фотонных технологий.

О.А. Рак, Д.А. Веденькин
МОДЕРНИЗАЦИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ
ФОТОНИКИ, РАДИОФОТОНИКИ И
СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

Ключевые слова: волоконнооптические системы связи, нанофотоника, радиофотоника, радиоквантоника, радиооптические активные фазированные решетки.

Сверхширокополосные цифровые линии связи на ВОЛС, линии задержки, а также использующие элементы радиофотоники фильтры, генераторы и другие устройства СВЧ-диапазона находят применение в системах РЭБ и РЛС авиации. В данной работе рассматривается практический опыт разработки устройств радиофотоники для применения в радиолокационной аппаратуре, а также возможности и перспективы развития радиофотоники применительно к радиолокации. Целесообразно также отметить и то, что переход к радиофотонике происходит от основ нанофотоники, и только потом к радиоквантонике.

only the performance of a particular element, but also the performance of the RU as a whole depends on the choice of material. In this article we made a comparative analysis and considered the possibility of optimizing and selecting the material of heat exchanger tubes of the 3-4 contours of the KLT-40 unit in terms of mass-dimensional characteristics.

I.S. Polyakova, F.G. Khisamov
SELF-REGULATING ORGANIZATION IN
COMMISSIONING – PROBLEMS OF FUNCTIONING

Keywords: self-regulatory organization, commissioning, SRO admission, Urban Development Code of the Russian Federation, construction.

This article discusses self-regulatory organizations (SROs) in construction, more precisely, in commissioning activities and the problems of their functioning. Commissioning works are the final part of construction and installation works. After the abolition of the state licensing of certain types of construction work in 2010, commissioning works at capital construction facilities can be performed by self-regulatory organizations with an appropriate permit. The introduction of the SRO system in commissioning activities has led to the fact that many unscrupulous legal organizations have appeared on the market, providing intermediary services to assist in obtaining certificates of admission to commissioning works for organizations that do not meet the necessary requirements, thereby reducing the quality of capital construction and its level security.

K.V. Prokopiev, I.M. Kuzmina, M.A. Ivanova, T.I. Vasilyeva
APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO CREATE
TRANSCRIPTIONS OF ACTIVITIES

Keywords: web application, front end, HTML, CSS, JavaScript, AJAX, jQuery, back end, XAMPP. The work outlines the stages of developing a web application for creating event transcriptions using the Google Cloud Speech API.

O.A. Rak, D.A. Vedenkin
MODERN RADAR STATIONS IN THE RUSSIAN ARMY

Keywords: airborne radar station, radar, radio-electronic equipment, aviation complex, radio-photonics, quantum technologies.

In this article, on the basis of the achieved scientific results and technologies, options for the layout of the radar based on new principles and their joint use as part of the aviation complex are considered. Presented are their immediate prospects and the possibilities they should have at the present time with the use of photonic technologies.

O.A. Rak, D.A. Vedenkin
MODERNIZATION OF MILITARY AVIATION
EQUIPMENT WITH THE USE OF PHOTONICS,
RADIOPHOTONICS AND ULTRA-WIDEBAND SIGNAL
ELEMENTS

Keywords: fiber-optic communication systems, radiophotonics, radioquantonics, nanophotonics, radio-optical active phased arrays.

Ultra-wideband digital communication lines on the fiber optic network, delay lines, as well as filters, generators and other microwave devices using elements of radiophotonics are used in electronic warfare systems and in radar detection and guidance stations. In this paper, based on the practical experience of developing radiophotonics devices for use in radar equipment, as well as the possibilities and prospects for the development of radiophotonics in relation to radar are considered. It is also advisable to note that the transition to radiophotonics comes from the basics of nanophotonics.

С.А. Савелов, Г.Н. Власичев
 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ
 В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Ключевые слова: водоподготовка, атомная электростанция, мембранные технологии, эксплуатационные затраты.
 В работе отражена информация о способах водоподготовки в атомных электростанциях. Продемонстрированы преимущества применения мембранных технологий перед традиционной схемой водоподготовки.

S.A. Savelov, G.N. Vlasichev
 MODERN WATER TREATMENT TECHNOLOGIES
 IN THE NUCLEAR POWER INDUSTRY

Keywords: water treatment, nuclear power plant, membrane technologies, operating costs.
 The paper reflects information about methods of water treatment at nuclear power plants. The advantages of using membrane technologies over the traditional water treatment scheme are demonstrated.

Н.О. Сапоженков, А.А. Панфилов, А.В. Базанов
 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
 ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА

Ключевые слова: условия эксплуатации, пуск, двигатель внутреннего сгорания, электростартер, моделирование.
 Пуск двигателей внутреннего сгорания при отрицательных температурах связан с воздействием множества факторов, что предопределяет необходимость совершенствования методов обеспечения надёжности элементов систем электростартерного пуска в зависимости от условий и интенсивности эксплуатации автомобилей. Одним из наиболее эффективных способов прогнозирования остаточного ресурса и предупреждения внезапных отказов является моделирование режимов работы на основе репрезентативных выборок из статистических данных. В статье представлены результаты анализа опыта эксплуатации техники на предприятиях нефтегазодобывающего комплекса и предложены рекомендации по корректированию периодичности замены электростартеров на примере автомобилей УАЗ-3909.

N.O. Sapozhenkov, A.A. Panfilov, A.V. Bazanov
 PROCEDURE FOR EVALUATING THE RESIDUAL LIFE
 OF ELECTRICAL STARTER SYSTEM ELEMENTS

Keywords: operating conditions, start-up, internal combustion engine, electric starter, simulation.
 Internal combustion engines start at negative temperatures is associated with the influence of many factors, which predetermines the need to improve methods for ensuring the reliability of elements of electric starting systems, depending on the conditions and intensity of vehicle operation. One of the most effective ways to predict the residual life and prevent sudden failures is to simulate operating modes based on representative samples from statistical data. The article presents the results of the analysis of the experience of operating equipment at the enterprises of the oil and gas production complex and offers recommendations for adjusting the frequency of replacement of electric starters using the example of UAZ-3909 vehicles.

Н.О. Сапоженков, А.А. Панфилов, В.Д. Ильиных
 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ
 ТЕМПЕРАТУРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ
 АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Ключевые слова: моделирование, аккумуляторная батарея, температура, функция Хевисайда, коэффициент прогрева.
 Отрицательные температуры, повышенное энергопотребление дополнительного оборудования и короткие поездки в городе с частыми остановками способствуют ухудшению эффективности заряда аккумуляторных батарей. В таких условиях аккумуляторные батареи разряжаются не только за счёт пуска ДВС и включения потребителей на стоянке, но и при работе ДВС на холостом ходу и малых частотах вращения коленчатого вала во время движения по городским маршрутам и в часы пик. Параметры рабочих процессов автомобилей существенно изменяется с понижением температуры, поэтому исследования по моделированию температурных режимов аккумуляторных батарей актуальны.

N.O. Sapozhenkov, A.A. Panfilov, V.D. Ilinykh
 SIMULATION OF THE PROCESSES
 OF CAR BATTERIES TEMPERATURE CHANGING

Keywords: simulation, battery, temperature, Heaviside function, warm-up factor.
 Freezing temperatures, increased power consumption of additional equipment, and short, intermittent city trips all contribute to poor battery charging efficiency. In such conditions, batteries are discharged not only by starting the internal combustion engine and turning on consumers in the parking lot, but also when the internal combustion engine is idling and at low crankshaft speeds while driving on city routes and during rush hours. The parameters of the working processes of cars change significantly with decreasing temperature, therefore, studies on modeling the temperature regimes of storage batteries are relevant.

А.М. Станкевич
 ПРЕДПОСЫЛКИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ
 ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ ЛЁТНОЙ ГОДНОСТИ
 ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Ключевые слова: поддержание лётной годности, авиационная техника, цифровая трансформация.
 В статье рассматривается, как в процессе эволюции от отдельных программ до цифровых организаций накапливались опыт и знания в данной области, образуя в итоге предпосылки для формирования новых взглядов на проблему цифровой трансформации организаций, соответствующих современным результатам в области цифровой вычислительной техники.

A.M. Stankevich
 BACKGROUND TO THE DIGITAL TRANSFORMATION
 OF AIRCRAFT MAINTENANCE ORGANIZATIONS

Keywords: airworthiness, aviation technology, digital transformation.
 The paper presents how, in the process of evolution from individual programs to digital organizations, experience and knowledge in this area was accumulated, ultimately forming the preconditions for the formation of new views on the problem of digital transformation of organizations that correspond to modern results in the field of digital computing.

Д.А. Хвостов
 НЕЙРОННАЯ СЕТЬ
 ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА

Ключевые слова: keras, embedding, dence, autoencoder, нейронные сети, тональность текста.
 В работе представлены результаты разработки нейронных сетей, дано описание их моделей, выбраны оптимальные модели для поставленной задачи, рассмотрены слои для реализации модели. Получены две нейронные сети для определения эмоциональной окраски текста.

D.A. Khvostov
 NEURAL NETWORK FOR TEXT TONALITY ANALYSIS

Keywords: keras, embedding, dence, autoencoder, neural networks, text tonality.
 The paper presents the results of the development of neural networks, describes their models, selects optimal models for the task, and considers layers for the implementation of the model. Two neural networks were obtained to determine the emotional coloring of the text.

П.С. Шичёв, Ж.В. Овадыкова
 ПОДХОД К КОРРЕКТИРОВКЕ ПРЕДЕЛОВ
 ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ
 КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО
 ОБОРУДОВАНИЯ ПО СПЕКТРАМ ТОКА ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: диагностический параметр, контроль технического состояния, амплитудный спектр тока, корректировка предельных значений.

В статье рассматривается возможность повышения информативности оценки технического состояния динамического оборудования с электроприводом на основе анализа спектров сигналов токов двигателей путем дополнения методик контроля процедурами корректировки предельных значений диагностических параметров. Предложен порядок реализации методик оценки, в рамках которого реализуется подход по корректировке диагностических параметров. Сформированный подход представлен алгоритмом, по которому предусмотрен анализ диагностических параметров в спектрах тока и параметров вибрации, а также учет результатов технического обслуживания и ремонтов диагностируемого оборудования.

P.S. Shichev, Zh.V. Ovadykova
 AN APPROACH TO ADJUSTMENT THE LIMITS OF
 DIAGNOSTIC PARAMETERS DURING
 IMPLEMENTATION MONITORING THE CONDITION OF
 EQUIPMENT WITH AN ELECTRIC MOTOR
 BY CURRENT SPECTRA

Keywords: diagnostic parameter, control of technical condition, amplitude spectrum of current, correction of limit values.

The article discusses the possibility of increasing the information content of assessing the technical condition of dynamic equipment with an electric drive based on the analysis of the signal spectra of the motor currents by supplementing the control methods with procedures for correcting the limiting values of diagnostic parameters. A procedure for the implementation of assessment methods is proposed, in which an approach is implemented to adjust the diagnostic parameters. The formed approach is represented by an algorithm, which provides for the analysis of diagnostic parameters in the current spectra and vibration parameters, as well as accounting for the results of maintenance and repairs of the diagnosed equipment.

Г.Э. Аминова, П.Е. Денисенко
 ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА СОЕДИНЕНИЯ
 ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЕТА

Ключевые слова: обледенение, противообледенительная система, волоконно-оптический сенсор, гибридное соединение.

В работе рассмотрена архитектура сети противообледенительной системы воздушного судна, на основе которой были разработаны архитектура сети противообледенительной системы агрегатов хвостового оперения воздушного судна и конструкция гибридного соединения (соединителя) для обеспечения работы противообледенительной системы.

G.E. Aminova, P.E. Denisenko
 HYBRID SYSTEM OF THE ANTI-ICING SYSTEM OF
 AIRCRAFT

Keywords: icing, anti-icing system, fiber-optic sensor, hybrid connection.

The paper considers the architecture of the anti-icing system of the aircraft, on the basis of which the architecture of the network of the anti-icing system of the tail units of the aircraft and the design of the hybrid connection (connector) to ensure the operation of the anti-icing system were developed. Fiber optic sensor system is constructed for anti-icing system monitoring

Ю.А. Андросов, В.П. Гуляев, Н.П. Александров,
 С.М. Климов, И.П. Прохоров, В.В. Терентьева
 ОБОСНОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ
 ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ
 ДЛЯ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАСТЕРСКИХ

Ключевые слова: дизельные двигатели, стенды для испытания ДВС, обкатка двигателей, ремонт двигателей.

Сельское хозяйство, как основной вид деятельности населения Республики Саха (Якутия) большей части территории также выводит на первое место значение эксплуатации тракторов и автомобилей в экономике АПК Республики. Отсутствие железнодорожного транспорта в регионе, занимающей огромную площадь, предопределило исключительно важное значение автомобильного транспорта при перевозках народнохозяйственных и коммерческих грузов. В последние годы сократились число мастерских по ремонту грузовых автомобилей и тракторов. Это обусловлено ликвидацией крупных сельхозпредприятий в АПК Республики, замещением их ниши на рынке мелкими товаропроизводителями, фермерскими и лично-подсобными хозяйствами, отсутствием у них ремонтной базы, квалифицированного персонала. Все это тормозит развитие сельхозпроизводства, ведет к удорожанию сельхозпродукции.

Yu.A. Androsov, V.P. Gulyaev, N.P. Alexandrov,
 S.M. Klimov, I.P. Prokhorov, V.V. Terentyeva
 JUSTIFICATION OF UNIVERSAL TEST BENCHES
 FOR NON-SPECIALIZED WORKSHOPS

Keywords: diesel engines, stands for testing internal combustion engines, engine running-in, engine repair.

Agriculture as the main activity of the population of the Republic of Sakha (Yakutia) for most of the territory, the importance of the operation of tractors and cars in the economy of the agro-industrial complex of the Republic also takes the first place. The absence of railway transport in the region, which occupies a huge area, has predetermined the extremely important importance of road transport in the transportation of economic and commercial goods. In recent years, the number of workshops for the repair of trucks and tractors has decreased. This is due to the liquidation of large agricultural enterprises in the agro-industrial complex of the Republic, the replacement of their niche in the market by small commodity producers, farmers and personal subsidiary farms, the lack of repair facilities and qualified personnel. All this slows down the development of agricultural production, leads to an increase in the cost of agricultural products.

К.А. Башмур, А.А. Городов
 АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОТАЦИОННЫМ
 РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Ключевые слова: регулятор, сопло-заслонка, опора, ротационное резание, чистовая обработка, качество поверхности.

В статье рассматривается метод регулирования ротационного режущего инструмента с помощью адаптивных регуляторов. Ротационный метод резания является прогрессивным видом обработки материалов и представляет собой лезвийный

K.A. Bashmur, A.A. Gorodov
 ADAPTIVE ROTARY CUTTING TOOL CONTROL

Keywords: regulator, damper nozzle, support, rotary cutting, finishing, surface quality.

The article presents the method for regulating a rotary cutting tool using adaptive regulators. The rotary cutting method is a progressive type of material processing and is a blade tool, the round blade of which makes a rotational tangential cutting movement during processing, which reduces the heating of the cutter and its associated increased wear. The need for its

инструмент, круглое лезвие которого совершает при обработке вращательное касательное движение резанием, что уменьшает нагрев резака и связанный с ним его повышенный износ. Потребность в его регулировании возникает ввиду относительно меньшей жесткости системы резания и возникновения вибрационных нагрузок, которые негативно влияют на качество обрабатываемой поверхности. В статье представлена и обоснована конструкция опоры с мембранным регулятором с точки зрения устойчивости системы для использования совместно с ротационным инструментом.

М.А. Бирюков

СТРУКТУРА РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НЕЙРОИНТЕРФЕСА

Ключевые слова: робототехнические системы, удалённое управление, нейроинтерфейсы, нейроуправление. В работе представлены результаты исследования регуляторов для систем, основанных на нейроинтерфейсах. Предпринята попытка сформировать регулятор, отражающий сложность представления систем с нейроинтерфейсам, а также учёт ряда особенностей таких систем при линейной аппроксимации и построения обобщённой математической модели. Также предложены практические меры для улучшения показателей рассматриваемых систем.

Ю.Ж. Дондоков, В.П. Друзянова, О.О. Осмонов,
А.П. Павлова, А.Ф. Степанова

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК

Ключевые слова: восстановление деталей, надежность техники, кривошипно-шатунный механизм. Рациональный способ восстановления деталей выбирают в настоящее время по технико-экономическому критерию, определяемому как отношение либо себестоимости к наработке или коэффициенту долговечности, либо приведенных затрат к тем же показателям. Статья посвящена частному вопросу, связанному с обширной проблемой надежности машин-вопросу надежности техники.

В.А. Качаева, К.А. Башмур, А.Н. Димов, В.В. Бухтояров ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРИБОРОВ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ

Ключевые слова: электроэнергия, линейный генератор, электромагнитная индукция, биотопливо, мембранное разделение.

В данной статье рассматривается возможность электрообеспечения приборов установок по очистке природного газа для производства биотоплива с помощью интегрированных систем линейной генерации. Данный метод электрогенерации основан на линейных перемещениях, возникающих в поршневых компрессорах установок мембранного разделения. В статье приведен анализ основных параметров линейного генератора.

В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, Д.И. Рогачев АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Ключевые слова: Лидар, Харвестер, Беспилотный харвестер, Облако точек, Метод роя частиц, Ассистент оператора харвестера.

В статье изложена концепция автоматической системы помощи оператора харвестера при выполнении технологических операций. Применение данной системы способствует уменьшению экономических расходов, в связи оптимизации работы манипулятора и перемещения машины при валке деревьев. Работа данной системы обеспечивается за счет обработки данных, полученных с камеры видеонаблюдения, лидара и радара установленных на харвестере. В работе предложена функция приспособления для работы алгоритмом оптимизации роя частиц и представлены требования к конструкции лесозаготовительной машины.

regulation arises due to the relatively lower rigidity of the cutting system and the occurrence of vibration loads, which negatively affect the quality of the processed surface. The article presents and substantiates the design of a support with a membrane regulator from the point of view of system stability for use in conjunction with a rotary instrument.

M.A. Biryukov

REGULATOR'S STRUCTURE FOR NEUROINTERFACE

Keywords: robotic systems, remote control, neurointerface, neural control.

Paper presents research results of specific regulators structure for systems, based on neurointerfaces. Attempted formalization of control system, that would account for complexity of such systems and some specifics with linear approximation and mathematical modeling. Proposed practical measures for increasing effectiveness of described systems.

Yu.Zh. Dondokov, V.P. Druzyanova, O.O. Osmonov,
A.P. Pavlova, A.F. Stepanova

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF AGROTECHNICAL SERVICE IN APK

Keywords: restoration of parts, reliability of technology, crank-connecting mechanism. The rational way to restore parts is currently choosing for a technical and economic criterion defined as the ratio of either the cost of developing or the durability coefficient, or the costs of the same indicators. The article is devoted to a private matter related to the extensive problem of reliability of the problem of reliability of technology.

V.A. Kachaeva, K.A. Bashmur, A.N. Dimov, V.V. Bukhtoyarov POWER SUPPLY OF DEVICES AT THE INSTALLATIONS FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS USING AN INTEGRATED LINEAR POWER GENERATION SYSTEM

Keywords: electric power, linear generator, electromagnetic induction, biofuels, membrane separation.

This article discusses the possibility of electrical supply of devices of natural gas purification plants for biofuel production using integrated linear generation systems. This method of electric generation is based on linear displacements occurring in reciprocating compressors of membrane separation units. The article provides an analysis of the main parameters of the linear generator.

V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, D.I. Rogachev AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE LOGGING MACHINE

Keywords: Lidar, Harvester, Unmanned Harvester, Point Cloud, Particle Swarm Method, Harvester Operator Assistant. The article describes the concept of an automatic harvester operator assistance system when performing technological operations. The use of this system helps to reduce economic costs, due to the optimization of the manipulator and the movement of the machine when felling trees. The operation of this system is ensured by processing data received from a video surveillance camera, LIDAR and radars installed on the harvester. A function of adaptation for the operation of a particle swarm optimization algorithm is proposed and requirements for the design of a logging machine are given.

Е.С. Козин, Г.А. Софронов

ВНЕДРЕНИЕ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ*Ключевые слова: рулевая система, дистанционное управление, вездеход, микроконтроллер, безопасность перевозок, транспортно-технологические средства.*

В статье рассматривается внедрение прототипа системы дистанционного управления в конструкцию рулевой системы вездехода «Пелец». Представлена трехмерная модель внедряемой системы, указан принцип ее работы. Рассмотрена схема подключения электронных компонентов системы, выполненных на базе микроконтроллера Arduino, а также программный код управления, реализованный в среде программирования Arduino IDE. Разработанная система позволит повысить безопасность перевозочного процесса и расширить сферу применения указанного транспортного средства.

Т.А. Парникова, А.В. Спиридонова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ БАЛАНСИРОВКИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРИ РЕМОНТЕ ДВИГАТЕЛЕЙ*Ключевые слова: надежность машин, эксплуатация машин, мощность, периодический контроль, техническое состояние.*

Опыт использования сельскохозяйственной техники показывает, что, применяя средства обслуживания и ремонта, не требующие больших капиталовложений, можно значительно уменьшить простои машинно-тракторного парка. С внедрением в технику новых более прогрессивных технологических процессов, повышением скоростей и мощностей техники, а также с задачами автоматического регулирования и управления машинами коренным образом изменились конструкции машин. Наряду с механическими в состав машин входят гидравлические, и пневматические, электрические, электронные устройства. В настоящей статье рассмотрены проблемы долговечности и надежности машин. Статья посвящена частному вопросу, связанному с общей проблемой надежности машин-вопросу надежности техники.

Н.В. Петров, И.И. Дмитриев, Ф.А. Скрыбкин

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УМП-350*Ключевые слова: моторный подогреватель, раструб, температура, давление, испытание, воздух.*

В работе рассматривается эксплуатация и доработка унифицированного моторного подогревателя УМП – 350. При эксплуатации воздушного судна при низких температурах требуется обязательный подогрев с помощью специальной машины УМП - 350.

Для эффективности работы данного устройства в условиях низких температур решено было разработать раструбы. По данным испытания в разных минусовых температурах при подогреве одного воздушного судна требуется от 15 минут до 4 часов времени и расходуется от 15 до 57 л/час керосина ТС-1. Оснащенный раструбом УМП - 350, может расходовать меньше топлива, чем без раструба.

**Н.В. Петров, Ф.А. Скрыбкин, А.Н. Матвеев, М.Ю. Прокопьев
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ВПРЫСКА ВОДЫ В ЦИЛИНДР ДВИГАТЕЛЯ НА ЛЕГКОВОМ АВТОМОБИЛЕ
«TOYOTA PROBOX»***Ключевые слова: двигатель, экспериментальный стенд, датчик, форсунка, фильтр.*

В работе рассматривается создание экспериментального стенда на базе автомобиля Toyota Probox с системой впрыска воды в цилиндр двигателя внутреннего сгорания. Показана основная схема и алгоритм подключения шлангов и проводов в системе с автоматическим насосом.

Расход воды для карбюраторного двигателя должен составлять ориентировочно 15% от расхода топлива при

E.S. Kozin, G.A. Sofronov

IMPLEMENTATION OF A MECHATRONIC STEERING SYSTEM FOR A LAND VEHICLE OF HIGH CROSS-COUNTRY ABILITY*Keywords: steering system, remote control, all-terrain vehicle, microcontroller, transport safety, transport and technological vehicles.*

The article discusses the introduction of a prototype of a remote control system into the steering system of the all-terrain vehicle "Pelets". A three-dimensional model of the system being introduced is presented, the principle of its operation is indicated. Considered is the connection diagram of the electronic components of the system, made on the basis of the Arduino microcontroller, as well as the control program code implemented in the Arduino IDE programming environment. The developed system will improve the safety of the transportation process and expand the scope of the specified vehicle.

T.A. Parnikova, A.V. Spiridonov

STUDY OF THE PROBLEM OF BALANCING SHAFTS WHEN REPAIRING ENGINES*Keywords: machine reliability, machine operation, power, periodic control, technical condition.*

Experience in the use of agricultural machinery shows that, applying maintenance and repair tools that do not require large capital investments, it is possible to significantly reduce the downtime of the machine-tractor fleet. With the introduction of new more progressive technological processes into the technique, an increase in the speeds and capacity of technology, as well as the tasks of automatic control and control of the machines, the designs of the machines were radically changed. Along with the mechanical, the machines include hydraulic, and pneumatic, electrical, electronic devices. This article discusses the problems of durability and reliability of machines. The article is devoted to a private matter related to the extensive problem of reliability of the problem of reliability of technology.

**N.V. Petrov, I.I. Dmitriev, F.A. Skrybykin
DEVELOPMENT OF A SPECIAL AUXILIARY
DEVICE FOR UMP-350***Keywords: motor heater, bell, temperature, pressure, test, air. The paper deals with the operation and modification of the unified engine heater UMP - 350. When operating an aircraft at low temperatures, it is necessary to heat it using a special machine UMP - 350.*

For the efficiency of this device at low temperatures, it was decided to develop sockets. According to the test data, in different subzero temperatures, when one aircraft is heated, it takes from 15 minutes to 4 hours and 15 to 57 l / h of TS-1 kerosene is consumed. Equipped with a bell UMP - 350, it will be able to use less fuel than without a bell.

**N.V. Petrov, F.A. Skrybykin, A.N. Matveev, M.Yu. Prokopiev
EXPERIMENTAL STAND FOR WATER INJECTION INTO
ENGINE CYLINDER ON THE PASSENGER CAR
«TOYOTA PROBOX»***Keywords: engine, experimental stand, sensor, nozzle, filter. The work considers the creation of an experimental stand based on the Toyota Probox car with a water injection system into the cylinder of an internal combustion engine. Shows the basic diagram and algorithm for connecting hoses and wires in a system with an automatic pump.*

The water consumption for the carburetor motor should be approximately 15% of the fuel consumption when driving on the highway. To increase the efficiency of water injection, it is

движении по трассе. Для увеличения эффективности впрыска воды рекомендуется изменить угол зажигания до 5° в сторону опережения и отрегулировать подачу топлива в сторону небольшого обеднения, примерно на 10 – 15%.

Н.О. Сапоженков, А.А. Панфилов, В.С. Петров
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ
 ЗИМНИХ ШИПОВАННЫХ ШИН**

Ключевые слова: диагностика шин, шины, коэффициент сцепления.

Применение шипованных шин в зимнее время значительно повышает коэффициент сцепления с дорожным покрытием. Однако в современных условиях неизбежна потеря шипов, что увеличивает износ протектора и снижает сцепные свойства. Чтобы этого не происходило, необходимо своевременно проходить диагностику и обслуживание зимних шин. Многие водители отказываются от этих услуг из-за высоких временных и денежных затрат. Решить данную проблему может стенд для автоматизированного подсчёта шипов.

Л.А. Симонова, Д.Н. Демьянов, А.А. Капитонов
**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО
 РЕСУРСА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ДВС НА ОСНОВЕ
 НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, остаточный ресурс, методика оценки, нечеткий логический вывод, структурная идентификация, параметрическая идентификация.

В работе описана новая методика, позволяющая оценить величину остаточного ресурса основных узлов двигателя внутреннего сгорания. Ее отличительной особенностью является использование методов нечеткой логики для формализации зависимости между величиной остаточного ресурса и значениями диагностических параметров. Применение предлагаемой методики позволяет получить достаточно точные оценки без построения сложных математических моделей процесса износа при значительных шумах и погрешностях измерения.

С.В. Степанова, В.П. Друзьянова, О.М. Осмонов,
 Л.А. Аммосова, Л.Х. Абрамова
**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ
 ТЕПЛИЧНО-ПАРНИКОВОГО ХОЗЯЙСТВА**

Ключевые слова: микроклимат теплицы, автоматизация производственных процессов.

Об эффективности теплиц можно судить, если известны графические зависимости необходимой и избыточной тепловой мощности по месяцам года. Метод математического моделирования основан на изучении явления в моделях, отличающихся по своей физической природе от оригинала, но описываемых идентичными математическими соотношениями. В статье описывается система объекта управления температурным режимом теплицы. Описан характер изменения температурного поля в зависимости от уровня солнечной радиации, температуры наружного воздуха, скорости ветра, относительной влажности воздуха и температуры поверхности почвы в ней, расхода теплоносителя в регистрах обогрева воздуха, конструктивных особенностей системы отопления и факторов.

Ш.Т. Юсупов, В.П. Друзьянова,
 О.М. Осмонов, З.А. Васильева, А.Ю. Никифорова
**ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
 АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, восстановление деталей, оптимизация уровня механизации.

Практика массового внедрения типовой технологии и стандартов подтолкнула их высокую эффективность. Экономическую целесообразность восстановления деталей принято оценивать путём сопоставления стоимости новой

recommended to change the ignition angle up to 5° in the advance direction and adjust the fuel supply towards a slight leanness, by about 10 - 15%.

N.O. Sapozhenkov A.A. Panfilov, V.S. Petrov
**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED DIAGNOSTIC
 TECHNIQUE FOR WINTER STUDDED TIRES**

Keywords: tire diagnostics, tires, spikes, automated counting, coefficient of adhesion.

The use of studded tires in winter significantly increases the coefficient of adhesion to the road surface. However, in modern conditions, the loss of spikes is inevitable, which increases the wear of the tread and reduces the coupling properties. To prevent this from happening, it is necessary to undergo diagnostics and maintenance of winter tires in a timely manner. Many drivers refuse these services due to high time and money costs. A stand for automated counting of spikes can solve this problem.

L.A. Simonova, D.N. Demyanov, A.A. Kapitonov
**METHODOLOGY FOR ESTIMATING OF THE RESIDUAL
 RESOURCE OF THE IC ENGINE MAIN UNITS BASED ON
 FUZZY LOGIC**

Keywords: internal combustion engine, residual resource, estimation methodology, fuzzy inference, structural identification, parametric identification.

The paper describes a new technique that makes it possible to estimate the value of the residual resource of the main units of an IC engine. Its distinctive feature is the use of fuzzy logic methods to formalize the dependency between the value of the residual resource and the values of diagnostic parameters. The application of the proposed technique makes it possible to obtain fairly accurate estimates without constructing complex mathematical models of the wear process with significant noise and measurement errors.

S.V. Stepanova, V.P. Druzhinova, O.M. Osmonov,
 L.A. Ammosova, L.H. Abramova
**AUTOMATION OF THE OPERATION
 OF THE GREENHOUSE AND GREENHOUSE**

Keywords: greenhouse microclimate, automation of production processes.

The effectiveness of greenhouses can be judged if graphic dependencies are known for the necessary and excess thermal power by month of the year. The method of mathematical modeling is based on the study of the phenomenon in models differing in its physical nature from the original, but described by identical mathematical ratios. The article describes the system of thermal regime control object of the greenhouse. The nature of changes in the temperature field is described depending on the level of solar radiation, the outdoor temperature, wind speed, the relative humidity of the air and the temperature of the soil surface in it, the coolant consumption in air heating registers, the design features of the heating and factors.

Sh.T. Yusupov, V.P. Druzhinova,
 O.M. Osmonov, Z.A. Vasilyeva, A.Yu. Nikiforova
**ENGINEERING SUPPORT
 OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

Keywords: agro-industrial complex, restoration of parts, optimization of the mechanization level.

The practice of mass introduction of typical technology and standards confirmed their high efficiency. The economic feasibility of restoring parts is made to evaluate by comparing the cost of the new part and the cost of repair worn. But this

детали и затрат на ремонт изношенной. Но при этом не учитываются разность в сроках службы новой и восстановленной детали и связанные с этим дополнительные затраты. В статье описывается инженерное обеспечение агропромышленного комплекса.

О.В. Бен, Ю.П. Москалева, З.С. Сейдаметова
РЕАЛИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ
ОРГАНИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Ключевые слова: iOS, Swift, Python Django, MVVM.

Рассмотрены теоретические и практические аспекты, связанные с реализацией базы данных приложения для организации и проведения онлайн-мероприятий (конференций). Представлена реализация таблиц в Python Django с помощью классов, который наследуемых от класса Model. Описана настройка сервера под работу в REST API формате через библиотеку `django_rest_framework` и классы-сериализаторы.

does not take into account the difference in the service life of the new and recovered part and the associated additional costs. The article describes the engineering provision of the agro-industrial complex.

O.V. Ben, Y.P. Moskaleva, Z.S. Seidametova
THE IMPLEMENTATION OF DATABASE
FOR VIRTUAL EVENTS APPLICATION

Keywords: iOS, Swift, Python Django, MVVM.

We considered the theoretical and practical aspects related to the implementation of the application database for organizing online events (conferences). We also presented the implementation of the database tables in Python Django using classes that inherit from the model class. It is described the server setup for working in REST API format through the `django_rest_framework` library and serializer classes.

С.С. Емельянова, Н.Н. Ивашенко
ИССЛЕДОВАНИЕ DOCKER В ЧАСТИ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ
ПРИЛОЖЕНИЙ НА УРОВНЕ ОС

Ключевые слова: контейнеризация, виртуализация, docker, контейнер.

В данной работе рассматриваются вопросы использования контейнеров для удобства использования приложений вне зависимости ОС. Детально рассматривается программное обеспечение Docker, его характеристики, возможности, преимущества. Также рассматривается архитектура ПО Docker и процесс работы данного ПО. Кроме того, приводится несколько примеров использования ПО Docker в крупных производственных системах.

S.S. Emelyanova, N.N. Ivaschenko
DOKER STUDY IN CONTAINERING APPLICATIONS
Keywords: containerization, virtualization, docker, container. This paper discusses the use of containers for ease of use of applications regardless of the OS. Docker software, its characteristics, capabilities, advantages are considered in detail. It also discusses the architecture of the Docker software and how it works. In addition, there are several examples of how Docker software is used in complex production systems.

А.И. Кононова, А.В. Городилов, А.В. Гаращенко
УСКОРЕНИЕ РАСЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ OPENMP

Ключевые слова: графы, рост сети, C++, OpenMP, имитационное моделирование.

В статье рассматриваются различные варианты графовой модели роста сети, позволяющие оценить тенденции изменения структуры сети и, соответственно, её характеристик. Описаны используемые структуры данных и алгоритмы. Показан принцип ускорения работы алгоритмов на основе OpenMP.

A.I. Kononova, A.V. Gorodilov, A.V. Garashchenko
ACCELERATING THE CALCULATION OF GRAPH
CHARACTERISTICS USING OPENMP

Keywords: graphs, network growth, C++, OpenMP, simulation.

This paper deals with various variants of the graph model of network growth, which allows us to assess the trends in the network structure and, accordingly, its characteristics. The data structures and algorithms used are described. The principle of acceleration of algorithms based on OpenMP is shown.

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева, В.А. Мясоедова
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОГО
РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ ТУВИНСКОГО АЛФАВИТА

Ключевые слова: системы распознавания символов, малые языки, искусственные нейронные сети, прикладное программное обеспечение, LSTM.

В работе описываются особенности применения нейронных сетей, для построения системы распознавания символов. Приводится обоснование выбора структуры нейронной сети типа LSTM для решения задачи построения модели распознавания символов тувинского алфавита. Производится описание исходного набора данных, для обучения нейронной сети, а также приводится алгоритм генерации дополнительных данных, посредством программной генерации изображений. Дается итоговая оценка эффективности системы распознавания

A.A. Golubnichiy, A.D. Yablontseva, V.A. Myasoedova
DEVELOPMENT OF A SYSTEM
OF OPTICAL RECOGNITION
OF TUVINIAN ALPHABET CHARACTERS

Keywords: character recognition systems, small languages, artificial neural networks, application software, LSTM.

The paper describes the features of the use of neural networks to build a character recognition system. The rationale for choosing the structure of a neural network of the LSTM type for solving the problem of constructing a model for recognizing characters of the Tuvan alphabet is given. A description of the initial data set is made for training a neural network, and an algorithm for generating additional data by means of programmed image generation is given. The final assessment of the efficiency of the recognition system is given.

А.В. Каргузов, Т.В. Каргузова, С.В. Храмов
ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЙ СЕТИ LSTM ДЛЯ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Ключевые слова: нейронные сети, прогнозирование, искусственный интеллект, Python, Pandas.

В статье рассматривается прогнозирование нейронными сетями архитектуры LSTM. Дан краткий материал, содержащий в себе особенности структуры рассматриваемого типа нейронной сети. Представлен пример кода, написанного

A.V. Kartuzov, T.V. Kartuzova, S.V. Khramtsov
LSTM NEURAL NETWORK PROGRAMMING MODEL
FOR TIME SERIES PREDICTION

Keywords: neural networks, forecasting, artificial intelligence, Python, Pandas.

The article discusses the prediction of LSTM architectures by neural networks. A brief material containing the features of the structure of the type of neural network under consideration is presented. An example of code written in Python using the

на языке Python с помощью библиотеки Pandas. Выведены графики для возможности контроля обучения сети и просмотра её прогноза. Сделаны соответствующие выводы по применению созданной программной модели LSTM.

Г.О. Мареев, О.В. Мареев, Е.П. Шершуков
РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ГАПТИК — УСТРОЙСТВА С
ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ ПОДВИЖНОСТИ

Ключевые слова: гапстик-устройство,
математическая модель, прототипирование.

Разработка гапстик-устройств является сложной инженерной задачей. Создание устройства с одной степенью подвижности позволяет пройти процесс разработки с меньшими затратами ресурсов и выделить важные моменты для создания устройств со сложной кинематикой. В данной статье предлагается конструкция одномерного гапстик-устройства, его математическая модель и результат работы прототипа.

Ю.А. Анищенко, Д.В. Рогова,
Д.С. Гляделов, М.А. Рагозина
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: риски, инновационная деятельность,
предприятие, метод корректировки нормы дисконта, Cpp.

Целью исследования является анализ рисков инновационной деятельности предприятия. В статье проводится сравнение методов оценки риска, поиск новых механизмов, решение проблемы управления рисками инновационной деятельности предприятий. Представлены стадии процесса управления рисками.

П.В. Антонова, А.С. Титовцев
ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА
СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СМЕШАННОГО
ТИПА С ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ
ЗАЯВКИ В ОЧЕРЕДИ

Ключевые слова: очередь, нестационарные характеристики,
система массового обслуживания, $M/E_r/1$.

В работе решается задача формализации характеристик нестационарного режима открытой одноканальной системы массового обслуживания смешанного типа, с временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга. Аналитически получены нестационарные характеристики модели, такие как среднее число заявок в очереди и средняя длина очереди.

А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, В.М. Нигметзянова,
Р.Х. Тахавиев, Ш.С. Хуснетдинов, А.М. Фролов
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО РЕЖИМА
ТОРСИОННОЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ

Ключевые слова: автомобиль, подвеска колес, торсион,
природно-климатические условия, кручение, концентрация напряжений.

Работа посвящена решению вопросов проектирования торсионной подвески. Проведён анализ преимуществ и недостатков подвески, установлены причины отказов и неисправностей при воздействии внешних нагрузок. Предложены аналитические зависимости, позволяющие осуществить выбор конструктивных параметров с учётом условий эксплуатации.

А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Р.Р. Биктякова
АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И ОЦЕНКА
ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ключевые слова: ошибки моделирования,
нелинейная модель, натриевая лампа высокого давления.

В нашем исследовании поставлена задача анализа результатов полученных экспериментальных данных нелинейных

Pandas library is presented. Graphs are displayed for the ability to control the training of the network and view its forecast. Relevant conclusions are made on the application of the created LSTM software model.

G.O. Mareev, O.V. Mareev, E.P. Shershukov
DESIGN PROTOTYPE HAPTIC-DEVICE WITH ONE
DEGREE OF FREEDOM

Keyword: haptics, haptics devices,
control system modelling, prototyping.

Haptics-device development is a complex engineering task. Creating a one-degree-of-freedom haptics device is a reasonable first step towards more advanced designs, allowing for getting knowledge about fundamental mathematical models, hardware and software specifics and requirements. The paper presents an overview of 1 DOF haptics-device construction, mathematical model and prototype performance.

Yu.A. Anischenko, D.V. Rogova,
D.S. Glyadelov, M.A. Ragozina
METHODS FOR ASSESSING THE RISKS OF
ENTERPRISE INNOVATION

Keywords: risks, innovation, enterprise,
method of adjusting the discount rate, Cpp.

The aim of the study is to analyze the risks of innovative activities of the enterprise. The article compares the methods of risk assessment, the search for new mechanisms, the solution of the problem of risk management of innovative activities of enterprises. The stages of the risk management process are presented.

P.V. Antonova, A.S. Titovtsev
CHARACTERISTICS OF THE NON-STATIONARY MIXED
TYPE QUEUEING SYSTEMS WITH THE BOUNDED
AVERAGE TIME IN A QUEUE

Keywords: queue, non-stationary characteristics,
queueing systems, $M/E_r/1$.

The article presents the results of a study of the non-stationary mode of an open single-channel queueing system of mixed type, with the service time distributed according to the Erlang law. Non-stationary characteristics of the model, such as the average number of customers in the queue and the average length of the queue, are obtained analytically. When solving the problem of finding the non-stationary characteristics of the model, the methods of queueing theory, the theory of integral and differential equations, methods of mathematical analysis were used.

A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, V.M. Nigmatzyanova,
R.Kh. Takhaviev, Sh.S. Husnetdinov, A.M. Frolov
SIMULATION OF THE OPERATING MODE
OF THE TORSION CAR SUSPENSION

Keywords: car, wheel suspension, torsion bar, climatic
conditions, torsion, stress concentration

The work is devoted to solving the problems of designing a torsion bar suspension. The analysis of the advantages and disadvantages of the suspension is carried out, the causes of failures and malfunctions under the influence of external loads are established. Analytical dependencies are proposed that allow the selection of design parameters, taking into account the operating conditions.

A.V. Volkov, S.N. Ivliev, R.R. Biktyakova
ANALYSIS OF RANDOM PROCESSES AND
ASSESSMENT OF THEIR CHARACTERISTICS

Keywords: modeling errors, nonlinear model,
high pressure sodium lamp.

In our study, we set the task of analyzing the results of the obtained experimental data of nonlinear dynamic models. It

динамических моделей. Также следует отметить, что стационарный, эргодический случайный процесс с заданными статистическими характеристиками можно получить, воздействуя на линейную стационарную систему «белым шумом». Справедливо и обратное утверждение: линейная динамическая модель может являться моделью стационарного эргодического случайного процесса. Контроль такого случайного процесса в ходе анализа получаемых данных позволит своевременно учесть основные важные параметры исследуемого объекта.

А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Т.А. Захватова
АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ

Ключевые слова: идентификация, нелинейная динамическая модель, метод матричных операторов, натриевая лампа высокого давления.

Анализ и обработка экспериментальных данных являются неотъемлемой частью любых научных исследований. Предлагается применение спектральных методов для анализа результатов измерений, полученных в ходе проверки работоспособности натриевой лампы высокого давления. В основе математического аппарата лежит разложение сигналов объекта на ортонормированные функции, что позволяет применить интегральное определение ядра уравнения объекта, которое в простейшем случае линейных одномерных систем совпадает с весовой функцией.

А.Ф. Галимянов, Ф.А. Галимянов, Нгуен Тиен Дык
ВЫЧИСЛЕНИЕ ДРОБНЫХ ИНТЕГРАЛОВ
С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ключевые слова: дробные интегралы, искусственные нейронные сети, нейронные сети с прямой связью, функция активации.

В данной статье мы рассматриваем интегральное число Римана – Лиувилля порядка $0 < \alpha < 1$. Мы вводим метод поиска приближенных решений численных интегралов с использованием нейронных сетей с прямой связью. В конце мы приводим несколько примеров, чтобы проиллюстрировать полученные результаты и сравнить их с точным решением (аналитические) [1].

Д.А. Груздков, А.А. Рачишкин
АЛГОРИТМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ МАШИН ТРЕНИЯ

Ключевые слова: алгоритмизация, микроконтроллерное управление, шаговый двигатель, дискретное управление.

В статье рассматривается способ дискретного микроконтроллерного управления шаговыми двигателями с равномерным ускорением с расчетом параметров управляющего сигнала в реальном времени. Представлен алгоритм и метод расчета задержек между фронтами управляющего сигнала. Разработан алгоритм для динамической генерации управляющего сигнала. Он позволяет изменять режим работы двигателя в реальном времени, регулируя ускорение, замедление и поддержку скорости.

А.А. Дубанов, А.Э. Севээн, А.В. Урбаханов, Б.В. Монгуш
КОРРЕКЦИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ
ПРЕСЛЕДОВАТЕЛЯ ПРИ МЕТОДЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО
СБЛИЖЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ В ПРОСТРАНСТВЕ

Ключевые слова: траектория, угловая скорость, ограничение по кривизне, преследователь, цель, достижение, окружность Аполлония.

В данной статье рассматривается кинематическая модель итерационного расчета траектории преследователя. По материалам статьи составлена математическая модель построения траектории преследователя, сближающегося с целью в пространстве. Скорости преследователя и цели в момент начала итерационного процесса направлены произвольно. Суть представленного метода заключается в

should also be noted that a stationary, ergodic random process with given statistical characteristics can be obtained by acting on a linear stationary system with "white noise". The converse is also true: a linear dynamic model can be a model of a stationary ergodic random process. Controlling such a random process during the analysis of the data obtained will make it possible to timely take into account the main important parameters of the object under study.

A.V. Volkov, S.N. Ivliev, T.A. Zakhvatova
ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA BASED
ON THE METHOD OF MATRIX OPERATORS

Keywords: identification, nonlinear dynamic model, matrix operator method, high pressure sodium lamp.

Analysis and processing of experimental data are an integral part of any scientific research. It is proposed to use spectral methods for analyzing the measurement results obtained in the course of testing the performance of a high-pressure sodium lamp. The mathematical apparatus is based on the decomposition of the object signals into orthonormal functions, which makes it possible to apply the integral definition of the kernel of the object equation, which in the simplest case of linear one-dimensional systems coincides with the weight function.

A.F. Galimyanov, F.A. Galimyanov, N.T. Dik
ВЫЧИСЛЕНИЕ ДРОБНЫХ ИНТЕГРАЛОВ С
ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Keywords: fractional integrals, artificial neural networks, feedforward neural networks, activation function.

In this article, we consider the Riemann - Liouville integral number of $0 < \alpha < 1$ order. We introduce a method for finding approximate solutions to numerical integrals using feedforward neural networks. At the end, we give a few examples to illustrate the results obtained and compare them with the exact solution (analytical) [1].

D.A. Gruzdkov, A.A. Rachishkin
ALGORITHM OF MICROCONTROLLER OPERATION
FOR STEP MOTOR OF FRICTION MACHINES

Keywords: controller algorithm, microcontroller operations, step motor, discrete control.

The article describes discrete microcontroller operations of step motors with steady acceleration and real time calculation of control signal parameters. Developed algorithms allow calculation of the delays between the edges of the control signal, dynamic generation of a control signal and to change the engine's operating mode in real time: acceleration, deceleration and maintenance of the set speed.

A.A. Dubanov, A.E. Seveen, A.V. Urbahanov, B.V. Mongush
CORRECTION OF THE DIRECTION OF MOVEMENT
OF THE PURSUER WITH THE METHOD OF PARALLEL
APPROACH TO THE TARGET IN SPACE

Keywords: trajectory, angular velocity, curvature limitation, pursuer, target, achievement, Apollonia circle.

This article discusses the kinematic model of iterative calculation of the trajectory of the pursuer. Based on the materials of the article, a mathematical model of constructing the trajectory of a pursuer approaching the target in space is compiled. The speeds of the pursuer and the target at the beginning of the iterative process are directed arbitrarily. The essence of the presented method is that the pursuer smoothly

том, что преследователь плавно с допустимой угловой скоростью изменяет направление движения до тех пор, пока оно не будет совмещено с направлением на точку, принадлежащей окружности Аполлония, как в методе параллельного сближения. Допустимая угловая скорость определяется условием, что радиус кривизны траектории преследователя не может быть меньше определенного значения при заданной скорости движения.

changes the direction of movement with an acceptable angular velocity until it is aligned with the direction to a point belonging to the Apollonian circle, as in the parallel approach method. The permissible angular velocity is determined by the condition that the radius of curvature of the pursuer's trajectory cannot be less than a certain value at a given speed of movement.

А.Н. Кожевников

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Ключевые слова: метод конечных элементов, Solid Works, опоры контактной сети, городской общественный транспорт, стержень переменного поперечного сечения.

Представлен подход к моделированию динамического взаимодействия отдельных элементов сложной пространственной системы – контактной сети городского электрифицированного транспорта. Предложено разбиение системы на структурные элементы, описаны подходы к построению расчетных моделей отдельных элементов. Получены значения частот собственных колебаний отдельно стоящих металлических опор контактной сети.

A.N. Kozhevnikov
MODELLING AS APPROACH TO IDENTIFY DYNAMIC CHARACTERISTICS OF PUBLIC TRANSPORT OVERHEAD LINE PYLONS

Keywords: finite element method, Solid Works, contact line pylons, public electrified transport, varied cross section beam. This paper presents the approach to model dynamic interaction of public electrified transport overhead line as complex system distinct units. Decomposition of the system is proposed. Approaches to model distinct unit behavior are presented. The single standing overhead line metal pylon eigenvalues and eigenvectors are obtained and discussed.

А.Н. Кожевников, Т.В. Бурнышева

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРУГОГО БЕТОННОГО ОСНОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Ключевые слова: метод конечных элементов, Solid Works, опоры контактной сети, бетонное основание, частоты и формы собственных колебаний.

Представлен способ учета дополнительных бетонных оснований при решении задачи об определении частот и форм собственных колебаний металлических стержней переменного сечения. Обсуждены вопросы закрепления геометрической модели тел вращения на заданном расстоянии от одного из торцов. Проведен анализ рассчитанных частот собственных колебаний. Показано малое влияние присоединенной массы конструкции бетонного основания на динамические характеристики опоры контактной сети.

A.N. Kozhevnikov, T.V. Burnysheva
OVERHEAD LINE METAL PYLONS CONCRETE FUNDAMENT MODELLING FEATURES

Keywords: finite element method, Solid Works, contact line pylons, concrete fundament, structure eigenvalues and eigenvectors.

This paper presents the approach to take into consideration concrete fundament of the structures during determination of metal beams with varying cross section eigenvalues and eigenvectors. Methodology of the beam geometry model fixation is discussed. Negligibility of detailed concrete fundament modelling as additional mass is proved with respect to structure natural frequencies calculation.

В.Ю. Колесников, И.Н. Сидоров

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КООКСИАЛЬНОГО СО₂-ЛАЗЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: коаксиальный СО₂-лазер, электроразрядная камера, средняя мощность излучения, коэффициента полезного действия, рабочее напряжение.

В статье приведены результаты расчета влияния геометрических параметров электроразрядной камеры коаксиального СО₂-лазера непрерывного действия на его выходные характеристики: среднюю мощность выходного излучения, коэффициент полезного действия лазера при рабочем напряжении.

V.Yu. Kolesnikov, I.N. Sidorov
THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE ELECTRIC DISCHARGE CHAMBER ON THE OUTPUT CHARACTERISTICS OF THE COAXIAL CO₂-LASER OF CONTINUOUS ACTION

Keywords: coaxial CO₂ laser, electric discharge chamber, average radiation power, efficiency, operating voltage.

The article presents the results of calculating the influence of the geometric parameters of the electric discharge chamber of a cw coaxial CO₂ laser on its output characteristics: average output radiation power, laser efficiency at operating voltage.

И.В. Кудрявцева, С.В. Рыков, В.А. Рыков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЖИДКИХ ГИДРОФТОРОЛЕФИНОВ

Ключевые слова: теплопроводность, корреляционные зависимости, хладагенты.

В нашем исследовании на основе математического и компьютерного моделирования предложена новая корреляционная зависимость теплопроводности жидких холодильных агентов, имеющих низкий индекс глобального потепления. На основе статистического анализа установлено, что предложенная корреляционная зависимость позволяет с меньшей неопределенностью рассчитывать и прогнозировать теплоемкость жидких гидрофторолефинов на линии насыщения в широком интервале температур.

I.V. Kudryavtseva, S.V. Rykov, V.A. Rykov
MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL CONDUCTIVITY OF LIQUID HYDROFLUOROLEFINS

Keywords: thermal conductivity, correlation dependences, refrigerants.

In our study, on the basis of mathematical and computer modeling, we have proposed a new correlation dependence of the thermal conductivity of liquid refrigerants with a low global warming index. On the basis of statistical analysis, it was found that the proposed correlation dependence allows calculating and predicting the heat capacity of liquid hydrofluorolefins at the saturation line in a wide temperature range with less uncertainty.

Д.С. Лобарёв, Д.В. Толбухин
 ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ
 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ
 ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ PYTHON В
 ОБЛАЧНОЙ СРЕДЕ GOOGLE COLAB

Ключевые слова: линейно-квадратичная задача, оптимальное управление, принцип максимума Понтрягина, Python, Google Colab.

В статье рассмотрены методы и новые алгоритмы решения дифференциальной линейно-квадратичной задачи управления. Модель объекта управления описывается системой линейных дифференциальных уравнений, а функционал качества, который требуется минимизировать, имеет квадратичный вид. Решается задача поиска оптимального программного управления с использованием принципа максимума Понтрягина. В работе представлен алгоритм поиска решения на языке программирования Python и его библиотек NumPy и SymPy, рассмотрено его действие на конкретном примере. При разработке сервиса, выполняющего вывод результатов работы программы, используется Widgets облачного сервиса Google Colab.

И.С. Некрасов, В.С. Тынченко,
 Я.А. Тынченко, Т.А. Панфилова
 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА
 ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ
 В СИСТЕМЕ ASPEN HYSYS

Ключевые слова: моделирование, модель, гидрокрекинг, установка гидрокрекинга, aspen hysys.

В работе рассматриваются особенности моделирования технологического оборудования с использованием программной среды Aspen HYSYS. В качестве примера рассмотрена установка гидрокрекинга. Детальное внимание уделено построению модели в соответствии с технологической схемой процесса. Также рассмотрены возможности применения и адаптации полученной модели для различных задач.

Е.В. Поезжаева, С.Э. Шаплеина, Д.Н. Кучев
 ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДА УКРЕПЛЕНИЯ
 ПЛОСКИХ КРЫШЕК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АППАРАТОВ
 ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТИПА ХИМИЧЕСКОГО И
 НЕФТЕГАЗОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ключевые слова: плоская крышка, напряжён-деформированное состояние, рёбра жёсткости, компьютерное моделирование, численные методы.

В статье рассматривается проблема укрепления плоских крышек круглого типа. Указаны методы укрепления плоских крышек рёбрами жёсткости. При помощи моделирования напряжён-деформированного состояния аппарата обоснован приемлемый метод укрепления плоской крышки.

А.А. Рачишкин, Д.А. Груздков
 ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
 КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ
 ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование, микронеровность, шероховатая поверхность, контактное взаимодействие.

В статье рассматриваются способы построения моделей по расчету физических экспериментов контактного взаимодействия шероховатых поверхностей. Представлен алгоритм трехмерного моделирования шероховатой поверхности на основе математического описания микронеровностей в виде сегментов эллипсоида вращения. Приведены общие принципы программной архитектуры системы дискретно-событийного моделирования контактного взаимодействия шероховатой поверхности.

А.В. Рязанов, А.А. Добров, Д.В. Доронков,
 А.Н. Пронин, Т.Д. Демкина, М.Ю. Шуваева, А.С. Снегирева
 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ
 ПЕТЛЕВЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОПУСКНОЙ
 КАМЕРЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

D.S. Lobaryov, D.V. Tolbukhin
 SEARCH FOR THE OPTIMAL SOLUTION IN THE
 DIFFERENTIAL LINEAR-QUADRATIC PROBLEM OF
 PYTHON FUNCTIONS IN THE GOOGLE COLAB CLOUD

Keywords: linear-quadratic problem, optimal control, Pontryagin's maximum principle, Python, Google Colab.

Methods and new algorithms for solving a differential linear-quadratic problem of control are studied in the article. The control object model is described with the help of the linear differential equations system, and the quality functional, which should be minimized, has a quadratic form. The problem of seeking the optimal program control is solved by using the principle of Pontryagin's of maximum. The work presents an algorithm for finding a solution in the Python programming language and its libraries NumPy and SymPy, its action is considered on a proper example. When developing the service, displaying the results of the program, the Widgets of the Google Colab cloud service is used.

I.S. Nekrasov, V.S. Tynchenko,
 Ya.A. Tynchenko, T.A. Panfilova
 MODELING OF THE PROCESS OF HYDROCRACKING
 PRODUCING DIESEL FUELS IN THE ASPEN HYSYS
 SYSTEM

Keywords: simulating, model, hydrocracking, hydrocracking unit, aspen hysys.

The paper discusses the features of modeling technological equipment using the Aspen HYSYS software environment. A hydrocracking unit is considered as an example. Detailed attention is paid to the construction of a model in accordance with the process flow diagram. The possibilities of using and adapting the resulting model for various tasks are also considered.

E.V. Poezhaeva, S.E. Shakleina, D.N. Kuchev
 RESEARCH AND SELECTION OF A METHOD FOR
 STRENGTHENING FLAT COVERS WHEN DESIGNING
 CYLINDRICAL-TYPE DEVICES FOR CHEMICAL
 AND OIL AND GAS ENGINEERING

Keywords: flat cover, stress-strain state, stiffening ribs, computer simulation, numerical methods.

The article deals with the problem of reinforcing flat round-type covers. Methods of reinforcing flat covers with stiffeners are indicated. By modeling the stress-strain state of the apparatus, an acceptable method of strengthening the flat cover has been substantiated.

A.A. Rachishkin, D.A. Gruzdkov
 DISCRETE-EVENT SIMULATION OF TECHNICAL
 SURFACES CONTACT

Keywords: discrete-event simulation, microroughness, rough surface, contact.

The article describes methods for creating models of calculating physical experiments on contact interaction of rough surfaces, the algorithm for 3D-modeling of a rough surface is based on a mathematical description of microroughness in the form of revolution ellipsoid segments, and the general principles of the software architecture of the system of discrete-event simulation of the contact of a rough surface.

A.V. Ryazanov, A.A. Dobrov, D.V. Doronkov,
 A.N. Pronin, T.D. Demkina, M. Yu. Shuvaeva, A.S. Snegireva
 INVESTIGATION PROCESSES OF COOLANT
 FLOW MIXING IN THE VESSEL CHAMBER
 OF A NUCLEAR REACTOR

Ключевые слова: теплоноситель, перемешивание потоков, вычислительная гидродинамика, энергетическая установка.

В работе представлены результаты расчетно-экспериментального исследования процесса неизоэнтальпического турбулентного перемешивания потока теплоносителя в модели корпуса ядерного реактора методом теплового следа. В процессе исследований определено пространственное распределение тепловой метки в потоке теплоносителя. Выполнена оценка параметров перемешивания контрастной струи в модели напорного тракта и выявлена возможность повышения теплотехнической надежности современной ЯЭУ.

И.Н. Сидоров, А.В. Горелов, А.И. Энская
ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННОГО
ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ключевые слова: дисперсно армированный полимерный композиционный материал, эффективные компоненты тензора модулей упругости, метод осреднения в периодических средах, задача на ячейке периодичности, метод граничных элементов. В статье представлена математическая модель для определения эффективных компонент тензора модулей упругости дисперсно армированного полимерного композиционного материала на основе метода осреднения в периодических средах. Предложен алгоритм решения задачи на ячейке периодичности для вычисления эффективных механических характеристик этого материала на основе метода граничных элементов.

И.В. Федотова
МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ
НАБЛЮДАТЕЛЕЙ КООРДИНАТ ДЛЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Ключевые слова: адаптивный наблюдатель, наблюдатель MRAS, наблюдатели с эталонной моделью, наблюдатель состояния, синхронный двигатель с постоянными магнитами, асинхронный двигатель. Наблюдатель состояния – это модель, подключенная параллельно к объекту управления и получающая непрерывную информацию об изменениях регулирующего воздействия и регулирующей величины. В основе MRAS наблюдателей (наблюдателей с эталонной моделью) лежат модели электромагнитных процессов асинхронного двигателя. В статье рассматриваются различные методы применения MRAS наблюдателей в таких двигателях как – синхронный двигатель с постоянными магнитами и асинхронный двигатель.

А.А. Шашков, В.А. Атрощенко
ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ
В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Ключевые слова: канальное кодирование, абонентское кодирование, псевдослучайная последовательность. В работе рассмотрены устойчивость канального и абонентского кодирования конфиденциальной информации при деструктивных воздействиях в каналах связи со стороны злоумышленников.

А.А. Шашков, В.А. Атрощенко
СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОБХОДИМЫХ
И ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ
РАЗВЕДАЗАЩИЩЕННОСТИ ПСП
СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Ключевые слова: псевдослучайная последовательность, BCH-коды, PS-сигналы, оптимизированные помехи. В работе приводится структурное моделирование необходимых и достаточных условий обеспечения высокой разведзащищенности ПСП специальных систем связи на основе применения итеративного алгоритма декодирования BCH-кодов.

Keywords: coolant, flow mixing, Computational fluid dynamics, nuclear power unit

The paper presents the results of a comprehensive computational and experimental study of the process of non-isothermal turbulent mixing of the coolant flow in the research loop. During the research, the spatial distribution of the heat mark in the coolant flow was determined. The estimation of the mixing parameters of the contrast jet in the pressure path model is carried out, and the possibility of increasing the thermal engineering reliability of the design of a modern nuclear power plant is revealed.

I.N. Sidorov, A.V. Gorelov, A.I. Enskaya
CALCULATION OF EFFECTIVE MECHANICAL
CHARACTERISTICS OF DISPERSEDLY REINFORCED
POLYMER COMPOSITE MATERIAL BY THE
BOUNDARY ELEMENT METHOD

Keywords: dispersedly reinforced polymer composite material, effective components of the elastic modulus tensor, averaging method in periodic media, problem on the periodicity cell, boundary element method.

The article presents a mathematical model for determining the effective components of the tensor of elastic moduli of a dispersedly reinforced polymer composite material based on the method of averaging in periodic media. An algorithm for solving the problem on a periodicity cell is proposed for calculating the effective mechanical characteristics of this material based on the boundary element method.

I.V. Fedotova
MODELING ADAPTIVE COORDINATE
OBSERVERS FOR AUTOMATED ELECTRIC DRIVE

Keywords: adaptive observer, MRAS observer, reference model observers, state observer, permanent magnet synchronous motor, induction motor.

The state observer is a model connected in parallel to the control object and receiving continuous information about changes in the control action and control value. The MRAS of observers (observers with a reference model) is based on models of the electromagnetic processes of an induction motor. The article discusses various methods of using MRAS observers in motors such as a permanent magnet synchronous motor and an asynchronous motor.

A.A. Shashkov, V.A. Atroshchenko
PROBLEMS OF STABILITY OF FUNCTIONING
OF TRADITIONAL METHODS OF INFORMATION
PROTECTION IN CONDITIONS
OF DESTRUCTIVE INFLUENCES

Keywords: channel coding, subscriber coding, pseudo-random sequence. This paper considers the stability of channel and subscriber coding of confidential information under destructive influences in communication channels by intruders.

A.A. Shashkov, V.A. Atroshchenko
STRUCTURAL MODELLING OF THE NECESSARY
AND SUFFICIENT CONDITIONS FOR ENSURING
THE HIGH INTELLIGENCE OF PSEUDO-CASE
SEQUENCE SPECIAL COMMUNICATIONS SYSTEMS

Keywords: pseudo-case sequence, BHS codes, PS signals, optimized interference. The paper provides structural modelling of the necessary and sufficient conditions for ensuring the high intelligence of special communication systems using an iterative algorithm for decoding BCH codes.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№12 2021

Направления:

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

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

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

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

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

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

www.ntvprt.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 19.12.2021 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 19.12.2021

15,8 усл.печ.л. 19,4 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3850.

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»