

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№6 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. №6 2021г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 194 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;

В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;

В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

А.Г. Замалиев, В.С. Минкин, Г.В. Тертыйный, Р.А. Усманов ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАИМЕНЬШИХ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ – $Z_{\min}$ В ЗУБЧАТЫХ КОЛЕСАХ	10
--	----

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

В.И. Ампилов, С.К. Верещака, И.К. Волков ИНТЕРАКТИВНАЯ СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ПО ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕМУ ПОЛЮ КАБИНЫ И ИНДИКАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	13
Ф.И. Багаутдинов, Д.А. Сергеева, А.А. Тяжелова, Л.М. Сарварова, О.А. Степущенко, А.Н. Пикулев, А.Ф. Аглиуллин ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ РЕФРАКТОМЕТРА НА СМАРТФОНЕ	16
М.А. Бирюков УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ	19
И.Б. Гинзбург, О.Л. Смирнов, А.Ю. Степаненко РЕШЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ERP-СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕБ-КЛИЕНТОВ	22
Т.В. Городжа, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов, Р.И. Нургалиев, А.А. Василец, Р.М. Муратов, А.Ж. Сахабутдинов, А.Ф. Аглиуллин, Э.Ф. Хазиев МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖЕНИИ ПАЦИЕНТА В ЭКЗОСКЕЛЕТЕ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК	25
А.С. Дегина, В.В. Андреев, Ю.И. Аношкин, Н.П. Тарасова РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СОЧЕТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА «НЕЙТРОННЫЙ КОНВЕРТЕР»	28
Р.В. Едунов, Л.В. Синицына РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ	32
Е.Д. Ермоленко, Н.В. Герман, Д.И. Новиков, В.В. Андреев, Н.П. Тарасова ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНОГО МЕТОДА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПУТЕМ ИНЖЕКЦИИ ГАЗА В ПОТОК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	35
Д.А. Запезалов, О.Д. Суминов, М.В. Фролов, А.А. Добров, Ю.И. Аношкин ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА ЗМЕЕВИКОВ МАЛОГО РАДИУСА ГИБА	38
В.Ю. Коньшева, А.В. Шаронов ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ	41
В.А. Курников СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ, НА ЭТАПЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО МАССОВО-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	45
Д.В. Малеев ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ IP-АУДИОКОДЕКА IP LINK ONE	49
Ю.Н. Матвеев, Л.В. Лобачева ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ ЭМИССИОННЫМИ ПОТОКАМИ ОБЪЕКТА ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ	53
Р.И. Нургалиев, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов, Т.В. Городжа, А.А. Василец, Р.М. Муратов, А.Ж. Сахабутдинов, А.Ф. Аглиуллин, Э.Ф. Хазиев АЛГОРИТМ ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХУЗКИХ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ	56

Д.А. Сергеева, А.А. Тяжелова, Г.Х. Ашимова, Л.М. Сарварова, О.Н. Захарова, О.Ю. Веретенина, А.Ф. Аглиуллин ЛИДАР КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА В ВЫДЫХАЕМОМ ВОДИТЕЛЕМ ВОЗДУХЕ НА СМАРТФОНЕ	60
Д.А. Сергеева, А.А. Тяжелова, Г.Х. Ашимова, Л.М. Сарварова, О.Н. Захарова, О.Ю. Веретенина, А.Ф. Аглиуллин, А.Н. Пикулев ОСНОВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАНОБИОСЕНСОРОВ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА	63
Л.Б. Строгонова, Ю.А. Васин, А.Е. Сорокин, А.М. Гунькин, К.П. Сафронова К ВОПРОСУ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ	66
О.Д. Суминов, Д.А. Запевалов, М.В. Фролов, А.А. Добров, Ю.И. Аношкин ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА ЗМЕЕВИКОВ МАЛОГО РАДИУСА ГИБА	70
А.А. Тяжелова, Ф.И. Багаутдинов, Д.А. Сергеева, Л.М. Сарварова, О.А. Степущенко, А.Н. Пикулев, А.Ф. Аглиуллин ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ВИЗУАЛИЗАТОРА ВЕН НА СМАРТФОНЕ	74
М.В. Фролов, Д.А. Запевалов, О.Д. Суминов, В.В. Андреев, Ю.И. Аношкин РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОМУ АНАЛИЗУ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	77
М.Ю. Шрейдер, А.Д. Тарасов, А.М. Осипова, О.В. Антонова АДАПТАЦИЯ ВЕСОВ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ В ГЕНЕТИЧЕСКОМ АЛГОРИТМЕ	80

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

С.С. Акимов, Б.К. Жумашева МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ПОТЕРЬ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КАРТ ПОТОКА СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ	83
А.В. Атишев, А.Б. Мышонков ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОБЩЕСТВЕННОМ ЗДАНИИ ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ	86
И.С. Горячев, В.С. Чернуха, Д.Р. Комиссаров, А.Е. Прокофьев РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ	90
И.С. Можаровский ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ МАССООБМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО ПРОДУКТА ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ	93
С.И. Назаренко, Д.Г. Алленов, О.В. Жедь, В.И. Кравченя ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	96
С.И. Назаренко, Д.Г. Алленов, О.В. Жедь, В.И. Кравченя АНАЛИЗ ВЫГОДЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ НА ПРОИЗВОДСТВО В МИРЕ	99

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

Т.А. Деменкова, К.И. Хохлюшкин АЛГОРИТМ ТЕСТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ВВОДА-ВЫВОДА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ	102
Н.М. Лащик РАСПОЗНАВАНИЕ СЛОВА НА ЯЗЫКЕ ЖЕСТОВ ПО ФОТОГРАФИИ	106

В.А. Тутынин ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД МЕТОДОМ ДЕЛЕНИЯ ДИЗЬЮНКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕДУЩИХ ЛИТЕРАЛОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ	110
---	-----

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

Н.В. Абдуллина, Р.И. Вахитова, Е.Б. Думлер, Д.А. Сарачева, Э.У. Лощакова, И.К. Киямов ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПЛАСТА	113
Н.В. Абдуллина, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, Э.У. Лощакова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	116
С.Д. Абросимов, С.В. Прытков ПРИМЕНЕНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ И ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИЙ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ СУММАРНОГО СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА	120
И.А. Барина, А.М. Грек, В.А. Коротин АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ФИЛАМЕНТНЫХ ЛАМП ОТ ТИПА ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ	123
А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Е.А. Ефремова, А.Л. Судуткина НЕЙРОСЕТЕВАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	127
О.В. Козлова, И.В. Зайченко, С.А. Гордин, К.П. Гаер ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗА	130
С.Ю. Лулева, А.А. Лулева СИНТЕЗ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В ЗАДАЧЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИ НАЛИЧИИ НЕПОЛНЫХ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ ОБЪЕКТА	133
И.Р. Мавлеев, И.И. Салахов, В.В. Румянцев, В.Б. Хлюпин, Р.Р. Басыров, С.В. Дмитриев МЕТОД ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ	137
Д.И. Нуретдинов, Р.М. Галиев, А.Ю. Барыкин, Р.К. Галиев, Р.Ф. Илдарханов, И.Ф. Шайхутдинов МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА АВТОПОЕЗДА ДЛЯ МЕЖДУГОРОДНИХ ПЕРЕВОЗОК	141
Е.А. Петровичева, Э.М. Хасанишина, Н.П. Назарова МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ В МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРУБЧАТЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ АППАРАТАХ	144
С.В. Прытков, М.О. Лапинов ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА КОРРЕЛИРОВАННОЙ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРА ЭТАЛОННОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА ПРИ ОЦЕНКЕ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ	148
С.В. Прытков, Н.М. Посулихин ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОРРЕЛИРОВАННОЙ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ НЕБА	152
К.Э. Рыскин, С.А. Федосин, Н.П. Плотникова, Ю.С. Вечканова ПОСТРОЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНСАМБЛЕЙ	156
Л.С. Сабитов, Л.Ш. Ахтямова, Б.М. Языев, С.Б. Языев, И.К. Киямов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАШНИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ВИДЕ УСЕЧЕННОЙ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ	161
К.М. Соин, А.Н. Федосова РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФАСАДЫ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ	165

О.В. Хвойнов, Д.И. Новиков, А.А. Березин, В.Н. Хохлов РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ 169

П.С. Чурин, М.А. Семенов РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИ ПОДОБНОЙ МОДЕЛИ ВЫСОТНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 173

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

Е.В. Мещерина, О.А. Пихтилькова, А.Н. Благовисная, Л.Б. Усова, Д.У. Шакирова О ГЕНЕРАТОРАХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ МАТРИЦ НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ 176

АННОТАЦИИ 180

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>A.G. Zamaliev, B.S. Minkin, G.V. Tertyshny, R.A. Usmanov</i> FEATURES OF CALCULATING THE SMALLEST NUMBER OF TEETH- $Z_{\min}$ IN GEARS	10
---	----

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

<i>V.I. Ampilov, S.K. Vereschaka, I.K. Volkov</i> INTERACTIVE REFERENCE SYSTEM FOR THE INFORMATION AND CONTROL FIELD OF THE COCKPIT AND INDICATION EQUIPMENT OF THE AIRCRAFT	13
<i>F.I. Bagautdinov, D.A. Sergeeva, A.A. Tyazhelova, L.M. Sarvarova, O.A. Stepushchenko, A.N. Pikulev, A.F. Agliullin</i> REFRACTOMETER INFORMATION PROCESSING ON SMARTPHONE	16
<i>M.A. Biruykov</i> ANALYSIS OF BIOMETRICAL DATA FOR CREATING CONTROL SIGNAL FOR MOVING PLATFORM	19
<i>I.B. Ginzburg, O.L. Smirnov, A.Y. Stepanenko</i> SOLVING LOGISTICS TASKS IN ERP SYSTEMS USING WEB CLIENTS	22
<i>T.V. Gorodzha, R.A. Eshpai, O.G. Morozov, R.I. Nurgaliev, A.A. Vasilets, R.M. Muratov, A.Zh. Sakhabutdinov, A.F. Agliullin, E.F. Khaziev</i> MATHEMATICAL MODEL OF OBTAINING INFORMATION ABOUT THE PATIENT'S MOTION IN THE EXOSKELETON BASED ON LINEAR CHIRPED FIBER BRAGG GRATINGS	25
<i>A.S. Degina, V.V. Andreev, Yu.I. Anoshkin, N.P. Tarasova</i> CALCULATION JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL COMBINATION OF MATERIALS FOR THE EXECUTION OF THE MAIN ELEMENTS OF THE EDUCATIONAL AND RESEARCH COMPLEX «NEUTRON CONVERTER»	28
<i>R.V. Edunov, L.V. Sinitsina</i> DEVELOPMENT OF A METHOD AND CONDUCTING EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFICIENCY OF LED LIGHTING WHEN PERFORMING INDUSTRIAL VISUAL WORKS	32
<i>E.D. Ermolenko, N.V. German, D.I. Novikov, V.V. Andreev, N.P. Tarasova</i> RESEARCH OF THE PASSIVE METHOD OF INTENSIFICATION OF HEAT EXCHANGE BY INJECTING GAS INTO A COOLANT FLOW	35
<i>D.A. Zapevalov, O.D. Suminov, M.V. Frolov, A.A. Dobrov, Y.I. Anoshkin</i> INVESTIGATION OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF A BUNDLE OF SMALL BENDING RADIUS COILS	38
<i>V.Ju. Konysheva, A.V. Sharonov</i> DETERMINATION OF THE MOMENTS OF CHANGE IN THE PARAMETERS OF MATHEMATICAL MODELS OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS	41
<i>V.A. Kurnikov</i> SYNTHESIS OF THE CONTROL SYSTEM OF UNMANNED AIRCRAFT USED FOR FIRE EXTINGUISHING AT THE STAGE OF CHANGE OF ITS MASS AND INERTIA CHARACTERISTICS	45
<i>D.V. Maleev</i> SOFTWARE IMPLEMENTATION OF AUTOMATED TESTING OF IP AUDIO CODEC "IP LINK ONE"	49
<i>U.N. Matveev, L.V. Lobacheva</i> THE MAIN ASPECTS OF WATER EMISSION FLOWS MANAGEMENT OF A SOLID MUNICIPAL WASTE DISPOSAL FACILITY	53
<i>R.I. Nurgaliev, R.A. Eshpai, O.G. Morozov, T.V. Gorodzha, A.A. Vasilets, R.M. Muratov, A. Zh. Sakhabutdinov, A.F. Agliullin, E.F. Khaziev</i> PROBING ALGORITHM FOR SUPERNARROW RESONANCE STRUCTURES IN OPTICAL FIBER	56
<i>D.A. Sergeeva, A.A. Tyazhelova, G.Kh. Ashimova, L.M. Sarvarova, O.N. Zakharova, O.Yu. Veretenina, A.F. Agliullin</i> ETHANOL CONTROL LIDAR IN DRIVER'S BREATHED AIR ON A SMARTPHONE	60

<i>D.A. Sergeeva, A.A. Tyazhelova, G.Kh. Ashimova, L.M. Sarvarova, O.N. Zakharova, O.Yu. Veretenina, A.F. Agliullin, A.N. Pikulev</i> BASIC INFORMATION PARAMETERS OF REFRACTOMETRIC NANOBIOSENSORS	63
<i>L.B. Strogonova, Yu.A. Vasin, A.E. Sorokin, A.M. Gun'kin, K.P. Safronova</i> ON THE ISSUE OF JOINT APPLICATION OF MATHEMATICAL AND TECHNICAL METHODS OF MICROBIOLOGICAL CONTROL IN CONDITIONS OF LONG-TERM SPACE FLIGHTS	66
<i>O.D. Suminov, D.A. Zapevalov, M.V. Frolov A.A. Dobrov, Y.I. Anoshkin</i> INVESTIGATION OF THE THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF A SMALL BEND RADIUS COIL BEAM	70
<i>A.A. Tyazhelova, F.I. Bagautdinov, D.A. Sergeeva, L.M. Sarvarova, O.A. Stepushchenko, A.N. Pikulev, A.F. Agliullin</i> VEINS VISUALIZER INFORMATION PROCESSING ON SMARTPHONE	74
<i>M.V. Frolov, D.A. Zapevalov, O.D. Suminov, V.V. Andreev, Y.I. Anoshkin</i> CALCULATION AND EXPERIMENTAL JUSTIFICATION OF THE POSSIBILITY OF CONDUCTING RESEARCH ON NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS USING COMPUTER MODELING	77
<i>M.Yu. Schrader, A.D. Tarasov, A.M. Osipova, O.V. Antonova</i> TARGET FUNCTIONS WEIGHTS ADAPTING IN GENETIC ALGORITHM	80

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

<i>S.S. Akimov, B.K. Zhumasheva</i> MINIMIZATION OF TIME LOSSES IN PRODUCTION WHEN BUILDING VALUE STREAM MAPS	83
<i>A.V. Atishev, A.B. Myshonkov</i> RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF ENERGY SAVING IN A PUBLIC BUILDING BY AUTOMATING LIGHTING CONTROL	86
<i>I.S. Goryachev, V.S. Chernukha, D.R. Komissarov, A.E. Prokofiev</i> DEVELOPMENT OF A GRAPHIC INTERFACE FOR POWER SYSTEM CONTROL IN THE "CODESYS"	90
<i>I.S. Mozharovskii</i> DESIGN PREDICTIVE MODELS OF MASS-TRANSFER TECHNOLOGICAL PROCESS FOR ESTIMATION QUALITY OF THE BOTTOM PRODUCT OF DISTILLATION COLUMN	93
<i>S.I. Nazarenko, D.G. Allenov, O.V. Zhed, V.I. Kravchenya</i> INDUSTRIAL ROBOTS AND THE ECONOMIC BENEFITS OF THEIR INTRODUCTION IN PRODUCTION IN THE RUSSIAN FEDERATION	96
<i>S.I. Nazarenko, D.G. Allenov, O.V. Zhed, V.I. Kravchenya</i> ANALYSIS OF THE BENEFITS OF INTRODUCING INDUSTRIAL ROBOTS TO PRODUCTION IN THE WORLD	99

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

<i>T.A. Demenkova K.I. Khokhlyushkin</i> TESTING ALGORITHM FOR I / O MODES OF SPECIALIZED DIGITAL DEVICES	102
<i>N.M. Lashchik</i> SIGN LANGUAGE RECOGNITION FROM A PHOTO	106
<i>V.A. Tutynin</i> LOGICAL INFERENCE METHOD BY DISJUNCTS DIVISION WITH LEADING LITERALS IN DISTRIBUTED SYSTEMS	110

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

<i>H.V. Abdulkina, R.I. Vakhitova, E.B. Dumler, D.A. Saracheva, E.U. Loshakova, I.K. Kiyamov</i> INVESTIGATION OF THE PRESSURE REGULATOR IN THE RESERVOIR PRESSURE MAINTENANCE SYSTEM	113
---	-----

<i>N.V. Abdulkina, E.B. Dumler, R.I. Vakhitova, E.U. Loshakova, I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov</i> EXPERIMENTAL STUDYS OF MATRIX FREQUENCY CONVERTER MODEL	116
<i>S.D. Abrosimov, S.V. Prytkov</i> APPLICATION OF LINEAR LINEAR AND TRIGONOMETRIC INTERPOLATION FOR APPROXIMATION OF THE TOTAL LIGHT DISTRIBUTION OF ANY ORIENTED LIGHT SOURCES	120
<i>I.A. Barinova, A.M. Grek, V.A. Korotin</i> ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE CHARACTERISTICS OF LED FILAMENT LAMPS ON THE TYPE OF SWITCHING POWER SUPPLIES	123
<i>A.V. Volkov, S.N. Ivliev, E.A. Efremova, A.L. Sudutkina</i> NEURAL NETWORK PARAMETRIC CHARACTERISTICS OF NONLINEAR DYNAMIC MODELS	127
<i>O.V. Kozlova, I.V. Zaychenko, S.A. Gordin, K.P. Gaer</i> APPLICATION OF MULTI- FACTOR CORRELATION ANALYSIS TO FORECAST GAS CONSUMPTION	130
<i>S.Yu. Luneva, A.A. Luneva</i> FUZZY CONTROLLER SYNTHESIS IN UNDERWATER VEHICLE STABILIZATION PROBLEM WITH INCOMPLETE STATE INFORMATION	133
<i>I.R. Mavleev, I.I. Salakhov, V.V. Rummyantsev, V.B. Khlyupin, R.R. Basyrov, S.V. Dmitriev</i> METHOD OF TRACTION-DYNAMIC CALCULATION OF VEHICLES WITH POWER PLANT	137
<i>D.I. Nuretdinov, R.M. Galiev, A.Yu. Barykin, R.K. Galiev, R.F. Ildarkhanov, I.F. Shajhutdinov</i> MATHEMATICAL MODEL OF ROAD TRAIN SELECTION FOR INTERCITY TRANSPORTATION	141
<i>E.A. Petrovicheva, E.M. Khasanshina, N.P. Nazarova</i> METHODS OF NUMERICAL SOLUTION OF HYDRODYNAMIC PROBLEMS IN THE STUDY OF PROCESSES IN SMALL-SIZED TUBULAR TURBULENT APPARATUSES	144
<i>S.V. Prytkov M.O. Lapshov</i> CHOOSING THE OPTIMAL CALCULATION METHOD CORRELATED COLOR TEMPERATURE FOR DETERMINING THE SPECTRUM OF A REFERENCE LIGHT SOURCE WHEN EVALUATING COLOR RENDITION	148
<i>S.V. Prytkov N.M. Posulihin</i> INVESTIGATION OF THE ERROR OF CALCULATION METHODS CORRELATED COLOR TEMPERATURE ON THE SKY COLOR DISTRIBUTION	152
<i>K.E. Ryskin, S.A. Fedosin, N.P. Plotnikova, Yu.S. Vechkanova</i> CONSTRUCTING A HIERARCHICAL CLASSIFIER USING ENSEMBLES	156
<i>L.S. Sabitov, L.Sh. Akhtyamova, B.M. Yaziev, S.B. Yaziev, I.K. Kyamov</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE TOWER OF A WIND POWER PLANT IN THE FORM OF A TRUNCATED CONICAL SHELL	161
<i>K.M. Soin, A.N. Fedosova</i> NUMERICAL AND EXPERIMENTAL MODELING OF WIND IMPACT ON THE FACADES OF AN UNIQUE BUILDONG	165
<i>O.V. Khvoinov, D.I. Novikov, A.A. Berezin, V.N. Khokhlov</i> DEVELOPMENT OF A PROGRAM CODE FOR NUMERICAL SIMULATION OF GAMMA RADIATION TRANSFER	169
<i>P.S. Churin, M.A. Semenov</i> DEVELOPMENT AND CREATION OF A DYNAMICALLY SIMILAR MODEL OF A HIGH-RISE STRUCTURE FOR A NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF WIND IMPACT	173

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

<i>E.V. Meshcherina, O.A. Pikhtilkova, A.N. Blagovisnaya, L.B. Usova, D.U. Shakirova</i> ON GENERATORS OF SEQUENCES OF MATRICES OVER A FINITE FIELD	176
--	-----

ABSTRACTS	180
-----------	-----

05.13.06

¹А.Г. Замалиев, ²В.С. Минкин д-р хим. наук, ¹Г.В. Тertyшный, ¹Р.А. Усманов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,

¹факультет энергомашиностроения и технологического оборудования,

кафедра машиноведения,

²факультет наноматериалов и нанотехнологий,

кафедра физики,

Казань, yerus@yandex.ru, zaman.50@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАИМЕНЬШИХ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ – $Z_{\min}$ В ЗУБЧАТЫХ КОЛЕСАХ

Рассмотрены методы определения $Z_{\min}$. Установлены параметры, влияющие на его величину. Найдены поправочные коэффициенты к расчетным формулам.

Ключевые слова: зубчатое колесо, наименьшее число зубьев, метод копирования, метод огибания.

При проектировании зубчатых колес возникает потребность определения наименьших чисел зубьев – $Z_{\min}$. Это вызвано необходимостью выполнения следующих требований:

1. Компактность передачи;
2. Экономия металла;
3. Снижение стоимости производства;
4. Корректировка величины передаточного числа – $U_{1/2}$;
5. Работоспособность зубчатой передачи.

Существуют аналитические и графо-аналитические методы определения $Z_{\min}$, а условия их определения зависят от методов обработки зубчатых колес. Если при нарезании зубьев методом копирования основным условием является отсутствие заклинивания зубьев в процессе зацепления, которое возникает из-за пересечения траекторий активных профилей зубьев (явление интерференции профилей), то при обработке методом огибания – отсутствие подрезания ножки зуба малого колеса, снижающее объемную прочность зубьев. Это наблюдается в тех случаях, когда рабочий участок линии зацепления выходит за пределы теоретической линии зацепления N_1N_2 , в результате чего не выполняется требование основной теоремы зацепления. Это может привести к тому, что при нарезании зубьев методом огибания режущий инструмент сам может удалить участок ножки зуба, мешающий правильному зацеплению.

Если даны передаточное число – $U_{1/2}$, угол зацепления – α и модуль зацепления – m , то $Z_{\min}$ можно определить графически в зависимости от метода обработки (Рис.1), когда не происходит касание зубьев за пределами отрезка N_1N_2 .

При обработке зубьев методом копирования (рис.1а) диаметр начальной окружности малого колеса d_1 принимается произвольно, а диаметр большого колеса определяется через передаточное число:

$$d_2 = U_{1/2} \cdot d_1$$

Вначале строят окружности диаметрами d_1 и d_2 и через точку Р их касания проводят линию зацепления LM, составляющую угол зацепления α с прямой $PE \perp O_1O_2$. Затем из центра O_1 на LM опускают перпендикуляр O_1N_1 , а из центра O_2 проводят окружность радиусом O_2N_1 . Тогда

$$Z_{\min}^{\text{копир}} = \frac{d_1}{m'},$$

где m' - временный модуль зацепления, зависящий от высоты головки зуба h_a , величина которого измеряется непосредственно из чертежа.

При обработке долбяком (рис. 1b) сначала при известных модулях зацепления m и числе зубьев долбяка Z_g определяют диаметры начальной окружности и окружности вершин зубьев долбяка по формулам.

$$d_g = m \cdot Z_g,$$

$$d_{ag} = d_g + 2 \cdot h_{ag},$$

где h_{ag} – высота головки зуба долбяка и принимается равной высоте ножки зубьев h_f обрабатываемого колеса. Затем чертят эти окружности и из полюса зацепления P проводят прямую LM под углом α к линии $PE \perp PO_g$. Далее, в точке N_1 пересечения окружности диаметром d_{ag} с линией LM восстанавливают перпендикуляр O_1N_1 до пересечения с продолжением прямой PO_g . Полученная точка O_1 является центром обрабатываемого колеса, а O_1P – радиусом его начальной окружности.

При обработке гребенкой (рис. 1c) проводят начальную прямую 2, прямую вершин 1 и прямую впадин 3 зубьев гребенки. При этом $h_{arp} = h_{frp} = h_f$. На начальной прямой выбирают точку P и проводят прямую, перпендикулярную к этим прямым, а также линию LM под углом α к начальной прямой. Затем из точки N_1 восстанавливают перпендикуляр до пересечения с горизонтальной линией. Тогда, точка O_1 будет являться центром, а O_1P – радиусом начальной окружности колеса. При этом Z_{min} для обоих вариантов метода огибания определяется по формуле

$$Z_{min} = \frac{2 \cdot O_1P}{m},$$

где отрезок O_1P измеряется из рисунка.

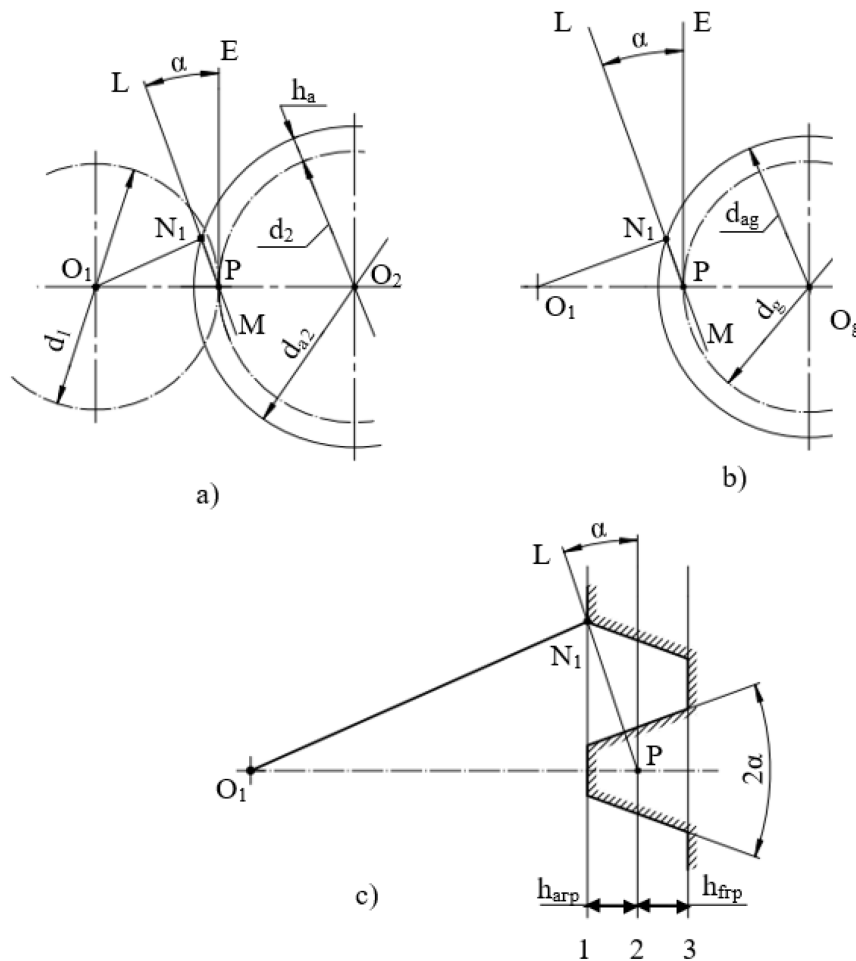


Рис.1 – Графические методы определения Z_{min} .

а – метод копирования, б – метод огибания долбяком, с – метод огибания гребенкой.

Методика и последовательность определения $Z_{\min}$ при обработке червячной фрезой не отличается от методики определения при обработке гребенкой или инструментальной рейкой, т.к. профиль червячной фрезы может быть получен из рейки, путем перемещения рейки по винтовой линии с некоторым постоянным углом подъема (около 5°).

При использовании аналитических методов по определению $Z_{\min}$ внешнего зацепления авторами [1] [2] была предложена зависимость:

$$Z_{\min} = 2K_3 \cdot \frac{U_{1/2} + \sqrt{U_{1/2} + (2U_{1/2} + 1) \cdot \sin^2 \alpha}}{(2U_{1/2} + 1) \cdot \sin^2 \alpha}, \quad (1)$$

где K_3 – коэффициент высоты зуба, при этом для нормальных зубьев $K_3=1$, а для укороченных $K_3=0,8$.

Формула (1) справедлива для определения $Z_{\min}$ при обработке методом копирования и ее можно представить в виде:

$$Z_{\min} = K_3 \cdot Z_{\text{условн}},$$

где $Z_{\text{условн}}$ – условное число зубьев. При $\alpha=20^\circ$ и $U_{1/2}=1$ $Z_{\text{условн}} = 12,32$.

Установлено, что при обработке методом огибания $Z_{\min}$ не зависит от передаточного числа, а зависит от способа нарезания зубьев – долбяком или гребенкой. Тогда для данного метода обработки можем записать:

$$Z_{\min} = K_3 \cdot K_{\text{обр}} \cdot Z_{\text{условн}} \text{ или} \\ Z_{\min} = 12,32 \cdot K_3 \cdot K_{\text{обр}},$$

где $K_{\text{обр}}$ – коэффициент, учитывающий способ нарезания зубьев.

Обработка результатов, полученных графическими построениями при различных условиях, позволила определить численные значения поправочных коэффициентов $K_{\text{обр}}$ при обработке методом огибания – при обработке долбяком $K_{\text{обр}}^{\text{долб}} = 1,25$ и при обработке гребенкой $K_{\text{обр}}^{\text{греб}} = 1,75$, а также сделать следующие выводы:

1. При укороченных зубьях $Z_{\min}$ будет меньше, чем при нормальных;
2. С увеличением угла зацепления α $Z_{\min}$ уменьшается, но при этом уменьшится и коэффициент перекрытия.

Список литературы

1. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин: учебник для вузов/ И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. *Фролов К.В.* Теория механизмов и машин: учебник для вузов/ К.В. Фролов [и др.]. Под ред. К.В. Фролова. – М.: высшая школа, 1987. – 496 с.
3. *Баранов Г.Г.* Курс теории механизмов и машин: учебное пособие/ Г.Г. Баранов. – М.: машиностроение, 1975. – 508 с.
4. *Вербовский Г.Г.* – Теория механизмов и машин: учебное пособие/ Г.Г. Вербовский. – Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1968. – 276 с.
5. *Иванов В.А.* Краткий курс теории и механизмов машин: учебное пособие/ В.А. Иванов, А.Г. Замалиев. – Казань: Изд-во Казан, гос. технол. ун-та, 2009. – 160 с.
6. *Шитиков Б.В.* Основы теории механизмов: учебное пособие, выпуск IV/ Б.В. Шитиков. – Казань: Издательство Казан. хим. – технол. ин-та, 1971. – 85 с.

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

05.13.01

В.И. Ампилов, С.К. Верещака, И.К. Волков

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

**ИНТЕРАКТИВНАЯ СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА
ПО ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕМУ ПОЛЮ КАБИНЫ И
ИНДИКАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

В работе рассмотрена новая интерактивная справочная система по информационно-управляющему полю кабины и индикационному обеспечению летательного аппарата. Актуальность создания системы обусловлена модернизацией интерактивной автоматизированной системы обучения и улучшением качества обучения авиационного персонала. Система состоит из интерактивной части в виде работающих тумблеров, активного индикационного оборудования и справочной информации к ним.

Ключевые слова: *летательный аппарат, автоматизированная система обучения, летный состав, инженерно-технический состав, интерактивная справочная система, индикационное оборудование.*

Развитие авиастроения предопределяет совершенствование технологий подготовки квалифицированных кадров летного и инженерно-технического составов, что является трудоемкой и дорогостоящей работой. В связи с этим возникает проблема обучения и поддержания высокого профессионального уровня лётного и инженерно-технического составов эффективными методами и средствами. Эффективность обучения оценивается с точки зрения качества полученных знаний, времени, затраченного на обучение, стоимости одного часа учебного времени.

С каждым годом технологии становятся все сложнее, и конкуренция между авиационными компаниями постоянно растет, вследствие чего каждая компания стремится создать или модернизировать свои собственные автоматизированные системы обучения (АСО).

На современном этапе развития средств обучения [1] речь идет о разработке и внедрении в обучение интерактивной автоматизированной системы обучения (ИАСО), которая обеспечивает получение лётным и инженерно-техническим составом необходимых теоретических знаний и приобретения первоначальных практических навыков по эксплуатации летательного аппарата (ЛА) с одновременной оценкой уровня знаний, навыков и умений.

Для реализации задачи приобретения первоначальных практических навыков и умений эксплуатации самолёта в составе комплекса ИАСО используется процедурный тренажёр в виде действующего макета кабины самолета с рабочим местом инструктора и вспомогательным рабочим местом обучаемого [2].

В ИАСО входит учебный компьютерный класс (УКК) и процедурный тренажер (ПТ).

УКК, в свою очередь, включает в себя систему группового обучения (СГО), а также систему индивидуального обучения лётного и инженерно-технического составов (СИО ЛС, СИО ИТС).

На сегодняшний день автоматизированные системы обучения вышли на новый уровень и используются повсеместно. Однако для решения проблемы качественного обучения авиационных составов, обслуживающих и эксплуатирующих самолёт, недостаточно создания нового способа обучения, необходима постоянная модернизация данных систем.

Цель исследования – модернизация интерактивной автоматизированной системы обучения с использованием современных технологий за счёт создания программно-аппаратной среды обучения специалистов. Для этого были изучены существующие системы и способы обучения, их достоинства и недостатки. В результате анализа выяснилось, что в одних системах недостаёт интерактивности, а в других – теоретического материала. Поэтому необходимо создание такой системы, которая будет обладать и теоретическим материалом, находящимся всегда под рукой, и элементами практики, а именно способностью опробовать кабину и все составляющие в ней.

Поставленная цель определяет следующие задачи: разработка интерактивной индикации и разработка интерактивной кабины. Таким образом, было решено разработать интерактивную справочную систему по информационно-управляющему полю кабины и индикационному обеспечению ЛА.

Разработка интерактивной кабины происходила в несколько этапов:

1. Создание фотографий кабины самолёта. Все тумблеры запечатлены в нескольких положениях.
2. Редактирование полученных фотографий с помощью графического редактора Adobe Photoshop. Были убраны все переключатели, а также недочёты и неровности.
3. Склейка фотографий в одно панорамное фото.
4. Реализация эффекта объемной кабины с помощью инструментов среды разработки Unity. На сферу была наложена панорамная фотография кабины ЛА.
5. Создание трёхмерных моделей тумблеров, переключателей и кнопок с помощью программного обеспечения для 3D-моделирования, анимации и визуализации.
6. Объединение трёхмерных моделей тумблеров, переключателей и кнопок с созданной кабиной в Unity.
7. Написание скриптов для реализации переключения тумблеров, переключателей и кнопок в кабине самолёта, сопровождающееся справочной информацией.

Разработка индикации включала следующие этапы:

1. Отрисовка каждого отдельного элемента индикации в векторной графике в формате SVG, с помощью векторного редактора Adobe Illustrator.
2. Сборка в Unity отрисованных элементов индикации в единые кадры, соответствующие индикационным приборам. Расположение элементов индикации выставлялись в соответствии с документацией.
3. Выставление цвета индикационного элемента в соответствии с документацией.
4. Написание скриптов для выделения каждого индикационного объекта (элемента) в индикационном оборудовании, вывода вспомогательной справочной информации, переключение различных режимов в индикационном оборудовании и т.д.

Таким образом, два разработанных модуля были объединены в одну систему.

Разработанная система является частью ИАСО и представляет собой кабину ЛА, в которой летчик получает те или иные знания о внутренних составляющих. Поскольку кабина является интерактивной, можно изучить логику работы тумблеров, переключателей, кнопок и логику работы индикационного оборудования, а именно: назначение в зависимости от положения, последовательность включения, необходимость активации в зависимости от ситуации. Изменение «состояния» кабины (изменение положения тумблеров, кнопок и т.д.) непосредственно связано с отображением на индикационном оборудовании.

Данная система используется на начальных этапах обучения лётного и инженерно-технических персонала, а также на этапах их переподготовки, является частью системы группового и системы индивидуального обучения, присутствует в следующих учебных циклах:

1. Логика работы всех элементов кабины. В этом цикле обучающийся узнает о положениях, которые может принимать любой переключатель в кабине, о свойствах каждого из них, а также изучает индикационные элементы всех панелей взаимосвязь с переключателями и последствия их изменения, отображённые на дисплеях.

2. Предполётная подготовка. Цикл, во время которого лётный и инженерно-технический персонал отрабатывает последовательность действий перед полётом, а также изучает и анализирует визуальное отображение тех или иных показателей индикационного и прочего приборного оборудования.

3. Взлёт, посадка боевой машины. Цикл изучения, анализа и отработки пилотом действий в кабине при взлёте и посадке.

4. Боевой режим. Изучение боевого режима, переключение на любой тип вооружения, логика работы индикатора коллиматорного широкоформатного (ИКШ) и многофункционального индикатора (МФИ).

5. Особые случаи в полёте (чрезвычайные и внештатные ситуации). Изучение отработки действий при внештатной ситуации (разгерметизация кабины, сбой при выпуске шасси и т.д.).

В ходе обучения, любое переключение, нажатие или любая другая активация элементов информационно-управляющего поля кабины ЛА сопровождается справочной информацией, что позволяет проходить обучение на практике с моментальным полным доступом к теоретической информации. Данный способ обучения считается более эффективным, т.к. обучаемый (лётчик) получает одновременно визуальное представление о содержимом кабины и сразу же подкрепляет это представление теоретической информацией.

Разработанная система продемонстрировала хорошие результаты. Она интерактивна, имеет быстрый доступ к справочной информации, а также удобный интерфейс. Система интегрирована в ИАСО и может быть использована на практике как отдельный комплекс. В дальнейшем планируется внедрение новых модулей, а также внедрение системы в виртуальную кабину ЛА. В свою очередь виртуальная кабина в будущем может стать подсистемой полностью воспроизведенной машины в виртуальной реальности, что позволит в полной мере и с полным погружением обучать авиационный персонал.

Список литературы

1. Бродский А.В., Гинзбург И.Б., Столярчук В.А. Эволюция способов дистанционного обучения // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020 – №11. – С. 24-26.
2. Пономаренко А.В., Василец В.М., Михайлов В.В. и др. Интеллектуальные интерактивные учебно-тренировочные комплексы. -М.: Воен-издат, 2006. – 255 с.
3. Unity User Manual (2019.4 LTS) [Электронный ресурс] // Unity Real-Time Development Platform. 3D, 2D VR & AR Engine. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>

05.13.01

**Ф.И. Багаутдинов, Д.А. Сергеева, А.А. Тяжелова,
Л.М. Сарварова, О.А. Степущенко, А.Н. Пикулев, А.Ф. Аглиуллин**

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

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ РЕФРАКТОМЕТРА НА СМАРТФОНЕ

В работе представлены результаты разработки радиофотонного рефрактометра на основе линейно-чирпированной волоконной брэгговской решетки (ЛЧВБР) с двумя фазовыми π -сдвигами (2π -ЛЧВБР), комплексированного со смартфоном для спасателей МЧС. На примере такого рефрактометра показано, что реализация измерений может осуществляться не по сдвигу длины волны решетки, а по величине фазового сдвига и соответствующему коэффициенту пропускания окна прозрачности. Обсуждены вопросы программно-аппаратного сбора и обработки информации на базе смартфона.

Ключевые слова: качество питьевой воды; рефрактометр; амплитудный анализ; чрезвычайная ситуация; индивидуальные средства спасателя МЧС; смартфон.

Введение. Индивидуальные средства контроля качества воды на базе смартфона предназначены для спасателей и могут быстро встраиваться в смартфоны жителей для индивидуального контроля воды из аварийных емкостей и других временных источников снабжения питьевой водой в экстремальных ситуациях.

В 2013 году был опубликован патент [1] на портативный оптический рефрактометр работающий в связке со смартфоном. На призму с высоким показателем преломления наносится исследуемый образец, который прижимается стеклом, для создания ровного слоя исследуемого образца. Падающий естественный свет, проходя через вещество и призму, преломляется под достаточно большим углом. Далее, через систему оптических линз, свет попадает на отражающую призму, которая отражает свет в окуляр. Окуляр направляет свет на матрицу смартфона. На смартфоне специальное приложение обрабатывает сигнал и выводит результат.

В 2019 году исследователями из Тайланда была опубликована статья [2], описывающая портативный оптический рефрактометр, работающий на базе смартфона. В качестве источника света используется экран смартфона, свет с него собирается в цилиндрический элемент, но грань, на которую падает свет с экрана плоская. Далее свет падает на предметное стекло, которое контактирует с исследуемым веществом в проточной ячейке. Через проточную ячейку протекает исследуемая жидкость. Свет, отразившись от границы предметное стекло – исследуемая жидкость, фокусируется двумя собирающими линзами и отклоняется на фронтальную камеру под углом 60° . Авторы описали дифференциальный рефрактометр с критическим углом на платформе смартфона. Система имеет разрешение сопоставимое со стандартным рефрактометром. Данный рефрактометр способен измерять содержание сахара в фруктовых соках с погрешностью менее 0,21 по шкале Брикса. Устройство совместимо с любым смартфоном с фронтальной камерой. Это создает возможность его использования в качестве простого и надежного рефрактометра.

В 2015 году впервые был построен рефрактометр на датчике с возбуждением поверхностного плазмонного резонанса без объемных элементов [3].

Задачей данной работы является разработка радиофотонного рефрактометра на основе линейно-чирпированной волоконной брэгговской решетки (ЛЧВБР) с двумя фазовыми π -сдвигами (2π -ЛЧВБР), комплексированного со смартфоном для спасателей МЧС.

Принцип действия рефрактометра. На рис. 1,а представлена схематически структура ЛЧВБР с двумя фазовыми π -сдвигами [4], а на рис. 1,б ее модельная спектральная характеристика для различных величин второго фазового сдвига.

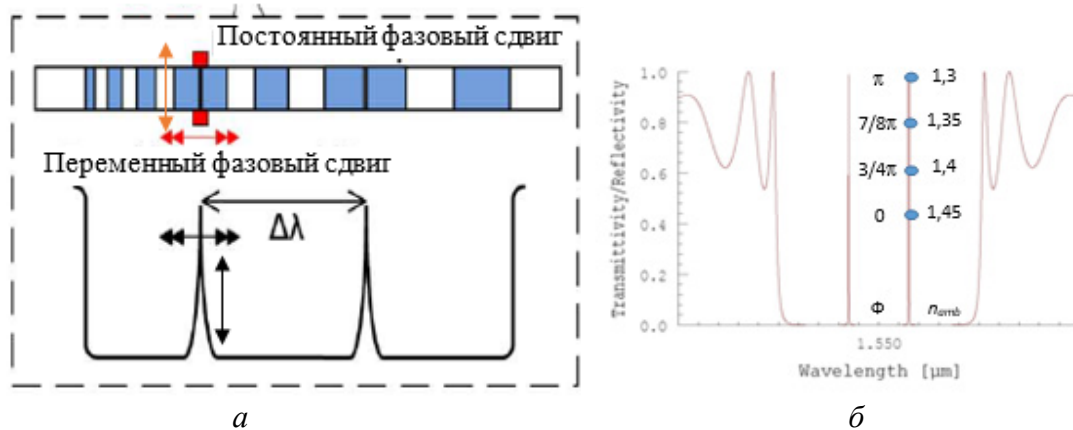


Рис. 1 – Структура (а) ЛЧВБР с двумя фазовыми сдвигами и изменение фазовой величины при изменении показателя преломления воды (б)

Мы изготовили 2π -ЛЧВБР, используя стандартную технику фазовой маски. Причем решетка записывалась с помощью различных однородных масок и представляла собой набор из нескольких последовательных решеток [5]. Запись проводилась 50 мВт аргоновым лазером с удвоенной частотой 244 нм, сфокусированным через цилиндрическую линзу. Волокно с фазовым сдвигом в области «длинных» волн было выжжено излучением мощного ИК-лазера. Частотное расстояние между фазовыми сдвигами составило 10,15 ГГц. Полоса пропускания окон прозрачности составила около 100 МГц. Для 2π -ЛЧВБР в зоне переменного фазового сдвига наиболее существенной является зависимость сдвига $\Delta\lambda_{PS2}$ его центральной длины волны λ_{PS2} от изменения коэффициента преломления окружающей среды Δn_{amb} [6,7]. Однако в этом случае необходимо построение спектрометра. Оригинальность решения заключается в том, другой изменяемой величиной может являться величина фазового сдвига в зоне выжига, которая также зависит от n_{amb} :

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda_{PS2}} (n_{eff} - n_{effamb}), \quad (1)$$

где n_{effamb} – эффективный коэффициент преломления ЛЧВБР в зоне выжига с оболочкой, замененной исследуемой средой с n_{amb} . В этом случае меняется коэффициент пропускания второго окна прозрачности, как показано на рис. 1,б. Следует заметить, что данные изменения не оказывают никакого влияния на составляющую, образованную первым окном прозрачности. Поэтому такой датчик может быть комплексированным: по первому окну прозрачности может измеряться температура, по второму – температура и показатель преломления окружающей среды. Поскольку одна составляющая имеет постоянные значения, а вторая модулирована и по амплитуде, и по фазе, данная задача не является тривиальной. Если считать, изменение длины волны переменного фазового сдвига очень малым по сравнению с разном частот между его положением и положением постоянного фазового сдвига, то огибающая биений будет выглядеть как:

$$U(t) = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\Omega t + \Omega_0)} \times \cos \left[\left(\omega_2 - \frac{1 + \frac{A_1}{A_2} \cos(\Omega t + \Omega_0)}{1 + 2\frac{A_1}{A_2} \cos(\Omega t + \Omega_0) + \frac{A_1^2}{A_2^2}} \right) t + \phi_2 - \arctan \left(\frac{\sin(\phi_1 - \phi_2)}{\frac{A_1}{A_2} + \cos(\phi_1 - \phi_2)} \right) \right], \quad (2)$$

где A_i , ϕ_i – амплитуда и фаза излучения, прошедшего через окна прозрачности, $i=1,2$; Ω – разностная частота между окнами прозрачности; ω_2 – оптическая частота второго окна прозрачности. В случае малых разносов частот окон необходимо ввести слагаемое $\omega_2(n_{amb})$.

Подобная обработка оптической информации в радиодиапазоне позволяет достичь высокой точности и разрешающей способности измерений. Проведенные оценки показали возможность детектирования изменений коэффициента преломления с разрешающей способностью до $1,5 \times 10^{-6}$ RIU. Программное обеспечение, написанное для смартфона, позволяет обрабатывать и отображать информацию с рефрактометра.

Конструкция. Источником излучения может служить светодиод смартфона СД, приемником – фотодиод, встроенный и комплексированный через АЦП и микро-USB модуль со смартфоном. Основное преимущество такого решения – отсутствие оптических дифракционных элементов. Примерная схема показана на рис. 2.

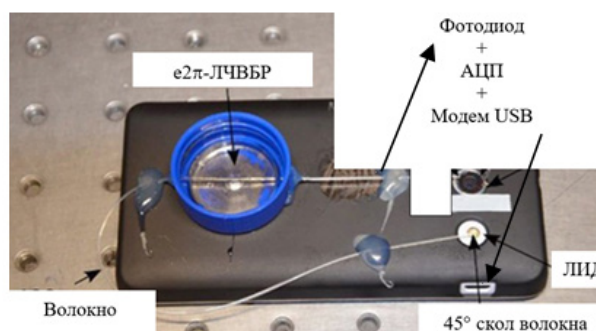


Рис. 2 – Волоконно-оптический рефрактометр на смартфоне

Приведенная конструкция является эскизной и может быть выполнена на интегральной элементной базе как чехол смартфона.

Заключение. Учитывая изложенные данные можно сделать вывод о высокой перспективности применения данного рефрактометра при контроле качества воды и других жидких продуктов спасателями МЧС и населением в чрезвычайных и различных бытовых ситуациях.

Список литературы

1. Парк Дж. Патент Республики Корея KR101695418B1. Переносной аналоговый интерферометр с встроенным протоколом Интернета-вещей. 2015.05.28.
2. Amloy S., Preechaburana P. Smartphone-Based Critical Angle Refractometer for Real-Time Monitoring of Brix Value // IEEE Photonics Technology Letters. 2019. V. 31. №. 4. P. 307-310.
3. Рефрактометр на смартфоне. URL: dostup1.ru/society/Smartfon-sdelaet-test-na-beremennost_76814.html (Дата доступа 29.05.2021 г.)
4. Салихова М.А. и др. Радиофотонная система сбора информации о положении пациента в инвалидной коляске на основе адресных линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток с двумя фазовыми π -сдвигами // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 5. С. 34-37.
5. Tosi D. Review of chirped fiber Bragg grating (CFBG) fiber-optic sensors and their applications // Sensors. 2018. V. 18. P. 2147.
6. Морозов О.Г., Степущенко О.А., Садыков И.Р. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток Брэгга с фазовым сдвигом // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 3 (10). С. 3-13.
7. Куприянов В.Г. и др. Волоконно-оптические технологии в распределенных системах экологического мониторинга // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4-4. С. 1087-1091.

05.13.01

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

УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В работе представлены результаты исследования специфики анализа биометрических показателей пользователя с ограниченными возможностями. Результаты подразумевает использовать в качестве базиса при формировании управляющих воздействий для подвижной платформы. При этом подвижная платформа обладает возможностями удаленного контроля с помощью периферийных устройств пользователя.

Ключевые слова: *робототехнические системы, удалённое управление, анализ состояния пользователя.*

Снятие биометрических данных происходит по средствам датчиков таких как акселерометр. Принцип работы акселерометров основан на измерении смещения инерционной массы относительно корпуса и преобразовании его в пропорциональный электрический сигнал. Емкостной метод преобразования измеренного перемещения является наиболее точным и надежным, поэтому емкостные акселерометры получили широкое распространение. Структура емкостного акселерометра состоит из различных пластин, одни из которых являются стационарными, а другие свободно перемещаются внутри корпуса. Между пластинами образуется конденсатор, величина емкости которого зависит от расстояния между пластинами. Под влиянием силы ускорения емкость конденсатора меняется [1].

Современные интегральные датчики производятся на кристалле кремния по технологии iMEMS (integrated Micro Electro Mechanical System). Структура датчика представляет собой кремниевую подложку, на которой расположен чип датчики и схема усиления сигнала [2,3]. Основными параметрами акселерометра являются:

1. Масштабный коэффициент - коэффициент пропорциональности для линейной зависимости между измеряемым кажущимся ускорением и выходным сигналом (электрическим сигналом, частотой колебаний (для струнного акселерометра) или цифровым кодом).
2. Рабочий диапазон частот.
3. Пороговая чувствительность (разрешение) - величина минимального изменения кажущегося ускорения, которое способен определить прибор.
4. Смещение нуля - разность между показаниями прибора и проекцией гравитационного ускорения на ось чувствительности при нулевом кажущемся ускорении.
5. Случайное блуждание - среднеквадратичное отклонение от смещения нуля.
6. Нелинейность - отклонение зависимости между выходным сигналом и кажущимся ускорением от линейной при изменении кажущегося ускорения.

В нашем случае это MMA 7361, который определяет положение руки в трёхмерном пространстве и передаёт информацию контроллеру в виде координат. Принцип действия акселерометра MMA7361 основан на изменении ёмкости трех микромашинных конденсаторов, реализованных на единой пластине кремния, каждый из которых отвечает за одно из направлений – X, Y и Z. В результате воздействия ускорения на подвижные обкладки конденсаторов, изменяется величина емкости, которая затем преобразуется в напряжение. Далее сигналы в каждом из трёх каналов усиливаются, проходят через фильтры низких частот и каскады температурной компенсации и поступают на соответствующие выходы X, Y и Z. Точка среза фильтра низких частот и корректировка смещения нуля

при $g = 0$ реализованы с помощью лазерной подгонки номиналов элементов заводом, имеют фиксированное значение и не требуют компонентов внешней обвязки. Реализованный спящий режим делает изделие MMA7361 идеальным для применения в проектах с батарейным питанием [1,4].

Также дополнительный функционал обеспечивают кнопки, сигнал которых обрабатывается в отдельном блоке. Данный блок отслеживает активность той или иной кнопки далее информация передаётся контроллеру. На данном этапе мы можем столкнуться с таким явление как «дребезг кнопки». Так как основе работы любой кнопки лежит механический способ смыкания-размыкания контактов. Нажимая на любую, даже самую простую тактовую кнопку, мы формируем определенное давление на внутренние механизмы (пластины или пружины), в результате чего происходит сближение или расхождение металлических пластин. В момент нажатия на кнопку в месте соединения контакты не соприкасаются мгновенно, микро-неровности на поверхности не позволяют пластинам мгновенно соединиться. Из-за этого в короткий промежуток времени на границе пластинок меняется и сопротивление, и взаимная емкость, из-за чего возникают масса разнообразных изменений уровня тока и напряжения. Другими словами, возникают процессы, которые в электротехнике называют переходными. Есть два способа устранения данной проблемы программная и аппаратная[4].

Для начала рассмотрим аппаратный способ устранения дребезга. Он основан на использовании сглаживающих фильтров. Сглаживающий фильтр, как следует из названия, занимается сглаживанием всплесков сигналов за счет добавления в схему элементов, имеющих своеобразную “инерцию” по отношению к таким электрическим параметрам как ток или напряжение. Самым распространенным примером таких “инерционных” электронных компонентов является конденсатор. Он может “поглощать” все резкие пики, медленно накапливая и отдавая энергию, точно так же, как это делает пружина в амортизаторах.

Пример простого фильтра на базе RC-цепочки

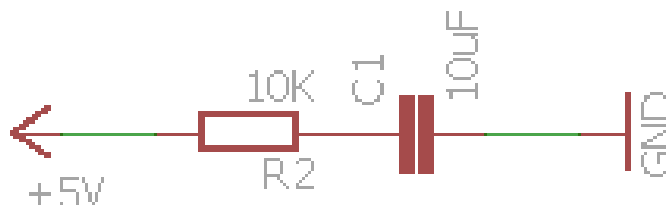


Рис. 1 – Простейший фильтр

Схема подключение фильтра для устранения дребезга:

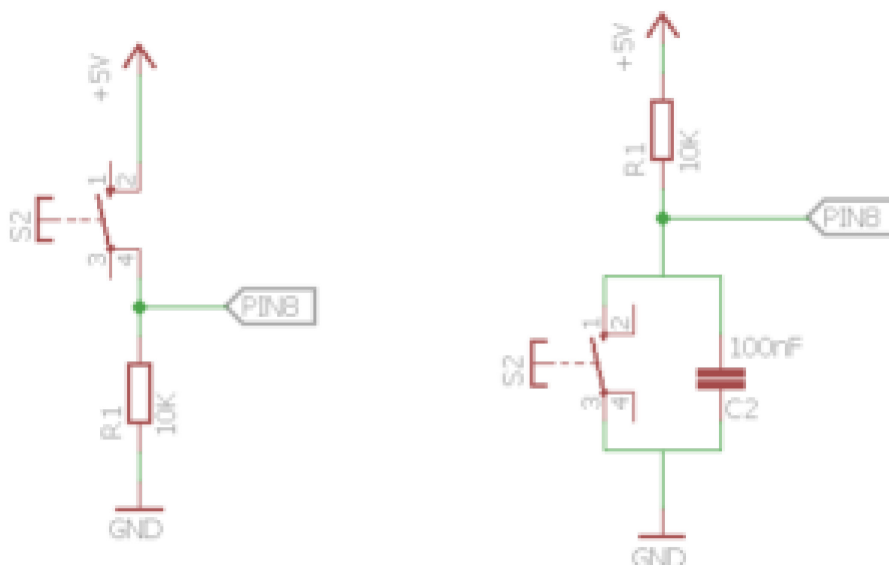


Рис. 2 – Схема подключения фильтр

05.13.01

**И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, О.Л. Смирнов д-р техн. наук,
А.Ю. Степаненко канд. техн. наук**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru, smirnov@iasnet.ru, ste@inmas.ru

РЕШЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ERP-СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕБ-КЛИЕНТОВ

В статье рассмотрено использование ERP-систем в логистике и проблемы их применения мобильными пользователями. В качестве решения предлагается использование автономных отказоустойчивых веб-приложений. Использование таких веб-приложений позволит расширить зону комфортного эргономичного взаимодействия мобильного оператора-логиста с ERP-системой при решении различных задач, не требующих ввода больших объемов данных.

Ключевые слова: логистика, ERP-система, веб-клиент, планирование потребности в материалах, материально-техническое снабжение, производство.

Современные компании, занятые в сферах материального производства и предоставления услуг, сталкиваются с необходимостью решения целого спектра логистических задач, сопровождающих хозяйственные процессы этих компаний. Залогом успешного решения таких задач служат, в том числе, средства автоматизации, способные обеспечить одно из основных требований к логистике: операции должны регистрироваться там, где они производятся, и тогда, когда они производятся. Это нужно для обеспечения актуальности используемых данных и корректного выполнения хозяйственных логистических операций. Сквозная цепочка логистических процессов: получение заказа клиента; последующая проверка доступности нужного материала; планирование потребности в закупаемых и собственных материалах, необходимых для изготовления заказанной продукции; формирование производственных и закупочных заказов; регистрация движения материалов в цикле заготовок и производства – выполняется успешно лишь при соблюдении вышеназванного требования.

В качестве инструмента автоматизации логистических процессов в настоящее время широко используются автоматизированные системы планирования ресурсов предприятия – ERP-системы. Функциональные возможности современных ERP-систем в области логистики включают такие разделы (модули), как: планирование потребностей в материалах, сбыт, материально-техническое снабжение, производство, техническое обслуживание и ремонт оборудования, управление складами и запасами. Модули планирования потребностей в материалах полнофункциональных ERP-систем реализуют полный спектр методов планирования [1]: от так называемого детерминированного метода до группы стохастических методов. Это позволяет охватывать весь спектр обращающихся в компании основных производственных материалов и вспомогательных материалов. Модуль материально-технического снабжения и модуль сбыта структурно схожи: центральный логистический объект в каждом из модулей – заказ (закупочный или сбытовой), в логистике реализуется основной бизнес-процесс (закупка или сбыт), а также ведутся основные данные, включающие, в том числе, справочники контрагентов (поставщиков и/или клиентов) с опорой на организационную структуру (отделы/департаменты закупок или сбыта). Однако каждым из модулей решается свой отдельный спектр логистических задач. В модуле поддержки производственных процессов в качестве центрального логистического объекта

используется производственный заказ. Вокруг жизненного цикла производственного заказа выстраиваются хозяйственные процессы логистики производства. Вышеупомянутые объекты могут создаваться в ERP-системе вручную или в результате выполнения автоматизированной процедуры, например, планирования потребности в материалах, где входными данными может служить план сбыта или производственная программа (то есть, так называемая первичная потребность), а в качестве выходных данных будут выступать заказы на закупку сырья и заказы на производство собственных полуфабрикатов и готовой продукции, созданные автоматически.

Спектр решаемых логистических задач весьма широк. Независимо от типа создаваемого логистического объекта или конкретной регистрируемой операции, метод взаимодействия пользователя с ERP-системой в каждом случае один и тот же: пользователи осуществляют вход и последующую работу в системе с помощью специализированного клиентского приложения. Взаимодействие пользователя с ERP-системой реализуется в рамках архитектуры «клиент-сервер» с использованием соответствующего клиентского приложения. Эти клиентские приложения обычно требуют установки и настройки для работы в рамках конкретной конфигурации ERP-системы и определенного рабочего процесса на предприятии.

Клиентские приложения имеют определенные системные требования, которые тем выше, чем больше сервисных функций необходимо задействовать на клиентском устройстве. Также предъявляются требования к эргономике организации рабочего пространства пользователя. В качестве клиентских устройств предпочтительно использовать стационарные ПК с большими экранами для наилучшего отображения информации, например, в насыщенных данными отчетных формах, что сокращает мобильность операторов ERP-системы, привязывая их к стационарному рабочему месту.

Из-за этого возникают ограничения спектра решаемых логистических задач: мобильный персонал, например, на больших складских комплексах, не должен быть привязан к стационарному рабочему месту.

Для оперативного учета списаний и поступлений единиц хранения (материалов – в терминах ERP-систем) требуется высокая мобильность оператора ERP-системы. Это требование распространяется на кладовщиков; ремонтный, обслуживающий и производственный персонал, использующий запасные части и инструменты из подотчетной номенклатуры; мерчендайзеров, экспедиторов, курьеров, операторов массовой погрузки-разгрузки; работников стивидорных служб; плановиков материальных потребностей; специалистов по закупкам; и др. Для данных задач характерен небольшой объем данных, циркулирующих между клиентом и сервером, а также использование терминалов сбора данных для считывания штриховых и QR-кодов.

Для обеспечения высокой мобильности клиента с одновременным использованием ERP-системы необходимо, чтобы терминальное устройство ERP-системы было достаточно компактным, обладало высокой автономностью и возможностями беспроводной связи. Для того, чтобы обеспечить такими устройствами сотрудников, которым это требуется, при большом числе сотрудников на предприятии, необходимо, чтобы данные устройства были достаточно дешевыми, но одновременно они должны соответствовать системным требованиям, предъявляемым к клиентскому программному обеспечению (ПО) ERP-системы. Такими устройствами могут стать персональные мобильные устройства (смартфоны, планшеты) пользователей – сотрудников предприятия. Однако не все персональные мобильные устройства позволяют установить нативное клиентское ПО ERP-системы из-за ограничений по типу операционной системы (Android, iOS и др.) и номеру ее версии. Данное ограничение можно обойти при использовании веб-клиентов, функционирующих в среде стандартного веб-браузера с поддержкой HTML5. Наличие веб-интерфейса позволяет:

использовать произвольные стационарные и мобильные клиентские устройства для работы с ERP-системой вне стационарных рабочих мест;

обеспечить работу с ERP-системой с использованием устройств с различным размером экрана и подавать их пользователям кастомизированные упрощенные формы для обеспечения наилучшего восприятия с небольшого экрана мобильного устройства благодаря адаптивному веб-интерфейсу;

обеспечить быструю замену клиентского устройства при выходе из строя или разряде его батареи;

обеспечить быстрое добавление новых пользователей в систему без необходимости установки и настройки клиентского ПО.

Применение автономных отказоустойчивых веб-приложений [2] позволяет пользователям мобильных устройств работать в условиях нестабильного или полностью отсутствующего соединения с сервером ERP-системы. Продолжительность автономной работы веб-клиента ограничена лишь необходимостью ERP-системы оперативно регистрировать происходящие фактические изменения. Использование веб-клиентов позволяет реализовать информационное обеспечение рабочих процессов [3, 4], подразумевающих высокую мобильность персонала, с одновременным снижением стоимости эксплуатации информационной инфраструктуры и повышением интенсивности выполнения целевых рабочих процессов (материально-технического снабжения, технического обслуживания и ремонта оборудования, организации складских операций хранения и движения материалов, погрузки-разгрузки, транспортировки, комплекса сбытовых задач, сервисного клиентского обслуживания и др.).

Список литературы

1. *Степаненко А.Ю.* Логистика снабжения: методы расчета потребностей в материалах // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 11. – С. 255-257.
2. *Гинзбург И.Б.* Состав и архитектура взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения для распределенных систем информационной поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №6. – С. 130–133.
3. *Гинзбург И.Б.* Концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №5. – С. 159–161.
4. *Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Концепция систем дистанционного мониторинга процессов производства и испытаний аэрокосмической техники на основе многошлюзовой беспроводной сенсорной сети с автономным веб-приложением // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №4. – С. 58–61.

05.13.01

**Т.В. Городжа, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов, Р.И. Нургалиев, А.А. Василец,
Р.М. Муратов, А.Ж. Сахабутдинов, А.Ф. Аглиуллин, Э.Ф. Хазиев**

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖЕНИИ ПАЦИЕНТА В ЭКЗОСКЕЛЕТЕ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Для решения задачи управления экзоскелетом используются три датчика давления, установленные в определенных точках стопы, с целью определения ее нормальных реакций, которые обеспечивают расчет устойчивого движения экзоскелета по ровной поверхности. В статье предложено использовать для сенсорной части системы датчики давления на основе линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток (ЛЧВБР). Применение таких решеток позволит как увеличить точность контроля положения пациента по изменению давления, оказываемого им на определенные контрольные точки стопы, так и снизить стоимость системы опроса датчиков, которая ограничивает применение классических волоконных брэгговских решеток (ВБР) в медицинской практике.

Ключевые слова: экзоскелет; стопа; датчики давления; линейно-чирпированная волоконная брэгговская решетка; ЛЧМ-зондирование; математическая модель радиофотонного опроса датчиков.

Введение. К одному из эффективных способов реабилитации больных с повреждением опорно-двигательного аппарата относят применение индивидуальных экзоскелетов (ЭС), позволяющих поддерживать сложные виды движения пациентов: вертикализацию, приседание, ходьбу и т. д. Разработанные кинематическая и динамическая модели движения экзоскелета позволяют сформировать желаемое движение и разработать сенсорную систему как источник информации для обеспечения требуемых динамических характеристик ЭС с учетом состояния человека [1].

Преимущества технологии применения датчиков на основе ВБР по сравнению с их электронными аналогами включают возможность мультиплексирования нескольких датчиков в одном оптическом волокне, невосприимчивость к электромагнитным помехам, возможность использования без применения электрического питания, что делает их безусловно применимыми в медицинской практике [2]. Как нами показано в [3, 4] для реализации в датчиках давления этих принципов можно использовать ЛЧВБР с записью фазового сдвига, например, по центру решеток, или ЛЧВБР с двумя фазовыми сдвигами, опрос которых реализуется с помощью радиофотонных методов и существенно дешевле, чем для классических ВБР.

В данной работе предлагается использовать для построения сенсорной части системы простые, более дешевые в записи ЛЧВБР без фазовых сдвигов и разновидность радиофотонного метода опроса – ЛЧМ зондирование [5].

Система контроля давления на основе ЛЧВБР без фазовых сдвигов. Отражение излучения, модулированного по ЛЧМ-закону (1), от четырех ЛЧВБР приводит к формированию четырех отраженных ЛЧМ сигналов: одного опорного (2) и трех измерительных (3) с различной амплитудой $E_1(t)$, $E_i(t)$ и задержкой τ_{i-1} во времени (4),

которые далее через циркулятор поступают на фотодетектор (ФД). На выходе ФД генерируются три микроволновых главных сигнала биений (5) с частотами (6), пропорциональными разнице во времени задержки между четырьмя отраженными сигналами, которая меняется от своего начального значения при сдвиге центральной длины волны секций под воздействием давления. Система уравнений для описания процесса зондирования датчиков представлена ниже:

$$\omega_{\text{ЛЧМ}}(t) = \omega_0 - \alpha t; \quad (1)$$

$$E_1(t) = A_1 \exp \left[j \left(\omega_0 t + (1/2) \alpha t^2 + \varphi_0 \right) \right]; \quad (2)$$

$$E_i(t) = A_i \exp \left[j \left(\omega_0 (t - \tau_{i-1}) + (1/2) \alpha (t - \tau_{i-1})^2 + \varphi_0 \right) \right]; \quad (3)$$

$$\omega_i(t) = \omega_0 + \alpha(t - \tau_{i-1}), \quad i = 2, 3, 4, \quad \tau_{i-1} = 2nL_{i-1}/c; \quad (4)$$

$$I(t, \tau_{i-1}) = \Re \left| E_1(t) + \sum_i E_i(t - \tau_{i-1}) \right|^2 = \\ = \Re \left[I_1 + \sum_i I_i + 2 \sum_i \sqrt{I_1 I_i} \cos(\alpha \tau_{i-1} t + \omega_0 t - (1/2) \alpha \tau_{i-1}) \right]; \quad (5)$$

$$f_{b(i-1)} = \alpha \tau_{i-1} / 2\pi, \quad (6)$$

где α – скорость изменения зондирующего ЛЧМ излучения.

Таким образом получены три частоты, положение которых определяется положением датчиков в контрольных точках стопы. Рассмотрим их изменение при воздействии на них давления пациента. ЛЧВБР вставленные в силиконовые капсулы растягиваются приобретают сдвиг центральной длины волны. Известно, что сдвиг длины волны Брэгга в зависимости от величины приложенной деформации к ЛЧВБР можно выразить как [6]:

$$\Delta\lambda = \lambda_0 (1 - P_e) \Delta\varepsilon, \quad (7)$$

где $\Delta\lambda$ – сдвиг длины волны, вызванный деформацией растяжения, P_e – эффективная упруго-оптическая постоянная, равная 0,22 при 1550 нм, λ_0 – начальная длина волны при ненагруженном состоянии ЛЧВБР, а $\Delta\varepsilon$ – деформация, вызванная приложенным давлением.

Для ЛЧВБР со скоростью чирпа C_{chirp} (нм/см), усредненной по секциям N , можно переписать (7) и получить связь между временной задержкой $\Delta\tau$, вызванной сдвигом λ_0 в силу приложенной деформации:

$$\Delta\tau = 2n\lambda_0 (1 - P_e) \Delta\varepsilon / c C_{\text{chirp}}, \quad (8)$$

и частотой биений между λ_0 опорной ЛЧВБР и смещенным положением λ_0 , измерительной ЛЧВБР с величиной приложенной деформации:

$$\Delta f_{b(i-1)} = \alpha n \lambda_0 (1 - P_e) \Delta\varepsilon / \pi c C_{\text{chirp}}, \quad (9)$$

Путем измерения с помощью электронного векторного анализатора спектра (ЭВАС) сдвига частоты сигнала биений от измерительной ЛЧВБР (6) с учетом изменений, вызванных изменением временной задержки в силу изменения давления (9) можно определить величину приложенной деформации $\Delta\varepsilon$ и соответствующего ей давления с каким пациент опирается на контрольные точки стопы. На рис. 1 представлена зависимость сдвига центральной длины волны датчиков, при равномерном воздействии давления для любой секции ЛЧВБР.

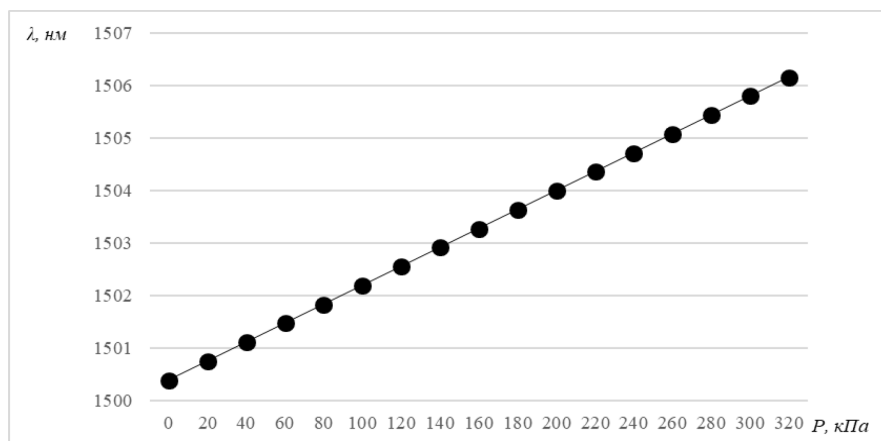


Рис. 1 – Зависимость центральной длины волны любого из трех измерительных датчиков при равномерном приложении давления

Коэффициент преобразования давления в продольную деформацию у датчика должна учитывать, что при полном давлении, оказываемом человеком на него в 300-350 кПа отклик ФД будет лежать в терагерцовой области. В реальной ситуации при шаге человека с носка на пятку изменение давления должно составлять ± 20 кПа, что по частоте сигнала биений составляет около 100 ГГц, а сам ФД может быть реализован на стандартном ФД телекоммуникационного ресивера 40-400 Г.

Заключение. В работе представлены результаты проектирования системы сбора информации, предназначенной для управления устойчивым движением ЭС. Дополнительным к описанным выше преимуществам системы является тот факт, что схема мало чувствительна к температуре, в силу относительно близкого расположения ЛЧВБР друг к другу.

Детализированное рассмотрение других сценариев движения для контроля нормальных и деформированных реакций или с плавающей стопой для системы требуется большее количество датчиков, чем рассмотрено в статье (до шести-восьми). Представленная трехсенсорная система может быть развита для применения контроля положения и для этих сценариев. Это несомненно усложнит систему и приведет к появлению множественных перекрестных частот биений в связи с уменьшением расстояний между ЛЧВБР. Однако выполненная разработка может быть взята за базу для дальнейших исследований и применена на пример, для контроля положения человека на ортопедическом матрасе [7] с еще большим количеством датчиков.

Список литературы

1. Яцун С.Ф., Яцун А.С., Корневский Н.А. Опыт проектирования реабилитационных экзоскелетов // Медицинская техника. 2017. №3. С. 48.
2. Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.
3. Салихова М.А. и др. Радиофотонная система сбора информации о положении пациента в инвалидной коляске на основе адресных линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток с двумя фазовыми π -сдвигами // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 5. С. 34-37.
4. Салихова М.А. и др. Система сбора информации о положении пациента в инвалидной коляске на основе линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток с фазовым π -сдвигом // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 5. С. 30-33.
5. Wang Y. et al. Interrogation of a linearly chirped fiber Bragg grating sensor with high resolution using a linearly chirped optical waveform // Opt. Lett. 2015. V. 40(21). P. 4923-4926.
6. Tosi D. Review of chirped fiber Bragg grating (CFBG) fiber-optic sensors and their applications // Sensors. 2018. V. 18. P. 2147.
7. Han P. et al. Low-cost plastic optical fiber sensor embedded in mattress for sleep performance monitoring // Optical Fiber Technology. 2021. V. 64. P. 102541.

05.13.01

А.С. Дегина, В.В. Андреев, Ю.И. Аношкин, Н.П. Тарасова

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова,
кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»,
Нижний Новгород, anyu.25.08@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СОЧЕТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА «НЕЙТРОННЫЙ КОНВЕРТЕР»

В работе проведено расчетное обоснование материального исполнения элементов конструкции учебно-исследовательского комплекса «Нейтронный конвертер» из сочетаний различных материалов с источниками быстрых нейтронов (ИБН-6). Рассчитаны необходимые параметры, обеспечивающие безопасность при работе с комплексом. Из всех вариантов выявлены наиболее эффективные, выгодные и перспективные по экономическим и массогабаритным параметрам.

Ключевые слова: *поток нейтронов, нейтроны, материалы, биологическая защита, замедление нейтронов.*

В рамках индустриального партнерства между АО «ОКБМ Африкантов» и НГТУ им. Р. Е. Алексеева разработан и реализован проект нейтронного конвертера («Тепловой колонны») – учебно-исследовательского комплекса для выполнения научно-исследовательских работ, связанных с нейтронно-физическими измерениями [1].

Учебно-исследовательский комплекс «Нейтронный конвертер» представляет собой устройство для конвертирования потока быстрых нейтронов, излучаемых изотопными источниками, в «стандартизованное» значение плотности потока с известными параметрами плотности потока нейтронов в объеме центральной части изделия, которая является рабочей полостью нейтронного конвертера [1].

Конвертирование потока нейтронов в тепловую область спектра происходит за счет ослабления быстрых нейтронов в результате замедления при рассеянии на ядрах элементов [2]. Поэтому проектирование конструкции нейтронного конвертера включало в себя 2 основные задачи: расчет биологической защиты (БЗ), материалы которой должны были обеспечивать допустимый уровень ионизирующего излучения для оператора, работающего с конвертером, и замедлителя, который должен обеспечивать перевод нейтронов от источника в тепловой спектр.

Основной целью проектирования БЗ было обеспечение допустимых уровней излучения при приемлемых размерах конвертера, а для замедлителя – получение наибольшего потока нейтронов в рабочей части конвертера при наименьших массогабаритных показателях.

Был составлен список возможных вариантов исполнения конвертера (таблица 1), в общей сложности 13 вариантов сочетания материалов для источников ИБН-6.

Для расчета плотности потока нейтронов в рабочей области конвертера и уровней излучения за биологической защитой были использованы программы DOTGeom [3] и DOT III [4]. Для этого в DOTGeom [3] была создана модель, представляющая собой часть вертикального сечения колонны в направлении от источника к периферии колонны в R-Z геометрии. В этой модели с помощью DOT III [4] была найдена мощность дозы нейтронного и гамма излучения на поверхности установки.

При расчете каждого варианта были найдены комбинации материалов и их толщин, которые обеспечивали максимально допустимый уровень мощности дозы излучения на поверхности конвертера при минимальных габаритах. Результаты расчетов приведены на рисунке 1.

При проектировании замедлителя нейтронного конвертера с использованием источника ИБН-6 наиболее предпочтительными будут варианты с использованием в качестве основного материала замедлителя водородосодержащих материалов таких, как полиэтилен, вода и парафин. Это объясняется большим содержанием атомов водорода в данных материалах, что обеспечивает более частые упругие столкновения нейтронов с ними, и уменьшение энергии нейтронов. Как следствие, толщина слоев замедлителя в вариантах, использующих в качестве замедлителя парафин, воду или полиэтилен, - 4,5,7-9 и 13 меньше альтернативных вариантов, а плотность потока тепловых нейтронов – больше.

Таблица 1 – Исходные и расчетные данные вариантов

Исходные данные			Расчетные данные			
№ варианта	Первый материал защиты и замедлителя	Второй материал защиты и замедлителя	Суммарный поток нейтронов в центре конвертера, ($n/cm^2 \cdot c$)	Диаметр конвертера (см)	Масса конвертера (кг)	Стоимость материалов (тыс. руб)
1	Бетон	Графит	303	138	3734	26
2	Гидрид титана	Гидрид титана	16	90	2252	10911
3	Графит	Гидрид титана	78	211	7729	397
4	Бетон	Полиэтилен	618	103	1033	83
5	Графит	Парафин	594	115,8	1046	73
6	Парафин	Парафин	347	100,3	2940	73
7	Бетон	Вода	804	106,8	989	18
8	Парафин	Свинец	567	99	826	83
9	Графит	Полиэтилен	573	102	1024	107
10	Вазелин	Графит	78	160	2506	211
11	Вода	Графит	423	114,6	1116	16
12	Сыпучая смесь	Графит	195	168,5	4533	49
13	Вазелин	Полиэтилен	627	106	894	96

Использование в качестве замедлителя только воды, т.е. без использования слоев из других материалов, (вариант 11) менее эффективно, чем использование комплексной замедляющей среды с использованием воды (вариант 7), т.к. при схожих толщинах замедлителя значение максимальной плотности потока тепловых нейтронов в рабочей области нейтронного конвертера меньше ~2 раза

Наихудшими материалами для использования в качестве замедлителя являются графит и гидрид титана (варианты 2,3,10). При использовании в качестве замедлителя графита значение максимально возможной плотности потока тепловых нейтронов в рабочей области конвертера ниже, а необходимая толщина замедлителя больше, по сравнению с другими рассмотренными вариантами.

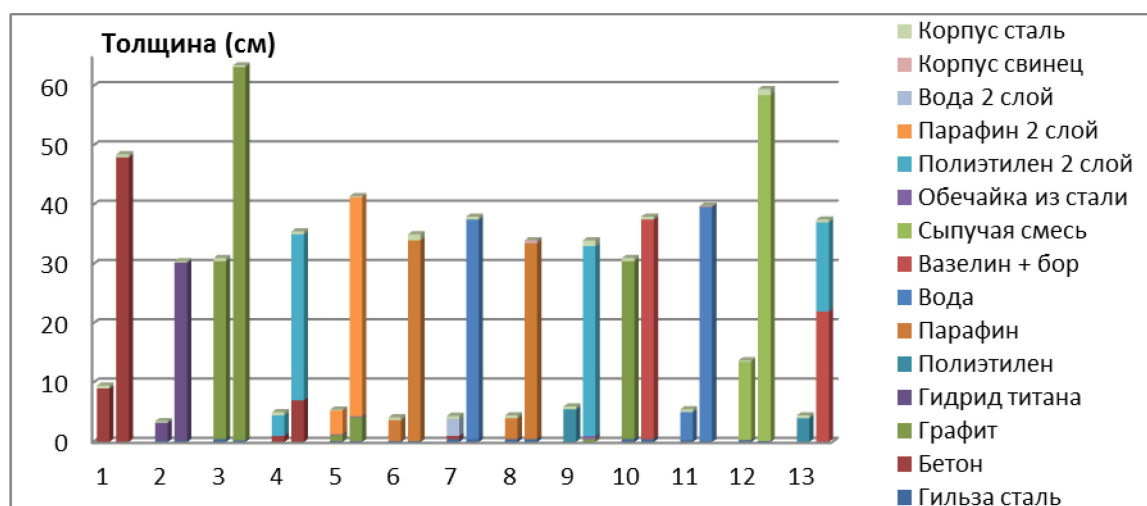


Рис. 1 – Толщины материалов замедлителя и биологической защиты в различных вариантах

При проектировании замедлителя нейтронного конвертера с использованием источника ИБН-6 выбор наиболее предпочтительного материала будет зависеть в первую очередь от финансовых ограничений.

Наименьшие параметры размеров биологической защиты (2 вариант), а следовательно и конвертера в целом достигаются при использовании в качестве материала замедлителя гидрида титана. Однако конструирование биологической защиты из этого материала является самым дорогостоящим из всех рассмотренных вариантов.

Наиболее дешевыми вариантами биологической защиты являются 1,7,11 варианты с использованием воды, бетона или графита. В таких вариантах большую часть стоимости биологической защиты составляет стоимость стали корпуса.

Одним из самых неэффективных вариантов исполнения биологической защиты является использование графита в качестве основного материала (вариант 3). При использовании графита в качестве биологической защиты, её габариты будут больше, чем при использовании любого другого материала. Большая толщина так же приводит к высокой стоимости такой биологической защиты.

При использовании сыпучей смеси (вариант 12) стоимость биологической защиты будет мала, однако размеры такого нейтронного конвертера будут больше, чем у большинства альтернативных вариантов.

Использование парафина (варианты 6,8) может позволить создать нейтронный конвертер с приемлемыми размерами, однако стоимость такой биологической защиты будет высока из-за стоимости корпуса необходимой толщины из стали или свинца.

Из таблицы 1 видно что, средний диаметр нейтронного конвертера в различных вариантах с использованием Pu-Be источника ИБН-6 около 100 см. Наименьшие размеры установки были достигнуты в варианте 2 (90 см) в котором в качестве материалов использовался гидрид титана.

Таблица 2 – Сравнение вариантов по заданным критериям

Критерии выбора	Размеры установки	Стоимость установки	Вес установки	Плотность потока нейтронов
Вариант с наилучшими параметрами	2, 4-9, 13	7, 11	7-9, 13	7

Наименьшие значения стоимости материалов установки – 18000 и 16000 руб. – были достигнуты в вариантах 7 и 11 соответственно. Это связано в первую очередь с использованием наиболее дешевых материалов: бетона с водой в 7 варианте и графита с водой в 11.

Анализируя таблицу, можно увидеть, что во многих вариантах: 4,5,7-9,11 и 13 – рассчитанный вес установки находится на уровне ~1000 кг.

Наибольшее значение плотности потока тепловых нейтронов ($804 \text{ н/см}^2 \cdot \text{с}$) в рабочей области конвертера достигается в 7 варианте.

Таким образом, можно сделать вывод, что 7 вариант является оптимальным по всем критериям из всех рассмотренных в данной работе. Так как при максимальном потоке нейтронов в рабочей области конвертера, имеет приемлемые массогабаритные характеристики и невысокую стоимость материалов (без учета стоимости источника и монтажа).

Список литературы

1. Сметанин Т.Р., Гурьева Е.А., Андреев В.В. Расчет конструкции лабораторного комплекса «Нейтронный конвертер» // Научно-технический вестник Поволжья. – №6. – 2020. – 120 с.
2. Аксенов В.Л. Импульсные реакторы для нейтронных исследований. Физика элементарных частиц и атомного ядра. – М.: Науч. Мир. – 1995. – Т. 26. – №. 6. – с. 1449.
3. Андреев Н.Г., Вавилкин В.Н. Разработка программы DotActiv для расчета источников и уровней излучения остановленного реактора в 2-D геометрии // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: тезисы докл. X рос. науч. конф. (Москва, 22-25 сент. 2015г.). – М.: ООО «САМ Полиграфист». – 2015. – 142 с.
4. Rhoades W.A., Mynatt F.R. The DOT III Two Dimensional Discrete Ordinates Code – Tenn.:ORNL. – 1973. – 100 с.

05.13.01

Р.В. Едунов, Л.В. Синицына

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

Статья посвящена разработке методики и проведению экспериментальных исследований эффективности освещения светодиодами при выполнении производственных зрительных работ. Исследования проводились по методике показателей критической частоты слияния световых мельканий. Приведены результаты исследований.

Ключевые слова: *светодиодное освещение, экспериментальные исследования, критическая частота слияния мельканий, эффективность.*

Правильно организованное промышленное освещение повышает производительность труда, качество производимой продукции, снижает брак и вероятность производственного травматизма [1].

В научной литературе практически не приводятся сведения, дающие физиолого-гигиеническую оценку установок со светодиодами, используемых для производственного освещения.

Исходя из этого, можно говорить о том, что исследование воздействия светового цвета среды, создаваемой светодиодами (СД) на орган зрения и возможность применения СД для целей внутреннего освещения без ущерба для здоровья человека на сегодняшний день более чем актуально. Целью данной статьи являлись разработка методики и изучение эффективности освещения при выполнении зрительных работ, в условиях, создаваемых осветительной установкой со СД [2].

При проведении лабораторных исследований необходимо применять комплекс тех или других методик, выбор которых должен осуществляться с учетом их адекватности характеру выполняемой зрительной работы и возможности быстрого проведения измерений (не более 2 – 3 мин.) для исключения длительного отрыва рабочего от трудовой деятельности. Для оценки эффективности освещения зрительно-напряженных работ в производственных операциях возможно использование следующего комплекса методик: показателей критической частоты слияния световых мельканий (КЧСМ) и субъективной оценке условий освещения.

Подробно исследовалась КЧСМ. Было установлено, эта зрительная функция зависит от многих факторов, таких как: яркость наблюдаемой картины; отношение светлой части периода ко всему периоду; глубина модуляций яркости при мельканиях (амплитуда модуляций); угловой размер поля зрения; форма кривой, выражающей повышение и понижение яркости в процессе мельканий [3].

Большинство исследователей отмечают, что этот показатель очень чувствителен к воздействию зрительной нагрузки и к условиям освещения, а, следовательно, может служить мерой зрительного утомления коркового отдела (центрального звена) органа зрения.

Учитывая выше изложенное, для оценки состояния центрального звена органа зрения в исследованиях нами использовался метод КЧСМ.

Измерение КЧСМ проводилось при помощи специального комплекса для психофизиологических исследований КПК-99М «ПСИХОМАТ». Порядок проведения измерения КЧСМ был следующий:

– испытуемый должен был подтвердить уяснение смысла задания, нажав на кнопку «Готов»;

- наблюдать световой сигнал над центральной кнопкой. Если наблюдались мелькания света, то нажать правую кнопку, если мельканий не было – то левую;
- выполнять задание до сигнала окончания теста.

Измерение заканчивалось при достижении величины изменения периода 1 мс. По окончании работы с комплексом выдавалось значение КЧСМ.

КЧСМ определялось как среднее арифметическое значение из полученных результатов измерений. Затем в течение 90 минут выполнялась напряженная зрительная работа. После окончания работы КЧСМ измерялась повторно, для утомленного состояния.

По окончании работы наблюдатели заполняли анкеты субъективной оценки световой среды. Для максимального и всестороннего изучения влияния на человека цветоцветовой среды необходимо было использовать субъективные методы оценки. Это объяснимо тем, что психологическое воздействие света определяет общую среду и соответственно субъективное впечатление. Существенным достоинством метода субъективного оценивания являлась его доступность.

Анкета обязательно заполнялась во время каждого эксперимента. Вначале наблюдатели давали оценку своему самочувствию и настроению. Те анкеты, где эти два показателя были ниже удовлетворительного, не использовались при обработке. Остальные вопросы были направлены на оценку основных характеристик освещения и психоэмоционального состояния наблюдателя.

Для субъективной оценки характеристик освещения применялась категорийная шкала, в том числе, симметричная относительно центрального балла:

- не достаточно, достаточно, вполне достаточно – для оценки достаточности освещенности;
- сильно заметны, заметны, едва заметны, почти не заметны, совсем не заметны – для оценки пульсаций и неравномерности освещенности в рабочей зоне;
- очень заметно, заметно, едва заметно, не заметно – для оценки слепящего действия;
- очень плохо, плохо, удовлетворительно, хорошо, очень хорошо – для оценки качества цветопередачи и общих условий освещенности.

В анкетах субъективной оценки учитывались ответы наблюдателей по таким пунктам как: пульсация, неравномерность освещенности в рабочей зоне, качество цветопередачи ИС и общая оценка условий освещения.

Анализ результатов КЧСМ для отдельного наблюдателя показал, что для уровня освещенности в 300 лк после выполнения зрительной работы критический период уменьшился на 4,39 мс, а критическая частота увеличилась на 13,82 Гц.

Данные статистической обработки полученных результатов отдельных наблюдателей дали возможность провести обработку данных всех наблюдателей совместно. В таблице 1 представлены средние значения измерений для каждого наблюдателя. В таблице 2 представлены результаты среднего значения КЧСМ всех наблюдателей до и после зрительной работы для уровня освещенности 300 лк.

Таблица 1 – Результаты исследования наблюдателей показателей КЧСМ каждого наблюдателя

Наблюдатель	До работы		После работы	
	Критический период, (мс)	Критическая частота, (Гц)	Критический период, (мс)	Критическая частота, (Гц)
1	24,58	43,45	20,19	57,27
2	29,37	35,15	29,43	34,90
3	22,34	45,01	23,16	43,26
4	23,45	42,67	23,92	41,85
Среднее значение	24,92	41,57	24,19	44,32

Таблица 2 – Результаты измерения показателей КЧСМ

Показатели	До работы		После работы	
	Критический период, (мс)	Критическая частота, (Гц)	Критический период, (мс)	Критическая частота, (Гц)
Среднее арифметическое	24,92	41,57	24,1	44,32
Дисперсия	12,9	33,76	33	137,8
Среднеквадратическое отклонение	2,1	5,11	3,24	7,98
Доверительный интервал	28,29	46,33	28,1	54,5
	21,57	36,8	19,7	34
Достоверность различий по t – критерию Стьюдента	< 0,05		< 0,05	

В результате исследования по показателям КЧСМ установлено, что при выполнении зрительных работ наблюдается снижение КЧСМ в процессе эксперимента со зрительной работой, этот процесс обратим – к началу следующего дня показатели восстанавливались до исходных значений, так же установлено, что освещение СД второго поколения не оказывает угнетающего действия на центральную нервную систему.

Анализ анкет субъективной оценки наблюдателей показывает, что наблюдатели положительно оценили различные качественные характеристики освещения СД. О благоприятных условиях освещения для наблюдателей при выполнении зрительно-напряженных работ, говорит тот факт, что незначительное количество анкет субъективной оценки содержало предложение об изменении условий освещения. В 27 % анкет наблюдатели предложили изменить распределение освещенности, в 5 % – изменить цветопередачу.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что условия освещения, создаваемые СД нового поколения, могут быть использованы для выполнения зрительных работ производственного характера без требований к цветоразличению.

Список литературы

- 1 *Амелькина С.А.* Принципы и методы оценки световой среды, создаваемой высокоэффективными источниками света: монография / С. А. Амелькина, Л. В. Абрамова: Федеральное агентство по образованию: гос. Образовательное учреждение высш. Проф. Образования «Мордовский гос. Ун-т им. Н. П. Огарева» - Саранск. 2008 – 120 с.
- 2 *Амелькина С.А.* Эффективность светодиодного освещения: монография / С. А. Амелькина, О. Е. Железникова, Л. В. Сеницына. – Саранск: [б.и.], 2014. – 200 с.
- 3 *Нетудыхатная О.Ю.* Роль КЧСМ в оценке напряженности труда моряков / О. Ю. Нетудыхатная // Офтальмологический журнал. – 2011. – № 5. – С. 300– 303

05.13.01

Е.Д. Ермоленко, Н.В. Герман, Д.И. Новиков,
В.В. Андреев, Н.П. Тарасова

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, ermolenko.katia2014@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНОГО МЕТОДА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПУТЕМ ИНЖЕКЦИИ ГАЗА В ПОТОК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Целью работы является анализ и исследование эффективности метода интенсификации теплообмена за счет добавления газовой фазы в поток теплоносителя. В работе представлены результаты теплофизических исследований, проведенных на экспериментальном стенде, в частности, зависимость коэффициента теплопередачи от расхода газовой примеси.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, инжекция газа, уменьшение толщины пограничного слоя, эжектор, закон Бернулли

Введение. Повышение эффективности, создание более энергонапряженных и компактных атомных паропроизводящих установок, а так же увеличение их КПД может быть достигнуто различными способами. Во-первых, представляется возможным совершенствовать паротурбинный цикл установки, добиваясь экономически обоснованных решений при повышении термодинамических параметров рабочего тела и введения регенеративных подогревов, однако это направление деятельности полностью себя исчерпало в свете векового опыта эксплуатации тепловых машин. Другим путём повышения эффективности установки выступает форсирование теплообменного оборудования. Форсирование теплообмена позволяет улучшить режим работы теплообменников, снизить температурный напор между теплопередающей поверхностью и теплоносителем, а так же уменьшить габариты теплообменника, что особенно важно при проектировании транспортных и транспортабельных ядерных энергетических установок.

Существуют различные методы интенсификации теплообмена, которые принято разделять на две группы:

- 1) Активные методы – механическое воздействие на поверхность теплообмена или на поток теплоносителя;
- 2) Пассивные методы – использование развитых поверхностей теплообмена или технологии завихрения потока.

Исследуемый метод интенсификации теплообмена относится к пассивным методам. Повышение интенсивности теплообменных процессов достигается за счет влияния вводимой газовой примеси на поток теплоносителя [1].

При турбулентном движении однофазных сред в каналах, около поверхности теплообмена формируется пограничный слой, который является основным термическим сопротивлением для теплового потока [2]. Для увеличения интенсивности теплоотдачи можно уменьшить толщину пограничного слоя или полностью его разрушить (турбулизовать), с помощью вводимой газовой примеси. Пузыри газа не имеют возможности сконденсироваться в потоке теплоносителя, ввиду низкой скорости процесса, и проходят через весь теплообменный участок. При движении пузыря, на него воздействует лобовая сила сопротивления и деформирует его таким образом, что его траектория становится криволинейной, пузырёк выбивается из ядра потока и начинает контактировать с теплопередающей поверхностью, разрушая пристенный слой.

Инжекция газа в поток теплоносителя осуществляется с помощью эжектора, принцип работы которого основан на передаче кинетической энергии от активного потока к пассивному, без использования промежуточных механизмов [3].

Методика эксперимента. Для решения поставленных задач был изготовлен исследовательский стенд. Стенд представляет кожухотрубный теплообменный аппарат с противоточным движением теплоносителей. Греемая среда находится внутри центрального канала, а охлаждающая в межтрубном пространстве. Для предотвращения потерь тепла в окружающую среду, стенд покрыт слоем теплоизоляции.

Расход газа регулируется при помощи ротаметра. Температура измеряется с помощью терморезисторов, установленных на входе и выходе охлаждаемого и охлаждающего потоков. Расход воды измеряется расходомером.

Для исследования эффективности метода интенсификации теплообмена была разработана программа экспериментов, которая заключалась в пошаговом увеличении объемного расхода газовой фазы в канале, начиная с его полного отсутствия, с фиксацией теплофизических параметров системы.

Экспериментальные результаты. В результате экспериментов получены данные, которые являются исходными для расчета: температура на входе и выходе греющего теплоносителя; температура на входе и выходе охлаждающего теплоносителя; объемные расходы охлаждаемой и охлаждающей воды, инжектируемого газа.

По экспериментальным данным был проведен расчет теплофизических характеристик исследуемого процесса, результат которого сведен в таблицу 1. Для более наглядного представления, построены графические зависимости, приведенные на рисунках 1–3.

Таблица 1 – Результат теплового расчета

Газосодержание, x, %	Коэффициент теплопередачи, K , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	Число Рейнольдса, Re	Толщина пограничного слоя, δ , мм	Мощность теплообменника Q, Вт
0,00%	1501,04	6496	1,93	2894,0
1,38%	2225,16	6676	1,90	4344,7
2,73%	2259,13	6770	1,89	4225,7
4,04%	2344,11	6867	1,87	4504,4
5,32%	2470,15	6930	1,86	4659,7
5,94%	2541,41	6976	1,861	4871,3

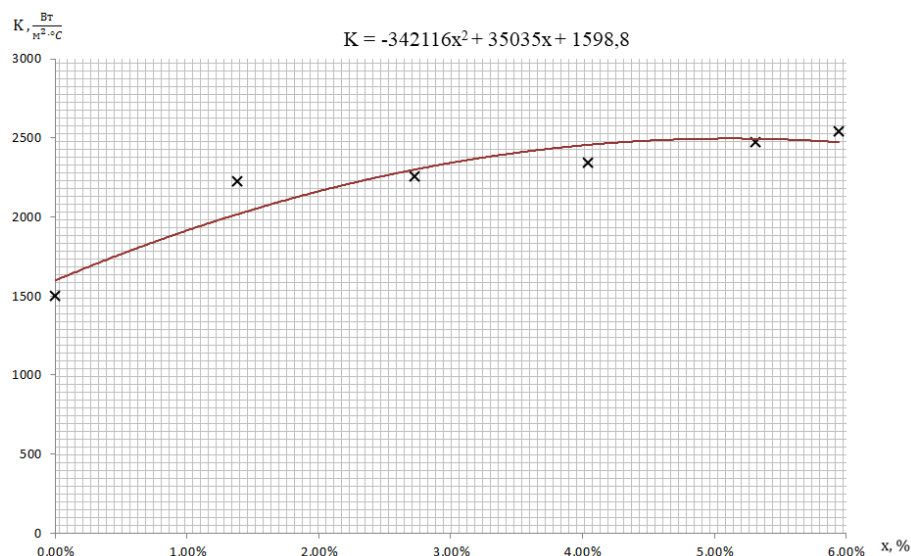
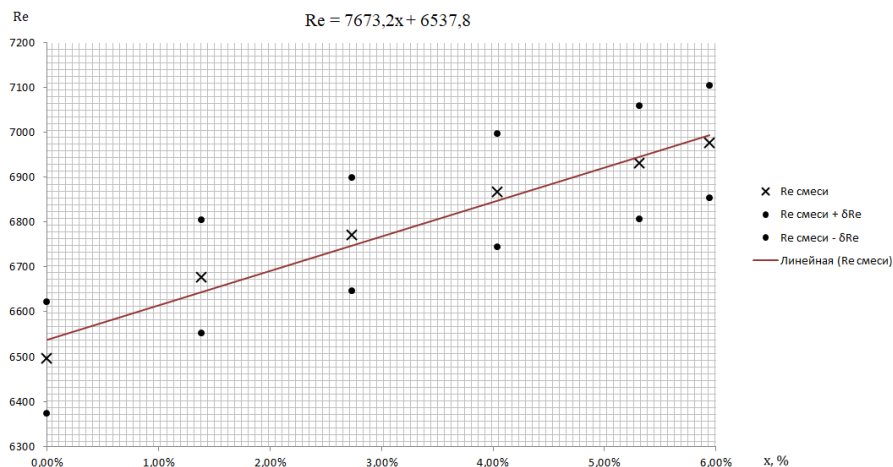
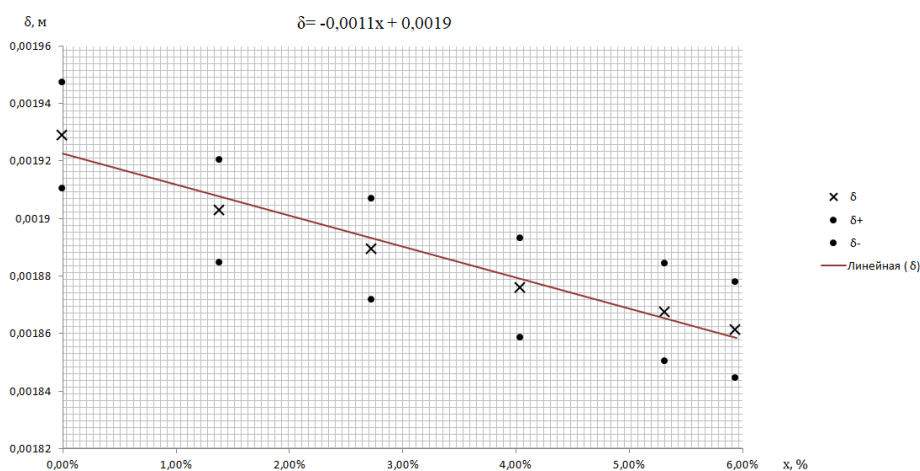


Рис. 1 – Зависимость коэффициента теплопередачи (K) от газосодержания (x)

Рис. 2 – Зависимость числа Рейнольдса (Re) от газосодержания (x)Рис. 3 – Зависимость толщины пограничного слоя (δ) от газосодержания (x)**Выводы:**

1) При увеличении газосодержания в потоке теплоносителя возрастает коэффициент теплопередачи и мощность теплообменного аппарата. Так, для созданной экспериментальной установки коэффициент теплопередачи и мощность теплообменного аппарата увеличились в 1,68 раза;

2) Зависимости на рисунках 2 и 3 подтверждают феноменологическую модель исследуемого метода интенсификации процесса теплообмена. В частности, введение газовой примеси увеличивает турбулентность потока, о чем косвенно говорит рост числа Рейнольдса, уменьшение толщины пограничного слоя, и как следствие увеличение интенсивности теплопередачи.

Заключение. Полученные результаты целесообразно применять в промышленных теплообменных аппаратах, а так же в оборудовании перспективных реакторных установок транспортного и транспортабельного назначения. Исследуемый метод интенсификации может быть использован в качестве дополнительного к уже существующим методам с обязательным исследованием влияния газовой примеси на работу технологического оборудования.

Список литературы

1. Горшенин А.С. Методы интенсификации теплообмена: учеб. пособ. – Самара. Самар.гос.техн.ун-т, 2005. – 82 с.
2. Михеев М. А., Михеева И.М. Основы теплопередачи: учебное пособие. – Огни - Москва, 2010. – 344 с.
3. Соколов Е.Я, Зингер Н.М. Струйные аппараты. – 3-е изд., перераб. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

05.13.01

**Д.А. Запевалов, О.Д. Суминов, М.В. Фролов,
А.А. Добров, Ю.И. Аношкин**

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, zarevalov82@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА ЗМЕЕВИКОВ МАЛОГО РАДИУСА ГИБА

В работе представлены результаты гидравлических исследований в модели теплообменника с пучком змеевиков малого радиуса гiba. Основной целью является получение зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса, сопоставление результатов натурного и виртуального эксперимента.

Ключевые слова: *теплообменник, пучки змеевиков, пористые среды, гидравлика.*

Введение. Теплообменные аппараты со змеевиками малого радиуса гiba широко распространены и пользуются спросом в нефтегазовой, нефтехимической, химической, авиационной и атомной энергетической промышленности. Трубная система теплообменников бывает двух видов:

Шестигранное расположение змеевиков, которые объединены в круглую трубную доску, и, как правило, используются в кожухотрубчатых теплообменниках.

Плоские модули, которые используются в водоподогревателях, аппаратах воздушного охлаждения и котлах утилизаторах с выдачей пара, требуемых параметров.

Теплообменное оборудование с данным типом змеевиков отличается высокой эффективностью теплообмена, надёжностью работы при циклических нагрузках, улучшенными массогабаритными характеристиками.

Преимущества аппаратов с теплообменной поверхностью из змеевиков малого радиуса гiba.

Эффективность теплообмена :

- Наблюдается высокая интенсивность теплообмена при высокой турбулентности сред;
- Выбор оптимального соотношения проходных сечений и соответственно скоростей теплоносителей позволяет получить заданные теплогидравлические параметры для различных сред и условий эксплуатации.

- Для получения максимальной эффективности использования теплообменной поверхности при циркуляции применяется принцип противотока движения сред.

Надёжность работы:

- Применение термопластичной теплообменной поверхности в виде змеевика позволяет гарантировать самокомпенсацию температурных расширений теплообменных элементов между собой и при быстром разогреве и охлаждении;

- Применяется один типоразмер теплообменного элемента и эффективный массообмен по сечению трубной системы приводит к выравниванию температурных полей;

- Действию давления подвержен только пучок змеевиков и коллектора, которые хорошо выдерживают давление[3].

Трубные системы данных теплообменников имеют различные параметры проходных сечений в зависимости от требуемых характеристик. На сегодняшний день необходимо разработать единую методику расчёта с масштабированием её на различные типы теплообменников с пучками змеевиков малого радиуса гiba и вывести эмпирические зависимости, которые корректно описывают гидравлические и теплофизические свойства данных теплообменных аппаратов.

Описание экспериментального стенда. Для нахождения коэффициента гидравлического сопротивления пучка змеевиков малого радиуса гiba был создан стенд, моделирующий трубную систему теплообменника. Он представляет собой пучок змеевиков из медных трубочек, который запаян в шестигранный кожух. Пучок с кожухом вставлен в корпус из труб, который имеет вход и выход для продувки трубной системы. По высоте установки расположены специальные отверстия для подсоединения дифференциального манометра, который определяет статическое давление в различных точках трубной системы. Также на всём протяжении активного участка трубной системы с определённым шагом установлены 6 термопар. На выходном патрубке установлен термоанемометр для определения скорости и средней температуры воздушного потока. Принципиальная схема стенда показана на Рис. 1

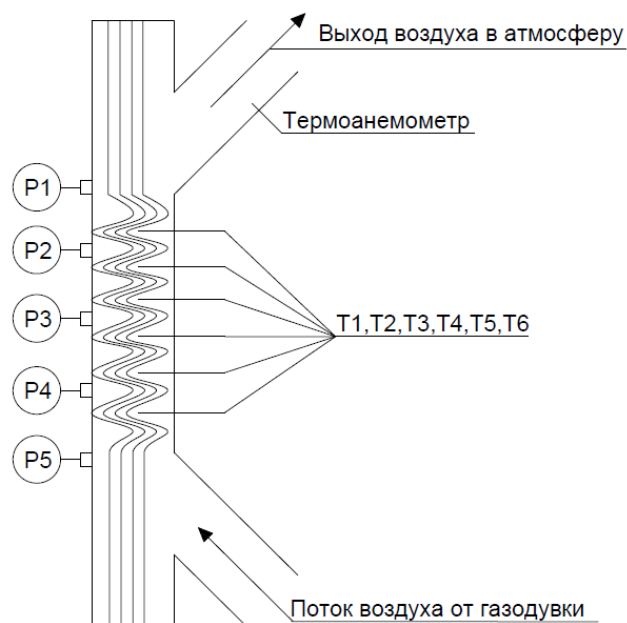


Рис. 1 – Принципиальная схема стенда

Расход воздуха в межтрубном пространстве модели обеспечивается воздуходувкой, которая присоединена к корпусу через входной патрубок.

Методика проведения эксперимента. Реализация эксперимента следующая: с помощью воздуходувки устанавливается определённый расход воздуха через модель. Дифференциальным манометром снимаются показания статического давления в каждой точке трубной системы. Эксперименты проведены в диапазоне расходов воздуха 100 – 540 м³/час, что соответствует диапазону чисел Рейнольдса $Re = 6800 - 38000$. Средняя скорость воздушного потока и температура на выходе из змеевиков определяется термоанемометром, установленным на выходном патрубке. Термопары считывают температуру воздушного потока в точках, где определяется статическое давление.

При расчёте Re в качестве характерного размера принят эквивалентный диаметр, который определяется по формуле (1)[1]:

$$D_{\Gamma} = \frac{4 \cdot F}{D_{\text{смоч}}} \text{ (м)} \quad (1)$$

где F – площадь проходного сечения трубной системы, м²;

$D_{\text{смоч}}$ – смоченный периметр.

При расчёте площади проходного сечения F необходимо знать площадь сечения змеевика плоскостью по нормали к движению потока ($F_{\text{зм}}$), которая рассчитывается по формуле (2):

$$F_{\text{зм1}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \sin(a)} \text{ (м}^2\text{)} \quad (2)$$

где d – внешний диаметр трубки змеевика, м;

a – угол навивки змеевика.

Виртуальный Эксперимент. Параллельно с натурным экспериментом был проведён виртуальный эксперимент в среде ANSYS CFX. Для расчётов создана 3D модель, которая полностью повторяет конструкцию экспериментального стенда. Граничные условия задавались в соответствии с данными, полученными в натурных экспериментах.

В качестве расчётной модели турбулентности была принята SST (модель сдвиговых напряжений Ментера). Модель SST представляет собой совокупность $k-\epsilon$ и $k-\omega$ моделей турбулентности: для расчёта течения в свободном потоке используются уравнения $k-\epsilon$ модели, а для расчёта течения вблизи поверхностей и при обтекании сильно искривлённых поверхностей используются уравнения $k-\omega$ модели. Данная модель турбулентности (SST) удовлетворяет условиям поставленной задачи.

Результаты экспериментов (натурный и виртуальный). При обработке данных, полученных в результате эксперимента, был установлен стабилизированный участок потока воздуха с точки Р - 2 по точку Р - 4 (Рис. 1). Переходный участок по величине равен 2-м виткам змеевиков (84 мм) на входе и выходе в активный участок трубной системы.

Результатом обработки данных натурального и виртуального эксперимента является построение зависимости – $Eu = f(Re)$, где Eu – безразмерный критерий Эйлера на один виток змеевика, Re – безразмерный критерий Рейнольдса.

Графически, полученные зависимости представлены на Рис. 2.

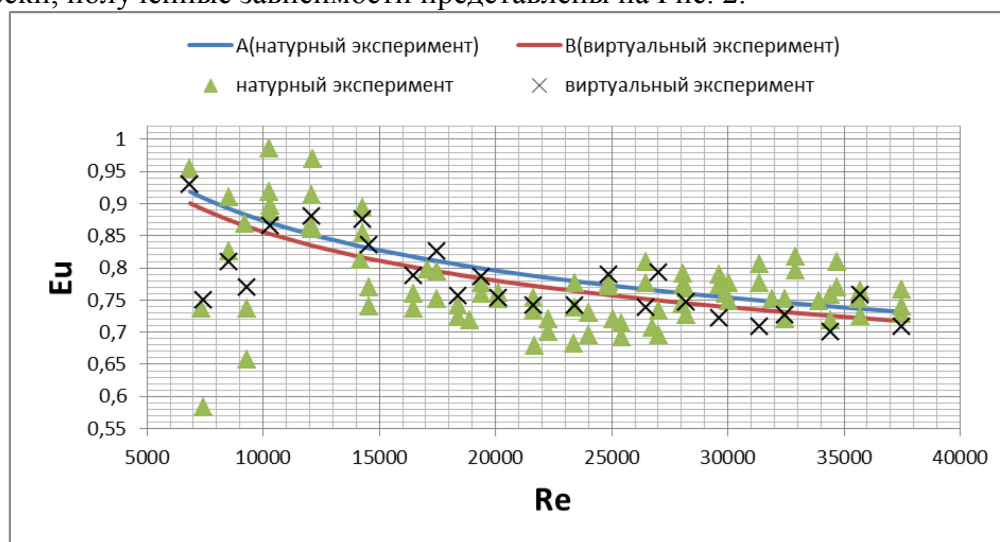


Рис. 2 – Зависимости $Eu = f(Re)$ после обработки данных экспериментов.

$$Eu = 3,012Re^{-0,134} \quad (3) \text{ – зависимость (А).}$$

$$Eu = 2,942Re^{-0,134} \quad (4) \text{ – зависимость (В).}$$

Заключение. Для изучения гидравлических характеристик пучка змеевиков малого радиусагиба был построен экспериментальный стенд, проведены натурные и виртуальные эксперименты. По результатам экспериментов, были выведены зависимости (3) и (4). Как видно на рисунке 2 кривые А и В проходят эквидистантно друг другу, это означает что результаты виртуального эксперимента не противоречат результатам натурального эксперимента и корректно описывают гидравлическое сопротивление пучка змеевиков в зависимости от числа Рейнольдса. Ошибка расчёта программы не превышает 10% по сравнению с данными полученными при натурном эксперименте.

Список литературы

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Под ред. М.О. Штейнберга. – М.: Маш., 1992. – 672 с.
2. Жукаускас А., Улинскас Р., Катинас В. Гидродинамика и вибрации обтекаемых пучков труб. Под ред. И. Михлашевской. – Вильнюс.: Изд-во Мокслас, 1984. – 312 с.
3. Анод теплообменный центр – [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://and-tc.ru/>
4. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 143 с.

05.13.01

В.Ю. Конышева, А.В. Шаронов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Институт № 3 «Системы управления, информатика и электроэнергетика»,
кафедра 307 «Цифровые технологии и информационные системы»,
Москва, konysheva.vict@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В работе предлагается вариант решения задачи определения моментов возникновения изменений значений параметров объекта (так называемых моментов «разладки») в нелинейных динамических системах.

Ключевые слова: вейвлет-анализ, нелинейные динамические системы, точки контроля.

Одной из основных задач анализа функционирования динамических систем является задача определения моментов возникновения изменений параметров объекта, которая обычно называется задачей о «разладке». Важность ее решения определяется тем, что процесс функционирования динамических систем неотделим от процессов старения элементов и выхода их из строя. В этой связи оперативное выявление моментов сбоя и определение параметров, приводящих к ним, позволяет принимать меры к сохранению работоспособности систем – подключение резервного функционального элемента или провести реконфигурацию динамической системы.

Предлагаемый подход был использован для решения подобной задачи для линейных [1] динамических систем и была сформулирована аналогичная задача для нелинейных систем [2].

В статье приведены результаты исследования разработанного в [1] алгоритма решения задачи «разладки» системы, в качестве которой выбран математический маятник (рисунок 1) [3]. При математическом моделировании в определенные моменты времени претерпевало изменение значение параметра L – длины подвеса маятника. Одна из особенностей такого маятника состоит в том, что нелинейность ограничивает рост амплитуды возникающих параметрических колебаний.

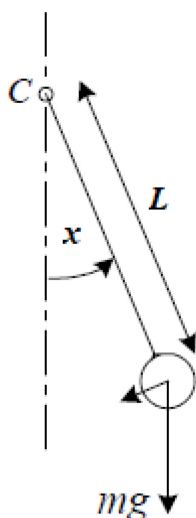


Рис.1 – Модель математического маятника

Решение задачи определения моментов возникновения изменений значений параметров системы было сведено к нахождению вейвлет преобразований разности функций параметрической чувствительности реальной системы и ее математической модели с

номинальными значениями параметров [4]. Для подтверждения работоспособности предлагаемого подхода задача была решена нахождением классического преобразования Фурье вычисленной разности функций параметрической чувствительности.

Изменение параметров математических моделей должно приводить к изменению спектра координат. Появление новой спектральной составляющей будет сигнализировать о изменении параметров моделей. Такое изменение спектра отражается в преобразовании Фурье по тригонометрической системе функций. Однако, оно не дает представления о моменте изменения значения параметра.

С практической точки зрения преобразование Фурье имеет ряд ограничений. Обладая хорошей локализацией по частоте, оно не обладает временным разрешением. При этом не учитывается, что частота колебания может изменяться во времени. Локальные особенности сигнала (разрывы, ступеньки, пики и т.п.) дают едва заметные составляющие спектра, по которым обнаружение этих особенностей, и тем более их место и характер, представляет значительную сложность.

Математическое моделирование решение задачи проводилось в Mathcad. Mathcad имеет функции преобразования Фурье и две встроенных функции для расчета вейвлет-преобразования на основе вейвлетообразующей функции Добеши (Daubechies).

Математическая модель математического маятника задана и имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -\frac{g}{L} \sin x_1 = 0. \end{cases}$$

$$x_1(t=0) = 1, x_2(t=0) = 0;$$

Пусть в начальный момент времени $L = 1$, а в момент времени $t = 1$ сек L принимает значение 0.1. Выходные реакции объекта представлены на рисунке 2.

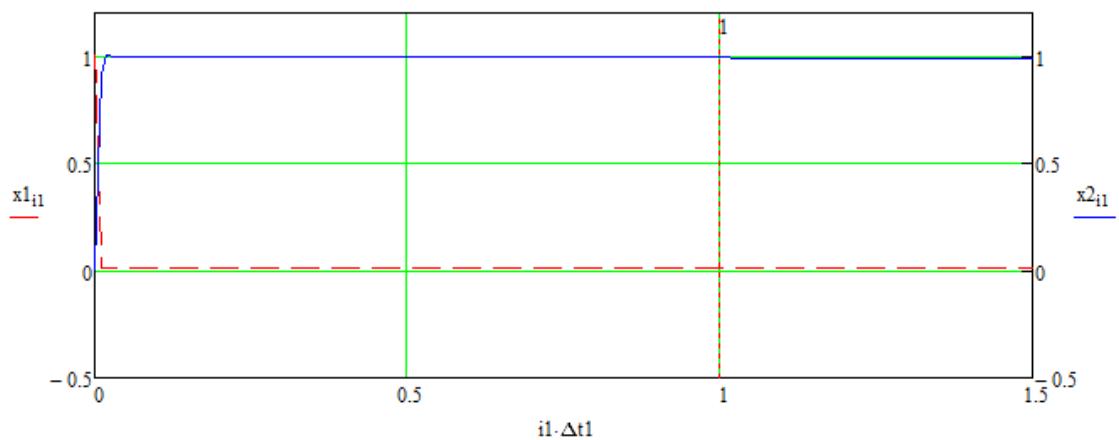


Рис.2 – Выходы объекта

На рисунке 3 представлены результаты преобразования Фурье. Фурье спектр имеет один малозаметный “всплеск”, который не позволяет с уверенностью определить момент времени изменения значения параметра L .

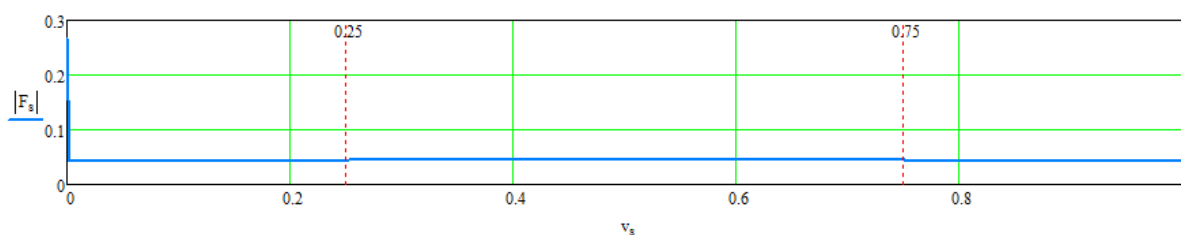


Рис.3 – Результаты преобразования Фурье

В предлагаемом алгоритме вывод о наступлении «разладок» делается на основе анализа поведения разности функций параметрической чувствительности реальной системы и ее математической модели. Для определения момента изменения значений параметров, решаются уравнения параметрической чувствительности по параметрам L :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial x_1}{\partial L} \right) = \frac{\partial x_2}{\partial L}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial x_2}{\partial L} \right) = -\frac{g}{L} \left(\frac{\partial \sin x_1}{\partial L} \right) - g \sin x_1, \\ \frac{\partial x_1}{\partial L}(t=0) = \frac{\partial x_2}{\partial L}(t=0) = 0, \end{cases}$$

где

x_1 и x_2 – координаты вектора состояния математического маятника,

$\frac{\partial x_1}{\partial L}$ – функция параметрической чувствительности координаты x_1 по L ,

$\frac{\partial x_2}{\partial L}$ – функция параметрической чувствительности координаты x_2 по L .

Введение обозначений

$$u_{L1} = \frac{\partial x_1}{\partial L}, u_{L2} = \frac{\partial x_2}{\partial L},$$

приводит систему уравнений чувствительности к виду

$$\begin{cases} \dot{u}_{L1} = u_{L2}, \\ \dot{u}_{L2} = -\frac{g}{L} \left(\frac{\partial \sin x_1}{\partial L} \right) - g \sin x_1, \\ u_{L1}(t=0) = u_{L2}(t=0) = 0. \end{cases}$$

Для определения изменившегося параметра вычисляются функции чувствительности объекта и его модели по параметрам L . Аналогичные уравнения чувствительности выписываются и для математической модели системы с той лишь разницей, что в них коэффициенты вычисляются на номинальных значениях параметров.

Затем вычисляется разность функций параметрической чувствительности объекта и его модели. Результат применения вейвлет-преобразования к разностям функций чувствительности по параметру L представлен на рисунке 4.

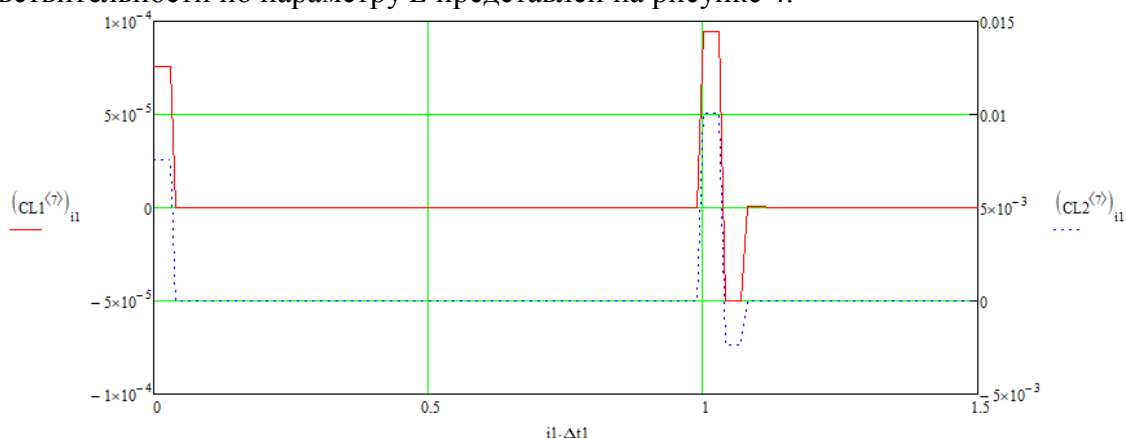


Рис.4 – Результат применения вейвлет-преобразования к разностям функций чувствительности по параметру L

Анализ графиков вейвлет-преобразований, представленных на рисунке 4, позволяет сделать вывод о том, что в момент времени $t = 1$ сек изменилось значение параметра L . Момент возникновения «разладки» в элементе характеризуется высокими резкими скачками функций по сравнению с другими изменениями графиков.

Необходимо отметить, что при малых изменениях значения параметра L график выходных данных объекта практически не меняется, что затрудняет процесс отслеживания возникновения изменений значений параметров системы. В то время как, график вейвлет-преобразований позволяет зафиксировать подобные изменения.

В работе рассматривался один из возможных подходов к решению задачи о «разладке», которая является составной частью общей проблемы диагностики динамических систем.

Предложенный подход позволяет выявлять моменты сбоя или изменений значений параметров, в основе которого лежат алгоритмы восстановления не измеряемых координат вектора состояния и их вейвлет-преобразований. Результаты представленного математического моделирования процесса решения поставленной задачи подтвердили работоспособность предлагаемого подхода.

Список литературы

1. *Коньшева В.Ю.* Вейвлет-анализ в задачах контроля и диагностики линейных динамических систем [Электронный ресурс] / В.Ю. Коньшева, Н.А. Максимов, А.В. Шаронов // Труды МАИ. – 2017. – №97. – URL: http://trudymai.ru/upload/iblock/911/Konysheva_Maksimov_SHaronov_rus.pdf?lang=ru&issue=97 (дата обращения 01.06.2021).
2. *Коньшева В.Ю.* Решение задачи о «разладке» в нелинейных динамических системах методом вейвлет-анализа [Электронный ресурс] / В.Ю. Коньшева, А.В. Шаронов // 18-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2019». 18-22 ноября 2019 года. Москва. Тезисы. – 2019. – 605 с. URL: <https://aik.mai.ru/files/abstracts2019.pdf> (дата обращения 01.06.2021).
3. *Мартынов Б.А.* Теория колебаний Математические модели динамических систем / Б.А. Мартынов. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. – 56 с.
4. *Шаронов А.В.* Методы и алгоритмы обработки результатов экспериментальных исследований / А.В. Шаронов. – М.: Изд-во МАИ, 2004. – 243 с.

05.13.01

В.А. Курников

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

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ, НА ЭТАПЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО МАССОВО-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В работе рассматривается применение беспилотных летательных аппаратов (ЛА) для оперативного тушения пожаров на особо важных малопротяженных объектах пожаротушения (ОП) путем слива жидкого пожаротушащего состава (ПТС). При сливе ПТС происходит интенсивное изменение массово-инерционных характеристик ЛА и возникает дополнительная реактивная сила, создаваемая истекающей жидкостью. Система управления (СУ) ЛА должна поддерживать устойчивый полет ЛА на заданной постоянной высоте над ОП при действии указанных возмущающих факторов. В работе решается задача формирования единой СУ движением ЛА в продольном канале как при движении ЛА, заправленного ПТС, в точку начала слива, так и на этапе слива ПТС при различных вариантах расположения выливного сопла на корпусе ЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, пожаротушение, жидкий пожаротушащий состав, система управления движением.

Введение

Объектом исследования в работе является беспилотный ЛА, используемый для оперативного тушения пожара на особо важных объектах малых размеров, расположенных на суше или на водной поверхности [1]. Пожаротушение осуществляется путем распыления жидкого ПТС, доставляемого к ОП в емкости, расположенной на борту ЛА. При сливе ПТС происходит интенсивное изменение массово-инерционных характеристик ЛА и возникает дополнительная реактивная сила, создаваемая истекающей жидкостью. Целью работы является решение задачи формирования единой СУ движением ЛА в продольном канале управления, применяемой как при движении ЛА, заправленного ПТС, в точку начала слива жидкости, так и при сливе ПТС. Задача решается при различных вариантах расположения и диаметра выливного сопла.

Сценарий применения ЛА рассматриваемого типа заключается в следующем. ЛА, оснащенный двигательной установкой (ДУ), после старта осуществляет автономный управляемый полет по маршевой траектории к ОП. При подлете к ОП СУ обеспечивает выход ЛА на прямолинейную траекторию в направлении ОП на заданной высоте и с постоянной скоростью. Слив ПТС начинается на заданной дальности от ЛА до ОП. При истечении ПТС возникает возмущающая реактивная сила, и изменяются во времени массово-инерционные характеристика ЛА как объекта управления. СУ ЛА поддерживает стабилизированное движение ЛА по высоте полета и углу тангажа ЛА. После завершения этапа слива ПТС ЛА возвращается в точку старта.

Математическая модель движения ЛА

При наличии реактивной силы R , действующей по нормали к продольной оси ЛА, а также силы тяги ДУ F_T , угловое движение ЛА в вертикальной плоскости описывается уравнениями [2]:

$$\begin{aligned}
\dot{\omega}_z &= \frac{1}{I_z} [M_z(\omega_z, \alpha, \delta) + P(x_T - x_p)] \\
\dot{\theta} &= \omega_z \\
\dot{\theta} &= \frac{1}{mV} [Y(\alpha, \delta) + F_T \sin \alpha + P \cos \alpha - G \cos \theta] \\
\dot{H} &= V \sin \theta
\end{aligned} \tag{1}$$

При малых углах α , θ и линейных зависимостях $Y(\alpha, \delta)$ и $M_z(\omega_z, \alpha, \delta)$ от их аргументов уравнениям (1) можно поставить в соответствие линеаризованные уравнения

$$\begin{aligned}
\dot{\omega}_z &= \frac{1}{I_z} [M_z^{\omega_z} \omega_z + M_z^{\alpha} \alpha + M_z^{\delta} \delta + P(x_T - x_p)] \\
\dot{\theta} &= \omega_z \\
\dot{\theta} &\approx \frac{1}{mV} [(F_T + Y^{\alpha}) \alpha + Y^{\delta} \delta + P - G]
\end{aligned} \tag{2}$$

СУ движением ЛА

Функциональная схема СУ. В состав замкнутой СУ угловым движением ЛА [3] входят следующие компоненты (рисунок 1):

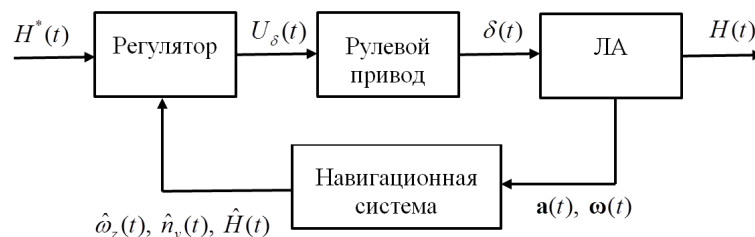


Рис. 1 – Функциональная схема СУ угловым движением в продольном канале

Рулевой привод. В работе была рассмотрена простейшая модель рулевого привода (РП) как замкнутой системы с ограничением по углу поворота рулей и единичной обратной связью по этому углу. Блок-схема РП приведена на рисунке 2.

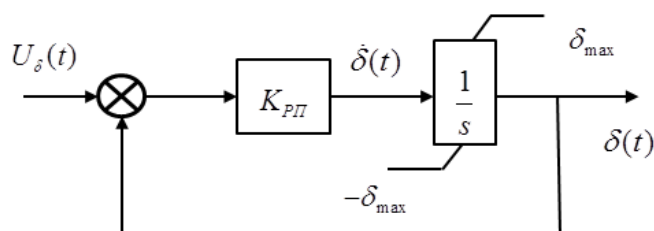


Рис. 2 – Блок-схема рулевого привода

Параметры РП принимались равными: $K_{RP}=20$; $\delta_{\max}=15^\circ$.

Регулятор. На этапе слива ПТС в качестве основного (управляющего) входа СУ рассматривалась требуемая высота движения ЛА $H^* = \text{const}$.

Закон формирования команд управления рулями $U_\delta(t)$ с учетом обратных связей по угловой скорости тангажа ω_z и по нормальной перегрузке n_y записывается следующим образом [4]:

$$U_\delta(t) = K_H \cdot (H^* + H(t)) + K_n \cdot n_y(t) + K_\omega \cdot \omega_z(t) + U_H(t)$$

В результате решения задачи оптимизации коэффициентов регулятора на участке движения ЛА до слива ПТС были получены следующие значения коэффициентов: $K_H = 6.63$; $K_{n_y} = 7.18$; $K_{\omega_z} = 0.5$.

Характеристики ЛА как объекта управления

Задача формирования СУ ЛА решалась при следующих характеристиках ЛА как объекта управления.

ЛА имеет длину $l = 3$ м и площадь миделя $S = 0.3$ м². Начальная масса ЛА $m_0 = 2000$ кг, конечная $m_k = 850$ кг. Момент инерции ЛА, заправленного ПТС, $I_{z0} = 1200$ кг·м², «пустого» $I_{zk} = 730$ кг·м². Этап слива ПТС длится $T_{ав} = 10$ с. На этапе слива ЛА должен двигаться на постоянной высоте $H^* = 100$ м со скоростью $V = 100$ м/с и с нулевым углом наклона траектории $\theta^* = 0^\circ$.

Центр масс ЛА заправленного ЛА находится на расстоянии $x_T^* = 1.4$ м от носка ЛА. При истечении ПТС центр масс смещается относительно x_T^* по следующему закону: $\Delta x_T(t) = a_1 t^3 + a_2 t^2 + a_3 t$, где $a_1 = 0.0007122$, $a_2 = -0.002214$, $a_3 = -0.049$.

Сила тяги ДУ $F_T = 400$ Н. Положение выливного сопла относительно носка ЛА варьировалось в интервале $x_p \in [1.4, 2.3]$ м. Реактивная сила, возникающая при сливе,

зависит от диаметра сливного сопла $P = V_{расп} m_{сек} = \frac{m_{сек}}{\rho_{ПТС} S_{сопла}} m_{сек}$. При расчетах диаметр сливного сопла и соответственно величина реактивной силы варьировались от $d_{сопла} = 0.1$ м ($P = 1463$ Н) до $d_{сопла} = 0.2$ м ($P = 365$ Н).

Моделирование движения ЛА

На рисунке 3 представлены результаты сравнительного моделирования управляемого движения ЛА на участках траектории до слива ПТС и во время слива ПТС при ступенчатом входе воздействию по высоте.

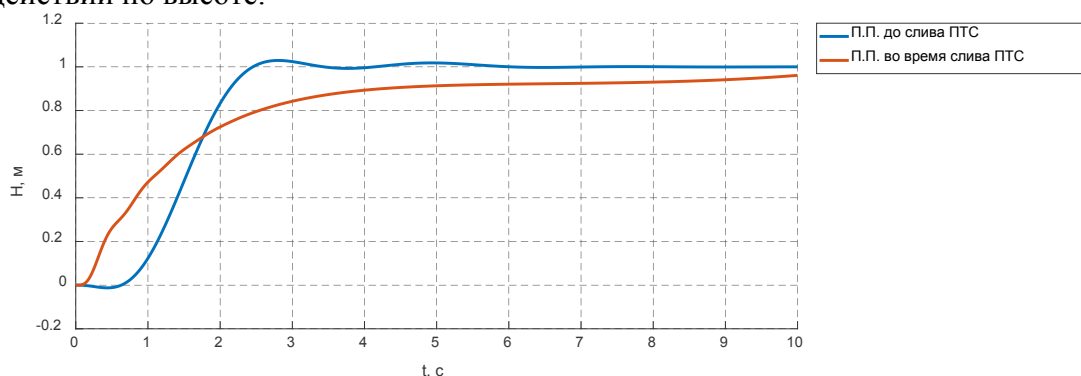


Рис. 3 – Переходные процессы по высоте при движении ЛА на участках траектории до слива ПТС и во время слива ПТС

При моделировании движения ЛА на участке слива ПТС рассматривались следующие варианты расположения и диаметра выливного сопла: $x_p = 1.4; 2.3$ м, $d_{сопла} = 0.1; 0.15; 0.2$ м. Моделирование осуществлялось при значениях коэффициентов регулятора, подобранных для участка движения до слива ПТС. На рисунке 4 представлены зависимости высоты полета ЛА по времени при следующих вариантах расположения и диаметра выливного сопла: $x_p = 1.4; 2.3$ м, $d_{сопла} = 0.1; 0.15; 0.2$ м.

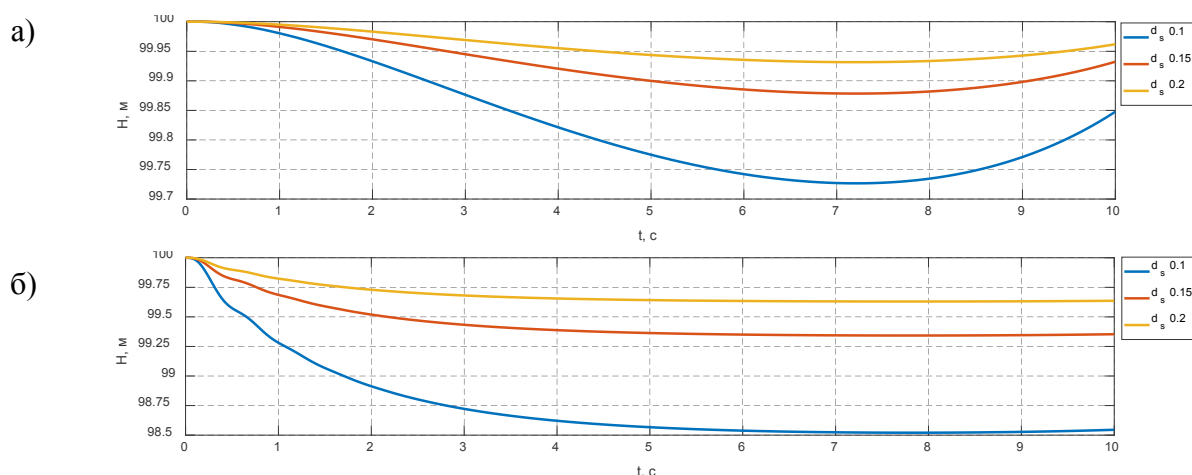


Рис. 4 – Зависимость высоты полета ЛА по времени при расположении выливного сопла

$x_P = 1.4$ м (а) и $x_P = 2.3$ м (б)

Заключение

В результате проведенного математического моделирования движения ЛА на участках до слива ПТС и на этапе слива ПТС и анализа полученных результатов моделирования установлено:

- изменение массово-инерционных свойств ЛА при сливе ПТС не оказывает существенного влияние на характеристики ЛА как объекта управления;
- синтезированная оптимальная СУ на участке траектории движения ЛА до слива обеспечивает стабилизацию ЛА на этапе слива ПТС с удовлетворительным качеством, что дает возможность применения единой СУ для управления движением ЛА на всех этапах.

- определены оптимальное расположение и диаметр выливного сопла $x_P = 1.4$ м, $d_{\text{сопла}} = 0.2$ м., которые обеспечивает наилучшие характеристики переходных процессов исследуемых параметров движения ЛА.

Список литературы

1. Cameron P., Timothy N., David R., Bryan T. Fire Containment Drone // Worcester. Worcester Polytechnic Institute. 2016, 89 p.
2. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1973, 616 с.
3. Лебедев А.А., Карабанов В.А. Динамика систем управления беспилотными летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1965, 528 с.
4. Федосов Е.А., Бобронников В.Т. и др. Динамическое проектирование систем управления автоматических маневренных летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1997, 336 с.

05.13.01

Д.В. Малеев

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева,
Арзамасский политехнический институт,
кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств,
Арзамас, RCV1@mail.ru

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ IP-АУДИОКОДЕКА IP LINK ONE

В статье описана методика автоматизированного тестирования IP-аудиокодека нового поколения IP Link One и её реализация в виде программных модулей. Разработанные тесты охватывают все компоненты устройства, выполняют функцию мониторинга напряжений питания и температур ключевых компонентов; позволяют в автоматическом режиме выявлять известные неисправности как на этапе контроля качества при производстве устройств, так и во время эксплуатации. Благодаря гибкой архитектуре можно использовать новые методы тестирования. Использование автоматизированного тестирования позволит повысить качество и снизить стоимость изготовления устройств, а также упростить поиск неисправностей при их эксплуатации.

Ключевые слова: автоматизированное тестирование, выявление аппаратных неисправностей, кодирование аудио.

Компания GatesAir (США) совместно с ООО «Теком» (г. Нижний Новгород) разрабатывают IP-аудиокодек нового поколения IP Link One [1]. Одной из важнейших задач разработки является существенное снижение стоимости изготовления по сравнению с IP-аудиокодеком предыдущего поколения IP Link 100. Использование современных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) позволило существенно уменьшить габариты устройства и повысить его производительность при удешевлении изготовления. Для дальнейшего снижения стоимости была поставлена цель автоматизировать контроль качества при производстве устройства и его эксплуатации. Для этого были решены следующие задачи:

1. Составлен список компонентов, подлежащих тестированию. Компоненты должны тестироваться преимущественно в автоматическом режиме, но в отдельных случаях допускается участие оператора.

2. Составлен список известных неисправностей, выявленных во время работы над прототипом устройства. Такие неисправности, как правило, после исправления в конструкторской документации уже не проявляются в обновлённых устройствах. Однако, наличие способа, позволяющего автоматически и за короткий промежуток времени подтвердить отсутствие неисправности, положительно скажется на уровне контроля качества [2].

3. Для каждого компонента из списка неисправностей разработаны тесты, способные выявлять как наиболее вероятные, но ранее неизвестные неисправности, так и уже известные и исправленные.

На рис. 1 представлена структурная схема устройства [3]. Компоненты, обведённые пунктирной линией, являются опциональными и на данном этапе разработки не подвергаются автоматизированному тестированию. У компонентов, закрашенных серым цветом, были выявлены неисправности на этапе разработки устройства.

Список тестов, необходимых для выявления как уже известных, так и ещё неизвестных, но наиболее вероятных неисправностей, включает в себя:

- проверку количества доступных ядер процессора;
- проверку варианта и ревизии SoM;
- проверку доступности периферийных устройств;
- запись и проверку конфигурации периферийных устройств;
- проверку версии и обновление программного обеспечения ПЛИС;
- проверку работоспособности соединения PCIe;
- мониторинг температуры ЦП, ПЛИС, основной платы; мониторинг напряжений питания;
- мониторинг состояния Ethernet портов;
- тестирование модуля передней панели;
- тестирование GPIO;
- тестирование интерфейса RS232;
- тестирование аналоговых аудиовхода и аудиовыхода;
- тестирование аудиовыхода для подключения наушников;
- тестирование цифровых аудиовхода и аудиовыхода;
- тестирование USB-портов;
- тестирование оперативной памяти.

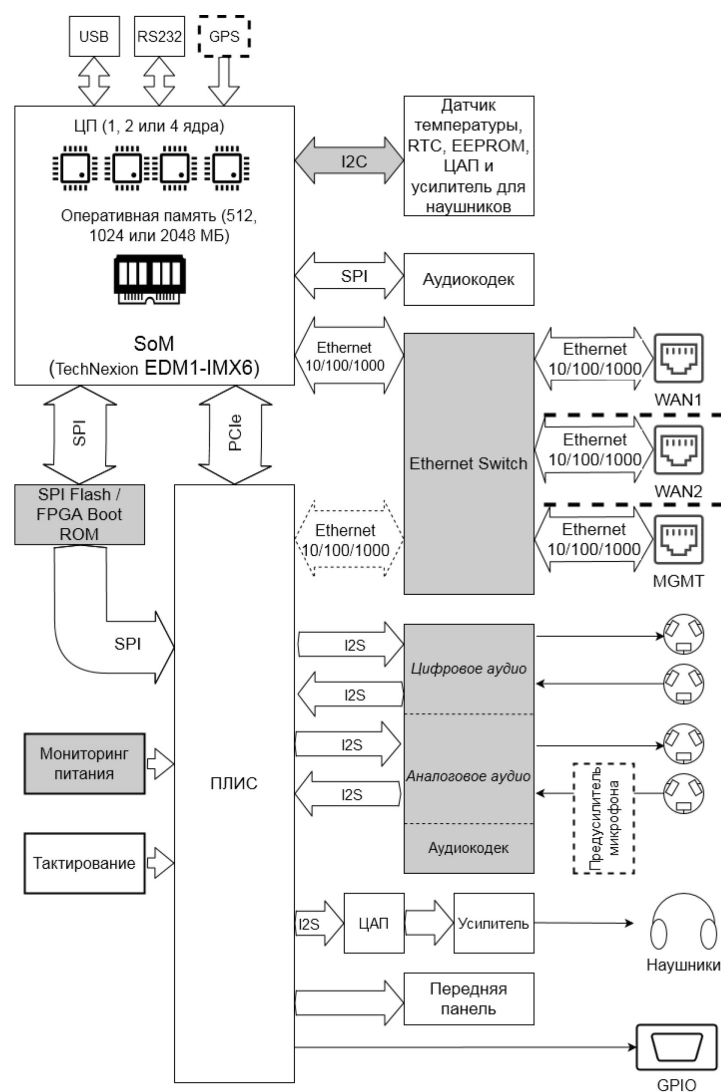


Рис. 1 – Структурная схема IP Link One

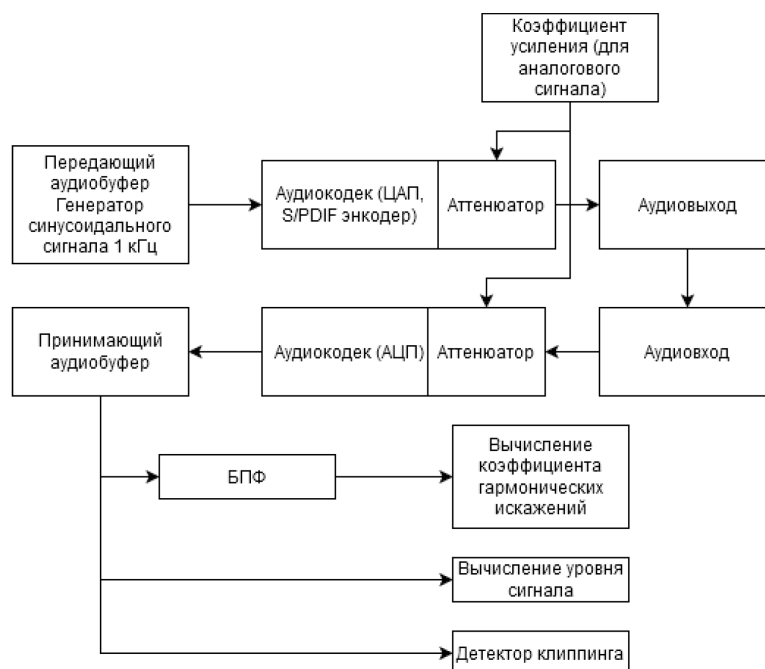


Рис. 2 – Схема тестирования ввода-вывода аудиосигнала

Одним из наиболее важных этапов является тестирование как аналоговых, так и цифровых аудиопортов. Разработанная схема тестирования приведена на рис. 2 и состоит из следующих этапов:

1. Передающий аудиобуфер заполняется отсчетами, формирующими синусоидальный сигнал частотой 1 кГц.

2. Отсчеты отправляются на ЦАП (при тестировании аналоговой линии) или S/PDIF энкодер аудиокодека (при тестировании цифровой линии).

3. При тестировании аналоговой линии, в зависимости от параметров теста, выходной сигнал ЦАП ослабляется на 0...15 дБ.

4. Сигнал поступает на аудиовыход и через специальный кабель подается на аудиовход.

5. При тестировании аналоговой линии, в зависимости от параметров теста, входной сигнал усиливается на 0...15 дБ.

6. Аналоговый сигнал преобразуется в цифровой вид с помощью АЦП (при тестировании аналоговой линии) или подается на S/PDIF декодер аудиокодека (при тестировании цифровой линии).

7. Отсчеты поступают в аудиобуфер и накапливаются там (в настоящее время его емкость составляет 48000 отсчетов).

8. Над полученным массивом отсчетов производятся следующие операции:

- БПФ – для перехода из временной в частотную область с последующим вычислением коэффициента гармонических искажений [4];
- вычисление уровня сигнала (в дБн) и сравнение его с заданными условиями теста;
- Обнаружение клиппинга с помощью поиска максимальных значений отсчетов при заданной разрядности.

Выводы:

1. В результате выполнения работы разработаны методы автоматизированного тестирования различных узлов аудиокодека нового поколения IP Link One, которые были реализованы в виде программных модулей.

2. Анализ результатов работы программных модулей показал, что выполняемые ими тесты позволяют обнаружить все известные на данный момент неисправности, встречающиеся в прототипах IP Link One, а также подтвердить отсутствие неисправностей после их устранения.

3. Разработанные тесты охватывают почти все компоненты IP Link One и позволяют провести диагностику работоспособности устройства как на этапе контроля качества при производстве, так и во время эксплуатации.

4. Благодаря гибкой архитектуре программных модулей можно использовать новые методы тестирования.

5. В дальнейшем планируется интегрировать разработанные программные модули в веб-интерфейс устройства для повышения наглядности и удобства использования.

Список литературы

1. Малеев Д.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ РЕЖИМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С НИЗКОЙ ЗАДЕРЖКОЙ ДЛЯ IP-АУДИОКОДЕКА IP LINK ONE. 23-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение – DSPA-2021», Москва, Россия, доклады. 2021 г., с. 173.
2. Ямпурин Н.П., Баранова А.В. Основы надежности электронных средств. Учебное пособие. Москва, издательский центр «Академия». 2010 г., с. 88.
3. GatesAir Intraplex IP Link 100e Audio over IP STL codec via plugin card for Flexiva transmitters/excitors. Электронный ресурс, доступ: <https://www.gatesair.com/documents/products/intraplex-ip-link-100e-en-kr-ka-052421.pdf> (дата обращения 01.03.2021).
4. David Williams. Understanding, Calculating, and Measuring Total Harmonic Distortion (THD). Электронный ресурс, доступ: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/the-importance-of-total-harmonic-distortion/> (дата обращения 01.03.2021).

05.13.01

¹Ю.Н. Матвеев, ²Л.В. Лобачева

Тверской государственной технической университет,
¹кафедра электронных вычислительных машин,
²кафедра горного дела, природообустройства и промышленной экологии,
Тверь, matveev4700@mail.ru, firslud@mail.ru

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ ЭМИССИОННЫМИ ПОТОКАМИ ОБЪЕКТА ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В работе рассмотрены основные факторы формирования водного баланса объекта захоронения отходов. На примере свалки твердых коммунальных отходов (ТКО) расположенной в поселке Солнечный Тверской области рассмотрены основные аспекты управления водными эмиссионными потоками с целью уменьшения нагрузки на экосистему.

Ключевые слова: водный баланс, свалка твердых коммунальных отходов, эмиссионные потоки, фильтр, управление.

Проблема управления водными эмиссионными потоками на объектах захоронения ТКО для повышения степени безопасности их эксплуатации стоит весьма остро, но ее решение затруднено в связи с недостаточной разработкой методических рекомендаций по основным аспектам управления водным балансом свалки.

Одним из факторов негативного влияния объектов депонирования ТКО на водные экосистемы является образование фильтрата, содержащего высокие концентрации токсичных веществ, способных длительное время сохраняться в теле свалки. Для реализации концепции экологической устойчивости объектов захоронения ТКО необходимо достигать приемлемого уровня равновесия с окружающей природной средой, чему будет способствовать внедрение эффективных управленческих воздействий на эмиссионные потоки природно-технических экосистем.

Для практической реализации принципа экологической устойчивости и разработки подходов по управлению водными эмиссионными потоками объектов депонирования ТКО, в работе приведены рекомендации по управлению водным балансом свалки ТКО, расположенной в поселке Солнечный Тверской области. Объект исследования находится на территории градообразующего предприятия у подножия склона в менее чем 100 м от уреза воды в водоохранной зоне озера Селигер. Площадь свалки ТКО составляет 1 га. Складирование бытовых отходов производится непосредственно на грунт с пересыпкой изолирующим материалом. На территории объекта захоронения отходов поселка расположена мусоросортировочная станция позволяющая выделять различные виды вторичного сырья и направлять их на переработку. В 2007 г. на свалке ТКО был запущен в эксплуатацию комплекс термического обезвреживания бытовых отходов производительностью 150 кг/ч, что позволило значительно снизить объем и влажность захораниваемых отходов.

Математическая модель водного баланса объекта депонирования ТКО поселка Солнечный может быть схематически представлена в виде полузакрытой системы входящих и выходящих водных эмиссионных потоков, формирующихся под воздействием внутренних и внешних параметров. При таких допущениях уравнение водного баланса будет иметь вид [1]:

$$(Q_{АО} + Q_{ОВ} + Q_{ПС} + Q_{ИНТР}) = (Q_{ПСП} + Q_{БГ} + Q_{БД} + Q_{ИС} + Q_{ПР}), \quad (1)$$

где *входящие эмиссионные потоки:*

$Q_{АО}$ – количество атмосферных вод, поступающих на поверхность полигона ТКО;

$Q_{ОВ}$ – количество отжимной влаги, выделяющейся из отходов при их захоронении;

$Q_{ПС}$ – количество воды, поступающей с поверхностным стоком от территорий расположенных выше по рельефу;

$Q_{\text{ИНТР}}$ – количество воды, поступающей в тело полигона ТКО из подземных источников (интрузия);

выходящие эмиссионные потоки:

$Q_{\text{ПСП}}$ – количество воды, покидающей полигон ТКО с поверхностным стоком;

$Q_{\text{БГ}}$ – потеря влаги за счет выделения биогаза;

$Q_{\text{БД}}$ – количество воды, потребляемое в процессе биохимического разложения отходов;

$Q_{\text{ИС}}$ – количество воды расходуемое за счет ее испарения и на транспирацию растений;

$Q_{\text{ПР}}$ – количество воды инфильтрующейся из тела полигона ТКО в подземные горизонты.

С учетом управленческих воздействий основное уравнение баланса водными эмиссионными потоками объекта захоронения ТКО будет иметь вид:

$$Q_{AO} + Q_{OV} + Q_{ПС} + Q_{ИНТР} + Q_P + Q_{УВ} = Q_{ПСП} + Q_{БГ} + Q_{БД} + Q_{ИС} + Q_{ПР} + Q_{ДР}, \quad (2)$$

где: Q_P – количество воды, направляемой для увлажнения массы отходов с последующей рециркуляцией образуемого фильтрата;

$Q_{УВ}$ – количество воды подаваемой на поверхность полигона ТКО для увлажнения отходов в пожароопасный период;

$Q_{ДР}$ – количество воды, отводимой дренажной системой сбора фильтрата.

Для достижения экологической устойчивости при применении эффективных управлений эмиссионными потоками объекта депонирования отходов необходимо с достаточной точностью определить объем образующегося фильтрата. Его состав и количество зависят от жизненного цикла свалки ТКО.

В настоящее время применяются различные подходы к определению объема фильтрата, но наибольшее практическое применение получили методики, основанные на составлении водного баланса объекта захоронения ТКО [2,3].

$$V_{\phi} = (Q_{AO} + Q_{OV}) - (Q_{ПС} + Q_{ИС} + Q_{БГ} + Q_{БД} + Q_{ВНО}), \quad (3)$$

где: V_{ϕ} – объем, образующихся в теле свалки фильтрационных вод;

$Q_{ВНО}$ – количество воды, направленное на насыщение отходов до полной влагоемкости.

В результате исследований получены данные о количествах образовавшегося на объекте депонирования отходов фильтрата с учетом средних многолетних величин атмосферных осадков.

Проведенный по методике [2, 3] расчет объема образования фильтрата для полигона ТКО поселка Солнечный позволил установить, что количество атмосферных осадков, выпадающих на рабочую поверхность тела объекта захоронения отходов, формирует основной объем образующегося фильтрата (рис. 1).

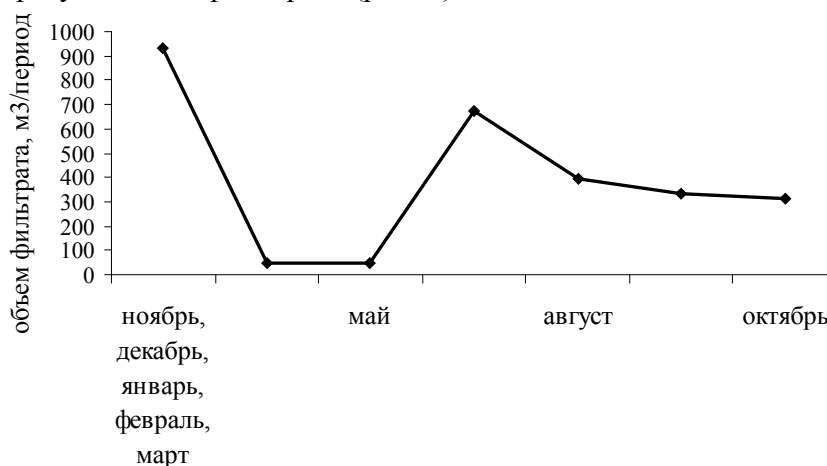


Рис. 1 – Динамика образования фильтрата полигона ТКО пос. Солнечный

Для управления эмиссионными потоками на полигоне ТКО поселка Солнечный с учетом условий расположения объекта захоронения отходов, разработана схема сбора, отвода и рециркуляции фильтрата (рис. 2). Предложенная система включает сбор и отвод поверхностных вод, что позволит уменьшить инфильтрацию атмосферных осадков через рабочее тело свалки ТКО. Для отвода фильтрата из тела полигона ТКО предусмотрена дренажная сеть, которая направляет поток в отстойник-накопитель, в котором осуществляется накопление, усреднение и отстаивание фильтрата. По мере наполнения емкости отстойника, фильтрационные воды направляются на очистные сооружения. Скорость и интенсивность протекания биохимических процессов определяются количеством воды, присутствующем в теле свалки, поэтому необходимо поддерживать определенную влажность захораниваемых отходов. Для этого фильтрационные воды после очистки направляются на «промывку» рабочего тела полигона ТКО постоянным током рециркуляционной воды.

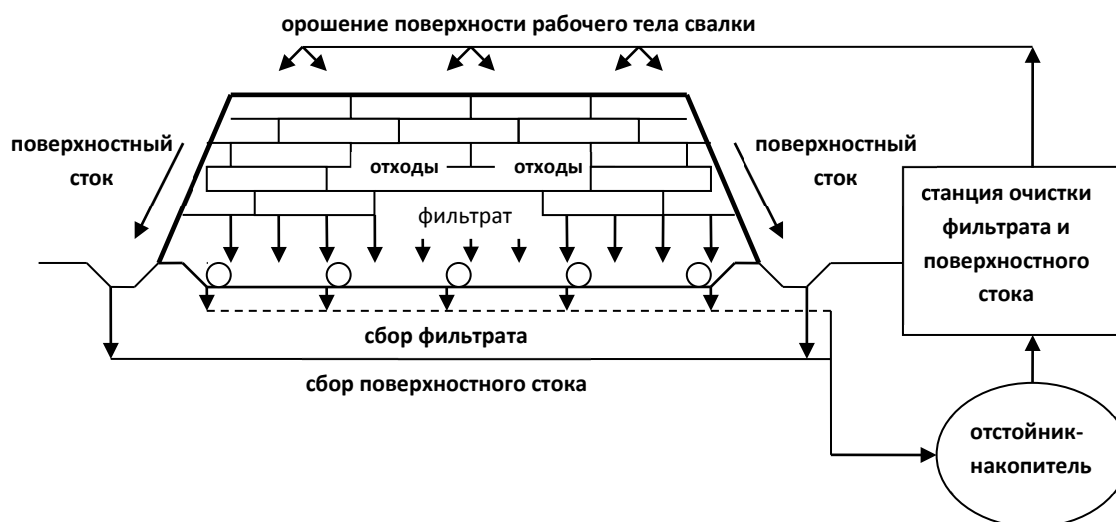


Рис. 2 – Схема сбора, отвода и рециркуляции фильтрата полигона ТКО

Заключение

В результате исследований установлено, что основной объем образующегося фильтрата полигона ТКО поселка Солнечный формирует количество выпавших на поверхность его рабочего тела атмосферных осадков. Анализ долевого участия основных факторов формирования водного баланса полигона ТКО позволил сформулировать основные аспекты построения системы управления отводом фильтрата и поверхностных стоков, снижающей, в перспективе, негативное воздействие объекта захоронения ТКО на окружающую среду.

Список литературы

1. Вайсман Я.И., Чудинов С.Ю., Кравченко Д.С. Управление водным балансом полигона ТБО на примере полигона в г. Краснокамске // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2012. № 1. С. 43 – 57.
2. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Анализ условий образования фильтрата на полигонах по захоронению твердых отходов потребления. URL: http://www.rusnauka.com/18_ADEN_2013/Tesnic/13_139660.doc.htm (дата обращения: 24.04.2021).
3. Вайсман Я.И., Кортаев В.Н., Петров В.Ю., Зомарев А.М. Управление отходами. Полигоны захоронения твердых бытовых отходов. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2007. – 464с.

05.13.01

**Р.И. Нургалиев, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов, Т.В. Городжа, А.А. Василец,
Р.М. Муратов, А.Ж. Сахабутдинов, А.Ф. Аглиуллин, Э.Ф. Хазиев**

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

АЛГОРИТМ ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХУЗКИХ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

В работе представлены результаты синтеза алгоритма зондирования сверхузких резонансных структур (СРС) в оптическом волокне (ОВ) с помощью асимметричного трехчастотного векторного анализатора сетей. На примере резонансных структур Фано (РСФ) показана, что реализация алгоритма позволяет осуществить характеризацию их амплитудно-частотных характеристик с разрешающей способностью в 8-10 фемтометров. Данная характеристика определяется модуляционным разном боковых частот зондирующего излучения на 10-12 МГц, что дополнительно позволяет проводить обработку информационных сигналов в области минимальных шумов фотоприемника с повышением чувствительности и отношения сигнал/шум измерений. Обсуждены вопросы формирования аналогичной схемы для характеристики контура усиления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) с разрешающей способностью в единицы аттометров.

Ключевые слова: *оптический векторный анализатор; сверхузкие резонансные структуры в оптическом волокне; резонанс Фано; контур усиления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна; асимметричное модуляционное преобразование оптической несущей; трехчастотный зондирующий сигнал.*

Введение. К СРС в ОВ относятся структуры РСФ с шириной контура 1-10 МГц и контура усиления ВРМБ с шириной контура 0,1-1 МГц. Они отличаются математической записью формы профиля.

Контур РСФ записывается в виде нормированной по амплитуде функциональной зависимости:

$$G_{\text{Fano}}(\omega, \sigma, q) = A_{\text{Max}} \cdot \frac{q^2 + 1}{(q^2 + 1)^2} \cdot \frac{(q^2 + 1 + q \cdot \sigma \cdot \omega)^2}{q^2 + (1 + q \cdot \sigma \cdot \omega)^2} + \text{rnd}(1) \cdot A_{\text{Noise}} \quad (1)$$

где q – феноменологический параметр асимметрии формы линии (параметр Фано), меняющийся в диапазоне от $(-\infty, \infty)$; A_{Max} – максимальная амплитуда; p – параметр, отвечающий за спектральную ширину контура; ω – частота; A_{Noise} – максимальная амплитуда шумовой составляющей; $\text{rnd}(1)$ – функция генерации псевдослучайной последовательности для моделирования шума [1].

Экспоненциальное затухание акустических волн приводит к тому, что спектр усиления $g_{\text{MB}}(\nu)$ ВРМБ будет иметь форму Лоренца

$$g_{\text{MB}}(\nu) = g_0 \frac{(\Delta\nu_{\text{MB}}/2)^2}{(\nu - \nu_{\text{MB}})^2 + (\Delta\nu_{\text{MB}}/2)^2}, \quad (2)$$

где $\Delta\nu_{\text{MB}}$ – ширина спектра на полувысоте, g_0 – максимальный коэффициент усиления [2].

Исследование спектральных характеристик сверхузких резонансных структур в оптическом волокне, в нашем примере РФ и ВРМБ, ведется на основе принципов зондирования асимметричным трехчастотным сигналом с целью определения их разностной частоты, амплитуд и полной ширины на половине высоты левой и правой адресных частотных составляющих, предложенным нами в [3, 4].

Решение задачи на примере контура РСФ. Несомненно, использование резонанса Фано с точки зрения повышения разрешающей способности измерений дает мощный стимул в развитии сенсорики, но с другой ставит проблему характеристики формы резонансного контура, определения его центральной частоты, максимального усиления и добротности. Особое внимание следует уделить методам характеристики таких СРС, которые будут рассмотрены ниже.

Нами разработан метод ассиметричного трехчастотного зондирования контура РСФ в слабо отражающей кольцевой ВБР с фазовым π -сдвигом. Механизм получения полигармонического излучения и применения его в зондировании предложен в работах [5].

На рис. 1 представлено ситуационное расположение РСФ и ассиметричного трехчастотного зондирующего излучения.

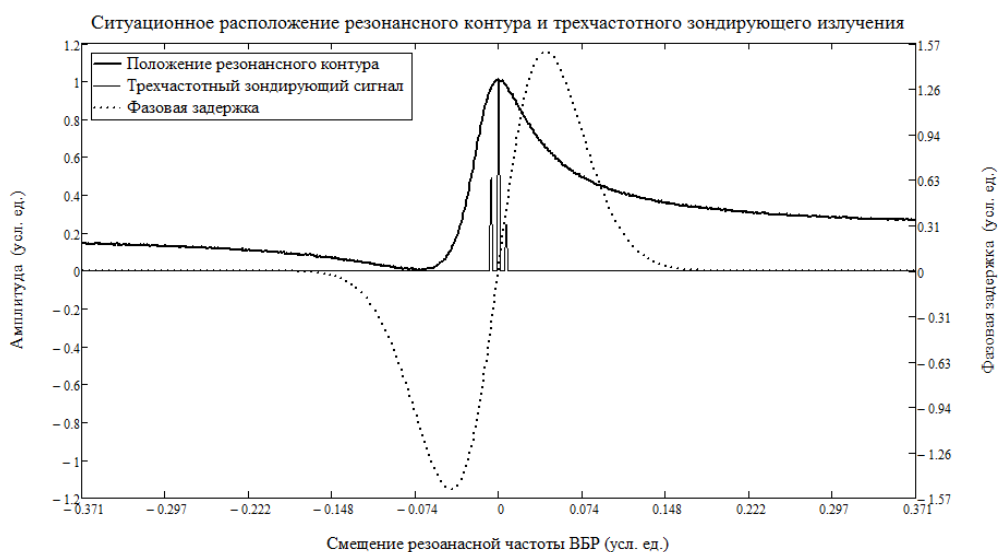


Рис. 1 – Ситуационное расположение РСФ, излучения АТЗ и фазовой задержки

График на рис. 2 был построен для конкретных значений параметров (1): $A_{\text{Max}} = 1$ усл. ед.; $q = 2$ – асимметричный резонанс Фано; $\sigma = 35$ усл. ед.; $A_{\text{Noise}} = 0.01$ усл. ед. (A_{Noise} составляет 1% от A_{Max}) и положением АТЗ излучения в центр контура Фано.

Для формы РСФ было произведено зондирование резонансного контура АТЗ излучением с вычислением амплитуд результирующего излучения, прошедшего через нее. На рис. 2 приведены амплитуды выходного излучения для каждой из трех компонент, получившиеся в результате вычислений по методу АТЗ.

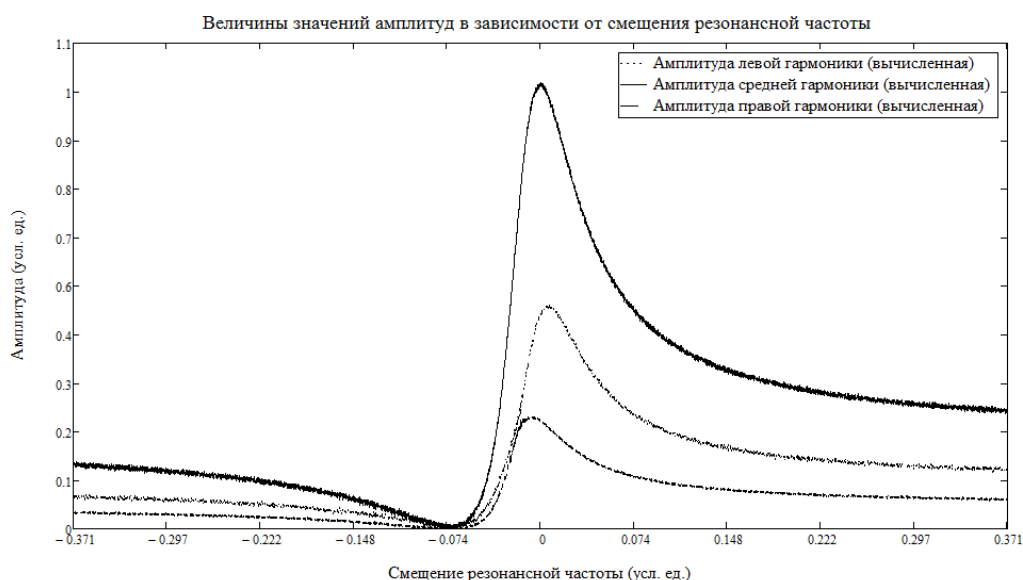


Рис. 2 – Спектральная характеристика РСФ, полученная в качестве решения системы уравнений метода в зависимости от смещения центральной частоты (сплошная линия – амплитуда центральной частоты, пунктирная линия – амплитуда левой, точечная линия – амплитуда правой составляющей излучения АТЗ)

Как можно видеть, метод АТЗ показывает результаты хорошего восстановления формы исследуемого резонансного контура для различных вариантов формы профиля, даже при наличии шумовой составляющей в 1% от максимального значения амплитуды контура.

Обсуждение результатов. Одночастотные волоконные лазеры широко применяются во многих областях. В [6] представлен оптоволоконный фильтр со сверхузкой полосой пропускания, который состоит из последовательно соединенных серийно выпускаемых фильтров на общей волоконной брэгговской решетке (ВБР) с частичным перекрытием в их спектре отражения. Полоса пропускания фильтра с центральной длиной волны отражения 1549,83 нм достигает 0,024 нм при отражении 3 дБ, что является значительным сокращением примерно на 300% ширина полосы, используемой для получения излучения на одной FBG. В результате получен одночастотный волоконный лазер с длинным линейным резонатором в 30 см реализован и с шириной линии 941 Гц на уровне 3 дБ. Использование такого лазера позволит достичь разрешающей способности контуров РСФ и ВРМБ в единицы аттометров. При использовании стандартных VSCEL лазеров разрешение составляет 8-10 фемтометров. Данная характеристика определяется модуляционным разномом боковых частот зондирующего излучения с шириной линии в 100 кГц на 10-12 МГц.

Заключение. Трехчастотное зондирование несимметричной РСФ позволяет получить достаточное количество информации, чтобы исследователь мог полностью восстановить как их спектральную характеристику, так и определить положение центральной длины. При этом следует отметить, что модель верна и для характеристики РСФ при его симметричных реализациях, и для контура усиления ВРМБ. При этом для последнего требуется применение сверхузкополосного суб-килогерцового волоконного лазера. В этих случаях возможно без сканирования (основное условие – попадание всех зондирующих составляющих в полосу пропускания резонансного контура), используя математические процедуры подгонки, определить и максимальную амплитуду резонанса, и его добротность.

Список литературы

1. *Campanella C.E. et al.* Investigation of refractive index sensing based on Fano resonance in fiber Bragg grating ring resonators // *Optics Express*. 2015. V. 23, № 11. P. 14301-14313.
2. *Agrawal G.P.* Nonlinear Fiber Optics. Academic Press, Boston, MA, 1989.
3. *Губайдуллин Р.Р. и др.* Алгоритм зондирования высокодобротных волоконно-оптических структур // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2020. № 6. С. 16-19.
4. *Заболотный В.А. и др.* Алгоритм формирования двухчастотного зондирующего излучения для мониторинга симметричных высокодобротных волоконно-оптических структур // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2020. № 6. С. 20-23.
5. *Морозов О.Г. и др.* Математическая модель сканирования произвольного резонансного контура непрерывным трехчастотным лазерным излучением // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. 2019. Т. 22. № 4-2. С. 106-113.
6. *Wen Q. et al.* Sub-kilohertz linewidth fiber laser by using Bragg grating filters. *Appl. Opt.* 2021. V. 60. P. 4299-4304.

05.13.01

**Д.А. Сергеева, А.А. Тяжелова, Г.Х. Ашимова, Л.М. Сарварова,
О.Н. Захарова, О.Ю. Веретенина, А.Ф. Аглиуллин**

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

ЛИДАР КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА В ВЫДЫХАЕМОМ ВОДИТЕЛЕМ ВОЗДУХЕ НА СМАРТФОНЕ

Системы контроля состояния водителя и стиля его вождения на базе смартфонов имеют ряд преимуществ по сравнению со встроенными системами: портативность, низкую стоимость и возможность работы с открытыми интерфейсами. Кроме того, поскольку смартфон — это персональное устройство, его легко настроить под хозяина-водителя, обучить и адаптировать. В работе представлена дополнительная надстройка к смартфону — лидар контроля концентрации этанола в выдыхаемом водителем воздухе, который построен на пропорциональной зависимости между концентрациями этанола в крови альвеолярных капилляров и альвеолярном воздухе, т.к. молекулы этанола свободно диффундируют через клеточные мембраны. Обсуждены вопросы выбора источника излучения для лидара и его компоновки со смартфоном.

Ключевые слова: система контроля состояния водителя; концентрация этанола в выдыхаемом воздухе; лидар; метод накопления; смартфон

Введение. Различные встроенные датчики смартфона могут распознавать разные виды реальных дорожных ситуаций и ситуаций в салоне. В одном из последних исследований [1] предложено использовать смартфон для построения системы обнаружения сонного вождения на ранней стадии. В этой системе с помощью громкоговорителя и микрофона смартфона регистрируются кивки головы, зевота, для чего используется и доплеровский сдвиг звука, отраженного от тела.

Авторы другого исследования [2] представили подход, который в основном концентрируется на использовании датчика акселерометра смартфона для отслеживания различных признаков агрессивной маневры вождения. Внезапное торможение и внезапное ускорение определяется по изменению продольного ускорения датчика смартфона.

Другой подход [3] также использует несколько встроенных в смартфон датчиков (GPS, акселерометр, гироскоп и камера) для анализа поведения водителя на основе логов программного обеспечения.

В статье [4] представлен подход и тематическое исследование распределенной системы мониторинга водителя. Система использует датчики смартфона для обнаружения опасных состояний водителя в автомобиле. Навесной смартфон крепится на лобовое стекло транспортного средства, направлен в сторону лица водителя, состояние которого отслеживается фронтальной камерой. Используя информацию видеокамеры, а также другие датчики, определяется сонливость, отвлечение от дороги, агрессивное вождение и высокий пульс, которые могут привести к дорожно-транспортным происшествиям. Для анализа данных используется облачный сервис.

Задачей данной работы является разработка дополнительной надстройки к смартфону — лидар контроля этанола в выдыхаемом водителем воздухе, который построен на пропорциональной зависимости между концентрациями этанола в крови альвеолярных капилляров и альвеолярном воздухе, т.к. молекулы этанола свободно диффундируют через клеточные мембраны. Оптические датчики, работающие по принципу спектроскопии в

инфракрасном свете (ИК-спектроскопия), это наиболее дорогие, сложные и высокоизбирательные алкотестеры. В силу своей дороговизны и конструктивных особенностей они крайне редко применяются в портативных системах. Однако нами предложен лидар, построенный по принципам моноимпульсной схемы с использованием системы интегрального накопления.

Принцип действия лидара. Устройство, предлагаемое в данной статье, основано на недисперсионном инфракрасном поглощении (НИП), которое, как известно, является высокоселективным методом обнаружения газа. Устройство предназначено для установки как надстройка на смартфон со стороны USB разъема и обеспечивает питание лазерного диода для зондирования пробы выдыхаемого воздуха водителем, а также питание фотоприемника, принимающего импульс, отраженный от лица водителя. Поскольку анализ может проводиться периодически во время движения транспортного средства, никто, кроме водителя, не может повлиять на его результаты. Поскольку газовая селективность метода поглощения НИП очень высока, ошибочные суждения можно предотвратить. Кроме того, в отличие от электронных датчиков поглощающего типа, поскольку в нем не участвуют химические реакции, датчик не выходит из строя, поэтому регулярное обслуживание не требуется.

На рис. 1 показана схематическая диаграмма предлагаемой автомобильной системы обнаружения алкоголя на основе НИП.



Рис. 1 – Схематическая диаграмма предлагаемой автомобильной системы:

ЗЛ – зондирующий луч; ОЛ – отраженный луч

По измеренной концентрации алкоголя в дыхании водителя система определяет, пил ли водитель.

Выбор лазерного источника излучения для приборов "ближнего действия", т.е. приборов, не требующих большой энергии лазерного излучения, очень широк.

В нем особое место занимают разнообразные лазерные полупроводниковые диоды, которые перекрывают диапазон от жесткого УФ- до дальнего ИК-излучения [5]. В этой области лучшие результаты по уровню выходной мощности, подавлению фазовых шумов и боковых мод излучения достигнуты в ближней. Однако, поскольку дыхание водителя сильно разбавлено, а также отсутствует специальная всасывающая система, требуется чрезвычайно высокая чувствительность. Этого можно добиться, увеличив как интенсивность инфракрасного излучения, так и длину оптического пути. Если первое возможно, но ограничено безопасностью глаз водителя, то второе нет. Тогда необходимо применение третьего решения – интегрального накопления импульсов.

Эксперимент. В ходе экспериментов испарялись водные растворы спирта с концентрацией $C=0$ и $C=2 \times 10^{-3}$. Они соответствуют концентрации алкоголя в крови человека от 0 до 3 ‰. Измерения проводились на потоке испарения спирта, имитируя поток воздуха, выдыхаемого водителем. Пропускание этого пара измерялось прибором. Результаты исследований представлены на рис. 2.

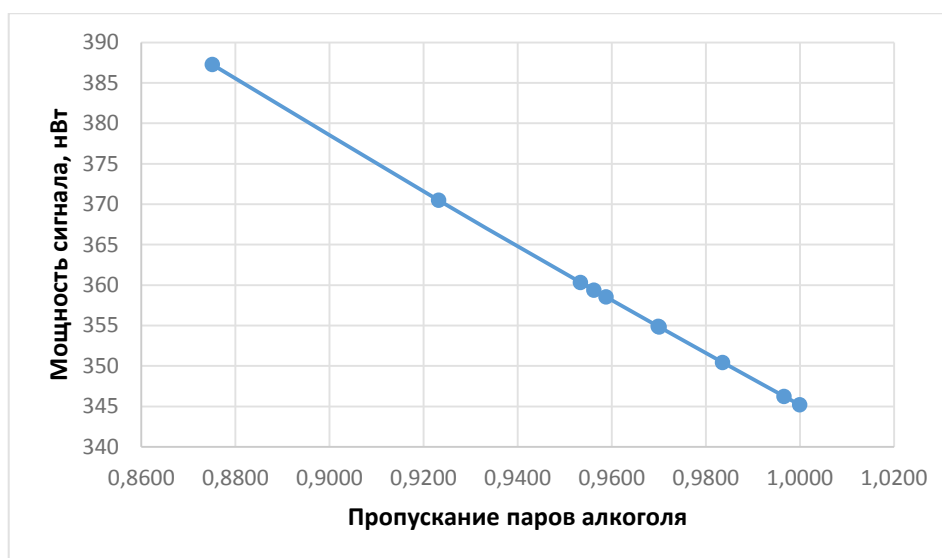


Рис. 2 – Зависимость пропускания паров алкоголя от мощности

Результаты исследований, представленные в этой статье, показывают, что разработанное устройство работает не на пороге чувствительности фотоприемника, а значительно выше.

Это объясняется тем, что отражающим элементом в эксперименте являлись элементы очков водителя. При отражении от лица человека ожидается падение сигнала на 2-3 порядка. Число накапливаемых импульсов составляло 20 за 2 секунды.

Лидар способен обнаруживать пары алкоголя в автомобиле, в котором присутствует человек с концентрацией алкоголя в крови не менее 0.1 ‰. Более того, в реальной ситуации, когда концентрация алкоголя в крови человека составляет 0.1 ‰, можно ожидать еще более высокую концентрацию паров алкоголя в выдыхаемом воздухе, поскольку температура легких человека составляет ~37 °С, что намного выше, чем в наших экспериментах (24,2 °С).

Заключение. Учитывая изложенные данные можно сделать вывод о высокой перспективности применения предложенного лидара, как приставки к смартфону и составному узлу систем мониторинга состояния водителя и движения автомобиля, описанных в [4] и нами в [6-8].

Список литературы

1. Xie Y., et al. D3-Guard: Acoustic-based Drowsy Driving Detection Using Smartphones // IEEE Conference on Computer Communications, Paris, France. 2019. P. 1225-1233.
2. Chhabra R., Verma S., and Challa R. Detecting Aggressive Driving Behavior using Mobile Smartphone // 2nd International Conference on Communication, Computing and Networking. 2019. P. 513-521.
3. Warren J., Lipkowitz J., and Sokolov V. Clusters of Driving Behavior From Observational Smartphone Data // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. 2019. V. 11. № 3. P. 171-180.
4. Kashevnik A., et al. Cloud-Based Driver Monitoring System Using a Smartphone // IEEE Sensors Journal. 2020. V. 20. № 12. P. 6701-6715.
5. Васильев Д. и др. Лазерная диодная спектроскопия. Бесконтактная система измерения концентрации паров этилового спирта в выдохе человека // Фотоника. 2016. №1. С. 70-83.
6. Morozov O.G., et al. Interrogator for vibration and shape mode sensing using an address fiber Bragg grating array // 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2020. P. 9078576.
7. Sakhabutdinov A.Zh., et al. Numerical modeling of microwave-photonic sensor system for load sensing bearings // 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020. 2020. P. 9131447.
8. Morozov O.G., et al. Modeling of microwave-photonic system for assessing the tangential component of tire deformation // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020. 2020. P. 9131541.

05.13.01

Д.А. Сергеева, А.А. Тяжелова, Г.Х. Ашимова, Л.М. Сарварова,
О.Н. Захарова, О.Ю. Веретенина, А.Ф. Аглиуллин, А.Н. Пикулев

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

ОСНОВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАНОБИОСЕНСОРОВ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

В данной статье рассматриваются основные информационные параметры, относящиеся к устройствам измерения объемного показателя преломления (ПП), например, при анализе ДНК, построенных на основе волоконно-оптических нанобиосенсоров. Три наиболее распространенных и важнейших параметра – это чувствительность и разрешение измерения ПП, а также полоса пропускания сенсора, например, нановолоконной брэгговской решетки (НВБР), используемой для анализа, на полувысоте. Для каждого из них дается определение и описание, а также пояснение физического смысла. При этом указанные параметры определены нами в ходе разработки модельного ряда рефрактометрических датчиков на основе параллельной схемы ОНРТ с компенсацией температуры.

Ключевые слова: нанобиосенсор рефрактометрического типа; чувствительность; разрешение; полоса пропускания нанобиосенсора на полувысоте; показатель качества нанобиосенсора

Введение. Оптические нанобиосенсоры рефрактометрического типа (ОНРТ) на основе НВБР стремительно развиваются последнее десятилетие, находя широкое применение как для контроля сверхмалых концентраций различных веществ в растворах, так и для анализа гибридизации ДНК [1, 2]. Информация в ОНРТ характеризуется величиной сдвига центральной длины волны ВРБ в зависимости от изменения коэффициента преломления внешней оболочки волокна, сформированной в чувствительной зоне нанобиосенсора анализируемой средой. Указанные выше процессы отличаются динамикой измерений, которая находится в пределах от единиц секунд (измерение концентраций) до десятков минут (гибридизация ДНК), и определяет требования к метрологическим, конструктивным и эксплуатационным характеристикам нанобиосенсоров различного назначения [3].

Задачей данной работы является определение основных информационных параметров, относящихся к устройствам измерения объемного ПП, построенных на основе НВБР. Три наиболее распространенных и важнейших параметра – это чувствительность и разрешение измерения ПП, а также полоса пропускания различных НВБР-структур, используемых для анализа, на полувысоте. Для каждого из них дается определение и описание, а также пояснение физического смысла. Отдельно рассматривается показатель качества нанобиосенсоров.

Чувствительность измерения ПП. Чтобы оценить чувствительность измерения ПП, необходимо построить кривую отклика ОНРТ. Она строится путем отслеживания изменения сигнала (т.е. длина волны резонансного пика λ НВБР или пиковой интенсивности I) как функция изменения ПП анализируемой среды. Обычно для каждого оцениваемого ПП значение сигнала усредняется в пределах определенного временного интервала или в пределах определенного количества измерений, что приводит к получению экспериментально полученной точки (среднему значению) и соответствующей ошибки измерений (стандартному отклонению σ).

Чувствительность S датчика к ПП может быть получена путем дифференцирования кривой отклика в определенном диапазоне ПП ($\partial \mathcal{N} / \partial n$ или $\partial I / \partial n$), где n – ПП анализируемой среды, и выражается в нанометрах на единицу показателя преломления (RIU – от англ. Refractive Index Unit) или децибелах на RIU. Стоит отметить, что некоторые НВБР-структуры демонстрируют нелинейный отклик с приращением ПП, например, интерферометр Фабри-Перо (ИФП) на двух НВБР. Это является причиной того, что для практических измерений выделяется тот участок кривой, где она наиболее линеаризована. В случае использования классических НВБР или длиннопериодных решеток, чувствительность возрастает экспоненциально по мере приближения ПП анализируемой среды к ПП оболочки волокна [4]. В этом случае ОНРТ демонстрирует наивысшую чувствительность при измерении ПП.

Разрешающая способность измерений ПП. В то время как чувствительность измерения ПП довольно просто и четко определяется, оценка разрешения R более сложный и часто очень запутанный вопрос. Разрешение определяется как наименьшее изменение ПП, которое может измерить ОНРТ, другими словами, R представляет собой наименьшее изменение ПП, которое вызывает измеримое изменение длины волны или интенсивности. Следовательно, R пропорционально чувствительности S , но зависит от спектральной интенсивности всех источников шума, влияющих на стабильность сигнала, которую можно экспериментально получить через стандартное отклонение измерений σ . Фактически σ включает в себя все источники шума: оборудования, окружающей среды, методические погрешности расчета максимальной длины волны или интенсивности, повторяемость, а также инструментальные погрешности. Следовательно, разрешение может быть рассчитано по следующей формуле:

$$R = p\sigma / S \quad (1)$$

выражается в единицах показателя преломления; σ рассчитывается путем рассмотрения набора измерений в повторяемых и воспроизводимых условия (включая все индивидуальные источники шума); p представляет собой доверительный интервал.

Обычно R просто оценивается путем деления спектрального разрешения прибора на чувствительность S . Действительно, это не разрешение сенсора, а максимальное теоретическое разрешение. Кроме того, следует выделить еще одну важную концепцию: часто игнорируется тот факт, что R не может быть одинаковым во всем диапазоне работы датчика из-за нелинейного характера S . Этот означает, что следует рассматривать минимальное и максимальное разрешение измерения ПП, так как это делается для точности измерений.

Полоса пропускания НВБР-структур на полувысоте и показатель качества (ПК) ОНРТ. ПК (от англ. FOM – Figure Of Merit) нормализует чувствительность S к ширине резонансного пика НВБР-структуры, которая характеризуется полной спектральной шириной датчика на полувысоте, полосе пропускания (от англ. FWHM – Full Width on Half Maximum)), которая описывает, насколько точно можно измерить резонансный пик по длине волны или по интенсивности. ПК можно выразить как:

$$\text{FOM} = S / \text{FWHM}. \quad (2)$$

Как правило, чем выше S , тем больше FOM. Однако очень трудно обеспечить большую чувствительность при узкой ширине резонанса обычными средствами. И наоборот, обычно устройства с очень узкой полушириной демонстрируют не очень высокую чувствительность. Это означает, что всегда существует компромисс между S и FWHM. Устройства на базе НВБР традиционно имеют очень узкую FWHM порядка 10^{-2} нм при не очень высокой чувствительности порядка 10^2 нм/RIU. Оценки, проведенные нами, и результаты, приведенные в работах других авторов [1-4], показали, что величина S в конфигурации ИФП с вытравленным резонатором меньше, чем S ОНРТ на базе НВБР. На основе данных указанных источников предельно детектируемое изменение коэффициента преломления для первого типа ОНРТ от двух до десяти раз меньше, чем для второго и составляет соответственно 10^{-5} и 10^{-6} RIU [4]. Компенсировать указанную разницу можно при

изготовлении ОНРТ в конфигурации ИФП с травлением по полной оптической длине. Тогда полная чувствительность биосенсора будет определяться комплексным откликом НВБР и фазовым сдвигом резонатора ИФП, не ухудшая при этом значения указанного для решеток Брэгга.

Недостатком приведенного решения является появление нелинейной зависимости между сдвигом длины волны и изменением коэффициента преломления, однако сохраняется значительное увеличение в разрешающей способности рефрактометрических измерений. Реально достижимая полуширина резонансного спектра ОНРТ в конфигурации ИФП составляет по данным [4] 0,025 нм, а для НВБР – 0,1-0,5 нм. Это значит, что разрешающая способность ИФП биосенсора по максимуму в 20 раз лучше, чем у датчика на одной НВБР. Развивая данный подход можно использовать для создания ОНРТ с НВБР с фазовым π -сдвигом, которая представляет собой простейший ИФП с длиной резонатора, не превышающей одного периода решетки. Полуширина резонансного пика такого типа решеток может достигать 0,005 нм, что свидетельствует о возможном увеличении разрешающей способности измерений на два порядка по сравнению с датчиком на одной ВРБ.

Следовательно, датчик последнего типа предпочтительнее с точки зрения ПК, а первый - с точки зрения S.

Заключение. Учитывая изложенные данные можно сделать вывод о широком спектре подходов к проектированию ОНРТ и оценке их параметров, которые мы использовали для разработки датчиков контроля аккумуляторных батарей [5, 6] и будем использовать для внедрения чипов для контроля ДНК.

Список литературы

1. Садыков И.Р. и др. Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // Труды МАИ. 2012. № 61. С. 18.
2. Морозов О.Г. и др. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток брэгга с фазовым сдвигом // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: РиС. 2010. № 3 (10). С. 3-13.
3. Куприянов В.Г. и др. Волоконно-оптические технологии в распределенных системах экологического мониторинга // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4-4. С. 1087-1091.
4. Chiavaioli F. et al. From Refractometry to Biosensing with Optical Fibres // Optical Fibre Sensors: Fundamentals for Development of Optimized Devices, First Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2021.
5. Морозов О.Г. и др. Волоконно-оптический рефрактометр для мониторинга состояния аккумуляторных батарей // Электропитание. 2014. № 4. С. 34-35.
6. Казаров В.Ю., Морозов О.Г. Волоконно-оптические рефрактометры на основе брэгговских решеток с фазовым π -сдвигом // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2016. № 8. С. 34-41.

05.13.01

**Л.Б. Строгонова д-р техн. наук, Ю.А. Васин канд. техн. наук,
А.Е. Сорокин канд. экон. наук, А.М. Гунькин, К.П. Сафронова**

Московский авиационный институт (НИУ) МАИ,
Институт №6 «Аэрокосмический»,
кафедра 614,
kaf614@mai.ru

К ВОПРОСУ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ

Микробиологическая безопасность является особенно острой проблемой при планировании длительных и межпланетных космических полетов. К сожалению, проблема имеет ряд особенностей, затрудняющих ее решение. В статье рассматриваются методические пути совместного математического и инженерного решения поставленной проблемы. Предложенные методы реализованы в лабораторном эксперименте.

Ключевые слова: *микробиологический контроль, математические методы, микрогравитация.*

Введение

Опыт эксплуатации космических показал, что в среде обитания человека всегда присутствует микробиологическая опасность как для членов экипажа, так и для конструкции станции. Доказано, что условия микрогравитации повышают метаболическую активность микроорганизмов. В длительных космических полётах жизнедеятельность отдельных микроорганизмов способна приводить к нарушению работы приборов и выводить из строя работу систем жизнеобеспечения. [1]

Для обеспечения нормальной работы космонавтов и приборов, был разработан комплекс мер по наблюдению за параметрами микробиологической среды - микробиологический контроль. Список параметров закреплён в ГОСТ Р 50804-95. Важно отметить, что общее количество микроорганизмов (КОЕ) не даёт понимание о мере их опасности. Опасность представляют только "живые", или способные к делению микроорганизмы. По этой причине, такие методы как метод прямого подсчёта числа микроорганизмов или метод оптического определения количества микроорганизмов, не могут применяться для оценки опасной концентрации микроорганизмов. Самым простым методом определения КОЕ в исследуемой пробе является метод посева пробы на питательную среду.

В данное время на Международной Космической станции (МКС) используется следующий порядок микробиологического контроля: отбираются пробы с поверхностей, они консервируются, спускаются на Землю, доставляются в исследовательский центр, далее производится посев пробы и определяются основные характеристики среды.

Очевидно, что для долгосрочных космических полётов, которые предполагают удаление от Земли, данный порядок микробиологического контроля не подходит. Важно организовать исследование проб непосредственно на самом космическом аппарате, обеспечив при этом безопасность и возможность проведения анализа непрофессиональными микробиологами в процессе полёта. [2]

Целью проводимых исследований является разработка математических и инженерных методов и средств для автономного микробиологического анализа проб в условиях длительных космических полётов. [3]

Основы инженерной методики (описание экспериментального прибора)

Устройство прибора представлено на рисунке 1, где 1 - основной отсек, 2 - отсек увлажнения воздуха, 3 - замок крышки кассеты, 4 - вал крыльчатки, 5 - подшипник скольжения, 6 - съёмная перегородка между отсеком увлажнения и принудительной вентиляции, 7 - металлические вставки в крыльчатке, 8 - крыльчатка.

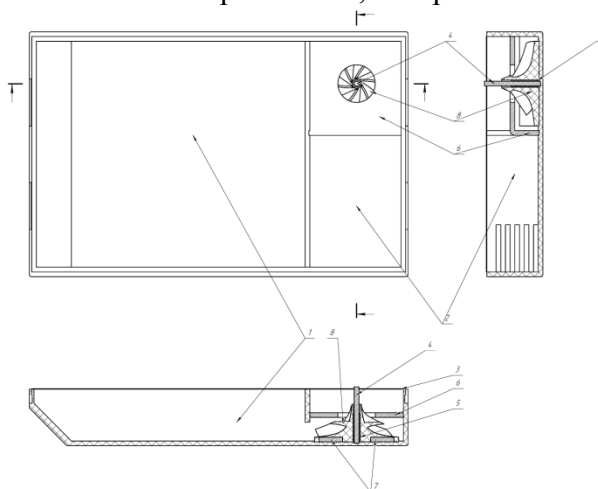


Рис. 1 – Кассета-инкубатор

Второй отсек предназначен для увлажнения воздуха. Поскольку в условиях микрогравитации отсутствует естественная конвекция, в кассете предусмотрен отсек для принудительной вентиляции. Вращение крыльчатки происходит за счёт внешнего вращающегося магнитного поля. Все три отсека имеют между собой вентиляционные отверстия так, чтобы воздух из основного отсека проходил через отсек увлажнения, попадал в отсек для принудительной вентиляции и из него возвращался в основной отсек.

Аналитическая часть

В приборе есть отсек для установки кассеты с пробой. Нагревательный элемент передаёт тепло через стенку кассеты на питательный слой и обеспечивает оптимальную температуру инкубации. Со стороны прозрачной крышки установленной кассеты располагается длиннофокусный микроскоп. Микроскоп закреплён на позиционной платформе, которая позволяет ему перемещаться по двум независимым координатам для обзора всей площади поверхности питательной среды. Через прозрачную крышку кассеты, микроскоп производит сканирование поверхности питательной среды и регистрировать рост микроорганизмов. Изображение с микроскопа передаётся в электронный вычислительный центр прибора для анализа.

Методика позволяет проводить определения микробиологического объекта, непосредственно на борту.

Подготовка пробы

Увлажнённым стерильным тампоном проводят по исследуемой поверхности. Площадь исследуемой поверхности может различаться в зависимости от целей исследования, загрязнённости и микробиологической нагрузки на поверхность. На значение этой площади будут пересчитываться результаты исследования.

Далее, тампоном проводят по всей поверхности питательного слоя на кассете. В кассету, в отсек увлажнения, добавляется рабочее тело и она закрывается крышкой. Указанные действия не требуют специального образования.

Процесс инкубации пробы

После установки кассеты с пробой, прибор-анализатор обеспечивает нагрев до оптимальной температуры и регулирует циклы вентиляции в кассете. При помощи микроскопа происходит периодическое сканирование поверхности питательной среды. Все результаты сканирования сохраняются для анализа роста колоний микроорганизмов.

Обработка данных

В процессе инкубации и сканирования поверхности пробы, получается массив изображений, который показывает динамику образования колоний.

Каждая группа микроорганизмов имеет свои уникальные частотные характеристики. Применение частотной фильтрации к каждому полученному изображению позволяет получить характерные отпечатки или сигнатуры клеток. Это позволяет выделить на изображении координаты определённых микроорганизмов. После определения координат, определяются группы с помощью кластерного анализа. За критерий определения кластера, берётся расстояние между координатами микроорганизмов на изображении. Каждый кластер определяется по следующему критерию:

$$ras_i = \min \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{\sqrt{(I_{x_i} - I_{x_{i+1}})^2 + (I_{y_i} - I_{y_{i+1}})^2}}{2} \right) \quad (1.1)$$

Где, res_i - среднее расстояние между точек,. Заменяв этим элементом две точки из исходного множества, получаем новый, $I_2(x,y)$ который меньше первого $n-1$. Повторяя операцию $n-1$ раз улучшаем множества $I_j(x,y)$ где j - количество кластерных слоёв $j = n-1$.

Самый последнее множество $I_{n-1}(x,y)$ - содержит две точки между двумя максимальными кластерами. Обычно срез делается по условию:

$$r = \max(res_i) \quad (1.2)$$

По этому условию делается срез, и получим срез i кластеров.

$n_k = n-1-j$ - количество кластеров.

А множество $Ink(x,y)$ - содержит центры кластеров.

После этого, определяется динамика кластера. Динамика определяется обработкой и определением кластеров на всём массиве полученных изображений. Она показывает рост количества микроорганизмов со временем.

В динамике развития колоний выделяют несколько фаз. Для точной идентификации колонии, необходимо чтобы рост числа новых элементов, соответствовал фазе роста колонии. Критерием может быть соответствие роста числа микроорганизмов кластера экспоненциальной аппроксимации. Это критерий, по которому можно сделать заключение о найденной колонии:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha N \longrightarrow N = N_0 e^{\alpha t} \xrightarrow{N_0=1} e^{\alpha t} \quad (2)$$

Где N - количество единиц в колонии, α - коэффициент скорости роста. N_0 - начальное количество единиц. В большинстве случаев начальную колонию формирует одна единица, поэтому N_0 можно принять равной 1, однако при слиянии колоний или при слиянии кластера это число будет увеличиваться соразмерно количеству слившихся колоний.

После окончания инкубации получается окончательное число колоний в которых наблюдался рост числа микроорганизмов. Полученное число делится на площадь поверхности с которой была взята проба. Это число будет показывать концентрацию микроорганизмов на исследуемой площади. Эти значения сравниваются с параметрами в ГОСТ Р 50804-95 и учувствуют в принятии решений о графике проведения профилактических процедур.

Заключение

Таким образом, представленные инженерные и математические методы позволят проводить процедуры по определению основных микробиологических параметров среды непосредственно на борту космической станции. Помимо этого, процесс анализа будет ускорен. Это позволит обеспечить большую автономность экипажа и увеличить скорость принятия решений о проведении профилактических и неотложных процедур по дезинфекции гермоотсеков. Применяемый в настоящее время прибор "Бионос", основанный на методе спектрального анализа продуктов обмена веществ микроорганизмов, при совместном использовании с предлагаемыми методами, позволит повысить точность распознавания

микроорганизмов. Следовательно экипаж космической станции сможет применить наиболее адекватные и безопасные методы обеззараживания. Это позволит добиться автономности экипажей межпланетных экспедиций и повысить уровень безопасности экипажей.

Список литературы

1. Новикова Н.Д., "Концепция обеспечения микробиологической безопасности пилотируемой марсианской экспедиции", "Авиакосмическая и экологическая медицина.", 2003г. Т.37. № 5. С.56-59.
2. Новикова Н.Д., "Микробное сообщество среды обитания пилотируемых орбитальных комплексов – проблемы, методы контроля и коррекции", Москва., 2002
3. Строгонова Л.Б., Васин Ю.А., "Technical and mathematical problems of microbiological protection of the manned space vehicle and stations " published by INCAS, 2020

05.13.01

О. Д. Суминов, Д.А. Запевалов, М.В. Фролов, А.А. Добров, Ю.И. Аношкин

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, oleg-ds97@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА ЗМЕЕВИКОВ МАЛОГО РАДИУСА ГИБА

В работе представлены результаты теплофизических исследований в модели теплообменника с пучком змеевиков малого радиусагиба. Основной целью является получение зависимости числа Нуссельта от числа Рейнольдса, сопоставление результатов натурного и виртуального эксперимента.

Ключевые слова: *теплообменник, пучки змеевиков, пористые среды, теплообмен.*

Введение. Теплообменные аппараты с шестигранным расположением змеевиков малого радиусагиба, объединенные в круглую трубную доску имеют ряд преимуществ над обычными аппаратами. Высокая интенсивность теплообмена при высокой турбулентности сред; надёжность работы при циклических нагрузках, это обеспечивается благодаря тому, что только змеевики и коллектор подвергаются действию давления, а они в свою очередь хорошо выдерживают давление; улучшены массогабаритные характеристики. Теплообменники данного типа широко распространены в нефтегазовой, нефтехимической, химической, авиационной и атомной энергетической промышленности[3].

Описание экспериментального стенда. Для проведения теплофизического исследования был изготовлен стенд. Стенд состоит из трубной системы медных змеевиков (количество витков 8), собранных в шестигранный металлический кожух. Схема расположения змеевиков смешанная (шахматно-коридорная), каждый виток соприкасается с соседним витком змеевика, тем самым обеспечивает жесткость сборки, и потребность в дистанционирующем устройстве отпадает. Трубная система помещена в корпус, представляющий собой трубы ПНД. По краям корпуса находятся отверстия для подводного и отводного воздушного патрубка. На входном патрубке установлен нагревательный элемент мощностью 2 кВт и воздухоудувка для обеспечения расхода воздуха. К змеевикам подведена холодная вода, в межтрубном пространстве горячий воздух. Схема движения теплоносителей – противоток. Для подачи воды в змеевики был собран коллектор, соединяющий 19 трубок с трубой питательной воды. На выходе трубок змеевиков по аналогии установлен выходной коллектор.

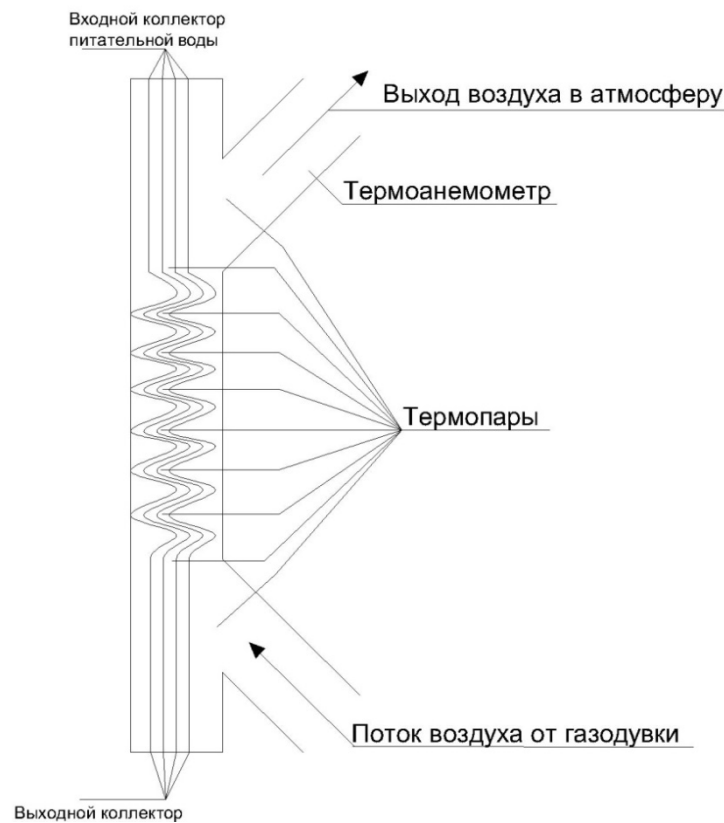


Рис. 1 – Принципиальная схема стенда

Контроль измерения температуры осуществляется при помощи термопар, установленных на входных и выходных участках установки, а так же в активной части трубной системы после каждого витка. За контролем расхода воздуха отвечает термоанемометр, установленный на выходном патрубке. Термопары для измерения температуры воды установлены на входе перед установкой и на выходе после неё.

Методика проведения эксперимента. Реализация эксперимента следующая: с помощью воздуходувки устанавливается определённый расход воздуха через модель, а нагревательный элемент обеспечивает нужную температуру. Термопары снимают показание: воздуха на входном, выходном участке и в центре активной части пучка змеевиков; воды на входе перед установкой и на выходе после неё. Эксперименты проведены в диапазоне расходов воздуха 72 – 476 м³/час, что соответствует диапазону чисел Рейнольдса $Re = 4192-32259$. Расход воды в диапазоне 214 – 498 л/час.

При расчёте коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху необходимо предварительно рассчитать коэффициент теплоотдачи и коэффициента теплопередачи.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде рассчитывается по формуле (3):

$$\alpha_{\text{ж}} = 0.0244 \frac{\lambda}{d} Re^{\frac{5}{6}} Pr^{0.4} \left(\frac{d}{D} \right)^{\frac{1}{12}} \left\{ 1 + \frac{0.061}{(Re (\frac{d}{D})^{2.5})^{\frac{1}{6}}} \right\} \quad (1)[4]$$

где d – внутренний диаметр трубки змеевика, м;

D – внешний диаметр трубки змеевика, м;

λ – коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м·С°).

Коэффициент теплопередачи установки рассчитывается по формуле (4):

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta t} \quad (2)[5]$$

где Q – мощность установки, Вт;

F – площадь поверхности теплопередачи, м²;

Δt – среднелогарифмический температурный напор, С°.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху рассчитывается по формуле (5):

$$\alpha_{\text{в}} = \frac{1}{\frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_{\text{ж}}} - \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}} \quad (3) [5]$$

где $\delta_{\text{ст}}$ – толщина трубки змеевика, м;

$\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности стенки трубки змеевика, Вт/(м·С°);

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·С°).

Виртуальный эксперимент. По аналогу натурального эксперимента был проведен виртуальный в среде ANSYS CFX. Для расчётов создана 3D модель, которая полностью повторяет конструкцию экспериментального стенда. Граничные условия задавались в соответствии с данными, полученными в натурных экспериментах.

Для расчета была выбрана модель SST (модель сдвиговых напряжений Ментера), так как это модель хорошо себя зарекомендовала в расчётах отрывных течений с небольшой зоной отрыва.

Результаты экспериментов (натурный и виртуальный). Результатом обработки данных натурного и виртуального эксперимента является построение зависимости – $Nu = f(Re)$, где Nu – один из основных критериев подобия тепловых процессов, характеризующий подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком жидкости, Re – безразмерный критерий Рейнольдса.

Графически полученные зависимости представлены на Рис. 2.

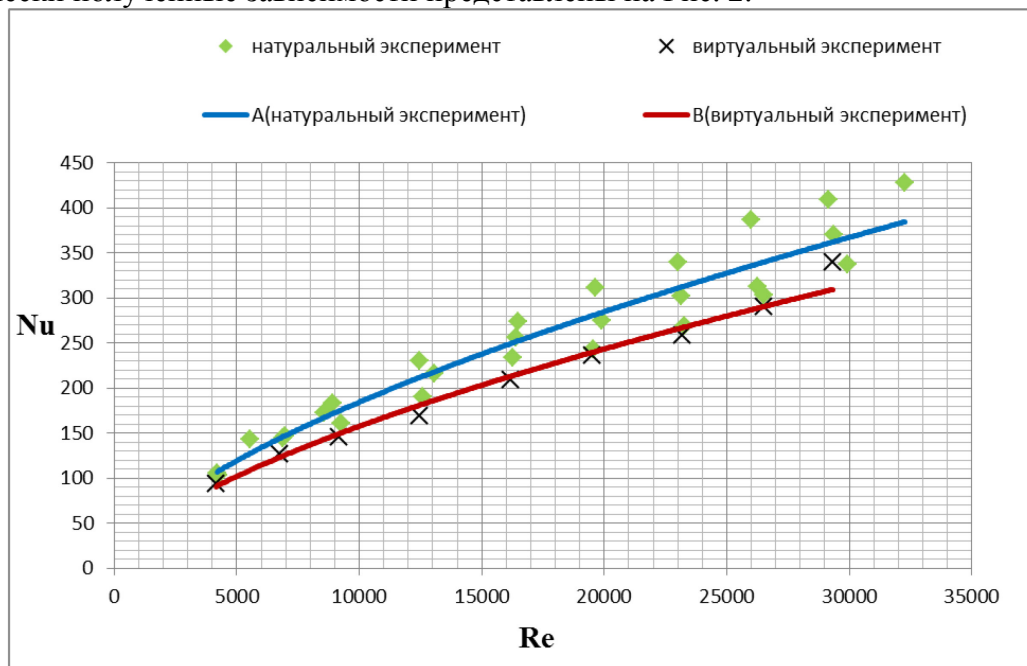


Рис. 2 – Зависимости $Nu = f(Re)$ после обработки данных экспериментов.

$$Nu = 0,572 Re^{0,627} \quad (4) \text{ – зависимость (A).}$$

$$Nu = 0,489 Re^{0,627} \quad (5) \text{ – зависимость (B).}$$

Закключение. Для изучения теплофизических характеристик пучка змеевиков малого радиусагиба был построен экспериментальный стенд, проведены натурные и виртуальные эксперименты. По результатам экспериментов, были выведены зависимости (4) и (5). С увеличением числа рейнольдса увеличивается интенсивность теплообмена, в частности коэффициент теплоотдачи. Кривизна линий зависимости натурального эксперимента и виртуального схожи, из этого следует, что виртуальная повторяет свойства натуральной модели. Результаты численного моделирования и натурального эксперимента не противоречат теории обтекания пучка труб шахматного и коридорного расположения [5]. Ошибка расчёта программы не превышает 10% по сравнению с данными полученными при натурном эксперименте.

Список литературы

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Под ред. М.О. Штейнберга. – М.: Маш., 1992. – 672 с.
2. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. – 472 с.
3. Анод теплообменный центр – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://and-tc.ru/>
4. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим рг.счетам: (Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). Под общ. ред. П.Л. Кириллова. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360с.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. – 344 с.
6. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 143 с.

05.13.01

**А.А. Тяжелова, Ф.И. Багаутдинов, Д.А. Сергеева,
Л.М. Сарварова, О.А. Степущенко, А.Н. Пикулев, А.Ф. Аглиуллин**

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

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ВИЗУАЛИЗАТОРА ВЕН НА СМАРТФОНЕ

В работе представлены результаты разработки светодиодного визуализатора вен видимого диапазона, комплексированного со смартфоном для спасателей МЧС. На примере такого визуализатора показано, что реализация освещения зон предплечья может осуществляться путем выбора групп светодиодов с различными длинами волн, обеспечивая тем самым наиболее эффективную контрастность изображения вен на экране смартфона. Обсуждены вопросы спектрального хромопроцессинга, подбора цвета светодиодов и конструкции визуализатора вен на смартфоне.

Ключевые слова: визуализация вен; спектральный хромопроцессинг; группы светодиодов с различной длиной волны; чрезвычайная ситуация; индивидуальные средства спасателя МЧС; смартфон.

Введение. Индивидуальные средства визуализации вен на базе смартфона предназначены для спасателей и могут быстро встраиваться в другие смартфоны, раненых или медицинских работников, для повышения скорости поиска вен и эффективности венепункций в жестких условиях чрезвычайных ситуаций.

Венепункция – это повседневная процедура в медицинских учреждениях. Распространенность периферического венозного доступа среди пациентов, госпитализированных в палаты, достигает 90% и более, в зависимости от диагноза и состояния пациента, а также от больничной зоны, в которой он находится [1]. Хотя доступ к периферическим венам часто осуществляется с помощью только одной иглы, у значительного числа пациентов необходимо использовать от 2 до 11 попыток получить доступ к вене [2].

БИК-спектроскопия – метод, который использует ближнюю инфракрасную область электромагнитного спектра (от 740 до 760 нм) – позволяет визуализировать вены, расположенные на 3-5 мм под кожей, т.е. вены, которые традиционно используются для катетеризации или забора крови. Сегодня она представляет собой один из наиболее перспективных подходов и направлена на повышение эффективности венепункций [3].

Однако камера смартфона практически не работает в БИК диапазоне.

Задачей данной работы является разработка светодиодного визуализатора вен видимого диапазона, комплексированного со смартфоном для спасателей МЧС. Для повышения уровня точности восприятия изображения вен применяются методы хромопроцессинга [4].

Хромопроцессинг визуализатора вен видимого диапазона. По результатам исследования взаимодействия светового излучения с тканями и кровеносными сосудами, было определено, что для построения светодиодного визуализатора предпочтительно использование излучения с длинами волн 590 – 650 нм, т.е. желто-оранжевого и красного цветовых спектров. При этом оранжевый свет лучше проникает сквозь темную, смуглую кожу, а красный – сквозь светлую. Использование синего и зеленого цветов нецелесообразно, так как они практически полностью отражаются от поверхности кожи и не могут обеспечить требуемой глубины визуализации. Использование света с длиной волны 590 – 650 нм позволяет достичь максимальной глубины порядка 7 мм, что удовлетворяет требованиям эффективной венепункции [5].

Далее было исследовано воздействие красным светом при различных интенсивностях визуализатора (рис. 1). Так как используемый излучатель не позволял задавать потребляемый ток вручную, интенсивность излучения задавалась путем изменения расстояния от руки до визуализатора.

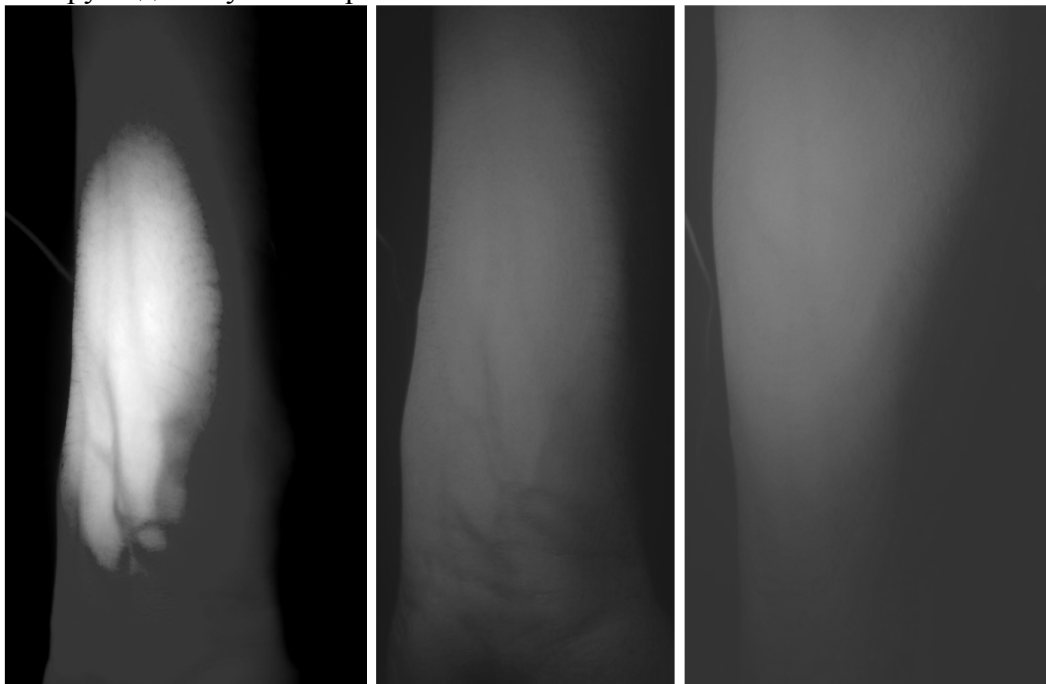


Рис. 1 – Результаты визуализации на разных расстояниях осветителя до руки: слева – 1 см; по центру – 5 см; справа – 10 см

На левом изображении с расстояния в 1 см кровеносные сосуды видно лучше, чем на среднем и левом, это связано с тем, что световой поток обладает большей интенсивностью и способен прорисовать подкожные слои. Что касается среднего изображения, то тут на расстоянии 5 см диодам не хватает мощности и тем самым свет способен достичь только верхние слои кожи, но, к сожалению, этого недостаточно для качественной подсветки вен. На правом изображении, где расстояние до руки составляет 10 см не видно вен, так как свет не проникает в слои кожи. Стоит отметить, что глаз видит вены лучше, чем это отражено на фотографиях, что связано с цвето-характеристиками используемой камеры.

Более четкий анализ изображения можно провести при использовании спектрального хромопроцессинга (спектральной цветовой обработки). К методам спектрального хромопроцессинга следует отнести технологии NBI (Olympus), FICE (Fujinon) и CATR (Nanyang Univ.) и др. Если технология NBI в основном сводится к адаптации и сжатию по цветности, технология FICE – к адаптации и сжатию по яркости, то технология CATR оперирует обоими параметрами.

Технологии NBI и FICE хорошо зарекомендовали себя в диагностической практике, при проведении предварительных осмотров, что с технической точки зрения соответствует анализу изображений с низким динамическим диапазоном LDR (*от англ. Low Dynamic Range*). При венепункции в поле зрения камеры попадают элементы шприца и иглы с отражательной способностью, отличающейся от таковой у биологических тканей. Это приводит к формированию изображений с бликами, яркими световыми участками, иными словами, с высоким динамическим диапазоном HDR (*от англ. High Dynamic Range*). В последнем случае все преимущества NBI и FICE значительно нивелируются в связи с изменением соотношений между яркостью и цветностью изображений. Тогда выходом из положения будет использование технологии CATR.

Конструкция. Источником подсветки для визуализатора могут служить группы светодиодов красного, синего и зеленого цвета, встроенные и комплексированные через микро-USB модуль со смартфоном [6, 7] и управляемые модулем ПО хромопроцессинга. Приемником визуализатора вен является камера смартфона. Основное преимущество такого

решения – универсальное построение световой группы, которая является источником белого света, отдельно красного света, а подбор весовых коэффициентов для зеленого позволит подбирать оттенки красного, оранжевого или желто-оранжевого по результатам хромопроцессинга. После оценки вариантов для построения ПО выбрана технология Android (Google, США), поскольку она предлагает открытую платформу и широкий спектр возможностей для будущего развития.

Примерная схема смартфона со стороны осветителя показана на рис. 2.

Приведенная конструкция является концептуальной и может быть выполнена на интегральной элементной базе как чехол смартфона.

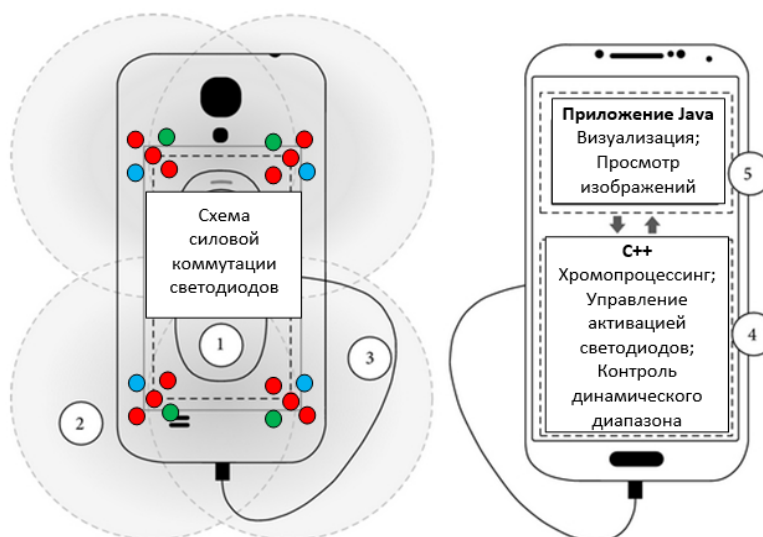


Рис. 2 – Визуализатор вен на смартфоне:

1 – схема силовой коммутации светодиодов; 2 – зона подсветки одной группы светодиодов; 3 – USB-кабель; ПО хромопроцессинга (4) и визуализации вен (5)

Заключение. Учитывая изложенные данные можно сделать вывод о высокой перспективности применения данного визуализатора вен в чрезвычайных и различных бытовых ситуациях.

Список литературы

1. Sabri A., Szala J., Holmes K.S., Labib L., and Mussivand T. Failed attempts and improvement strategies in peripheral intravenous catheterization // *Bio-Medical Materials and Engineering*. 2013. Vol. 23. P. 93-108.
2. Kuensting L.L., DeBoer S., Holleran R., Shultz B.L., Steinmann R.A., and Venella J. Difficult venous access in children: taking control // *Journal of Emergency Nursing*. 2009. Vol. 35. No. 5. P. 419-424.
3. Chiao F.B., Resta-Flarer F., Lesser J. et al. Vein visualization: patient characteristic factors and efficacy of a new infrared vein finder technology // *British Journal of Anaesthesia's*. 2013. Vol. 110. No. 6. P. 966-971.
4. Федоров И.В., Валиуллин И.Н., Аглиуллин А.Ф. Профилактика троакарных осложнений в лапароскопии. Учебное пособие / Казань: Издательство, 2010. – 54 с.
5. Тяжелова А.А., Фасхутдинов Л.М. Биофизические аспекты построения оптоэлектронных устройств подсветки вен // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых). Материалы Международной молодежной научной конференции. В 6-ти томах. 2019. С. 551-557.
6. Тяжелова А.А., Морозов О.Г. Светодиодный излучатель для подсветки периферических вен // *Ядерные технологии: от исследований к внедрению* - 2019. Сборник материалов научно-практической конференции. 2019. С. 161-162.
7. Тяжелова А.А., Тихонов А.С. Оптоэлектронный прибор для визуализации вен // *Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы* - 2019. Материалы конференции. 2019. С. 382-384.

05.13.01

М.В. Фролов, Д.А. Запевалов, О.Д. Суминов, В.В. Андреев, Ю.И. Аношкин

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

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОМУ АНАЛИЗУ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В работе описана методика и представлены результаты экспериментов по определению потока тепловых нейтронов в рабочей области экспериментального стенда. Продемонстрирована возможность проведения данных экспериментов с помощью компьютерной модели стенда.

Ключевые слова: *нейтронная физика, активационные детекторы, компьютерная модель, DOT-III.*

Введение

Проведение научно-исследовательских и лабораторных работ по нейтронно-активационному анализу предполагает работу с нейтронными источниками. Для студентов такие работы должны проводиться под надзором соответствующего персонала и с соблюдением правил радиационной безопасности. Для того чтобы у студентов появилась возможность выполнять лабораторные работы по нейтронно-активационному анализу и другие нейтронно-физические расчеты самостоятельно, была создана компьютерная модель экспериментального стенда.

В работе демонстрируется возможность применения компьютерной модели стенда для проведения научно-исследовательских работ. В качестве примера рассматривается лабораторная работа по определению потока тепловых нейтронов методом активации в исследовательской области экспериментального стенда.

Метод активации

Результатом взаимодействия тепловых нейтронов с неделяющимися ядрами в большинстве случаев является осуществление реакций радиационного захвата (n, γ), реализующейся по следующей схеме:



Продукт реакции (n, γ) может быть радиоактивным. Если полученное ядро неустойчиво, то обычно оно является излучателем β -частиц. В случаях подобного рода реакция захвата нейтрона может быть экспериментально обнаружена по возникающей радиоактивности. Соответствующий метод определения нейтронного потока называется методом активации.

Тонкая фольга исследуемого вещества облучается потоком нейтронов в течении известного времени, затем исследуемый образец извлекается из нейтронного потока и его активность измеряется. Если образец тонкий, то поток нейтронов можно считать постоянным во всем образце, и это упрощает исследование результатов.

Активность фольги после извлечения из нейтронного потока определяется следующей формулой:

$$A = \Phi N \sigma_a (1 - e^{-\lambda t_{06}}) e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где Φ - поток нейтронов; N - количество ядер стабильного изотопа; σ_a - микроскопическое сечение поглощения нейтронов стабильным ядром; λ - постоянная радиоактивного распада; t_{06} - время облучения; t - время после облучения.

Поскольку активность равна количеству испускаемых образцом частиц в единицу времени, то её изменение можно регистрировать счетчиками или другими приборами. Если известны количество ядер стабильного изотопа и микроскопическое сечение поглощения, то по измеренной активности можно определить поток нейтронов, в котором выдерживалась фольга.

Для определения потока тепловых нейтронов обычно используется метод кадмиевой разности. В этом методе разделяют количество актов взаимодействия тепловых нейтронов с ядрами образца и количество актов взаимодействия, обусловленных надтепловыми нейтронами. Для этого проводят облучение образца окруженного кадмиевым экраном толщиной 1-1.5 мм и без него. Кадмий обладает большим сечением поглощения для нейтронов с энергией меньше 0.5 эВ. Поэтому при облучении образца с кадмиевым экраном можно считать, что его активация происходит только за счет надтепловых нейтронов. Разность между результатами, полученными без кадмиевого экрана и с ним, дает активность фольги, обусловленную взаимодействием стабильных ядер с тепловыми нейтронами. В этом случае поток тепловых нейтронов рассчитывается следующим образом:

$$\Phi_T = \frac{A - A_{cd}}{N\sigma_a^T(1 - e^{-\lambda t_{об}})e^{-\lambda t}}, \quad (3)$$

где A - активность фольги, облученной без кадмия, A_{cd} - активность фольги, облученной с кадмиевым экраном, σ_a^T - микроскопическое сечение поглощения тепловых нейтронов.

Определение потока тепловых нейтронов методом активации

Экспериментальная установка состоит из полиэтиленового блока, в центре которого размещен Pu-Be источник нейтронов. В качестве детекторов нейтронного потока были использованы родиевые и серебряные фольги. Наведенная активность детекторов исследовалась на сцинтилляционном бета-спектрометре.

Серебряная фольга естественного изотопного состава представляет смесь стабильных нуклидов $^{107}_{47}\text{Ag}$ и $^{109}_{47}\text{Ag}$. Захват нейтрона ядрами этих нуклидов приводит к образованию радиоактивных нуклидов $^{108}_{47}\text{Ag}$ и $^{110}_{47}\text{Ag}$, которые претерпевают β -распад, превращаясь в стабильные нуклиды $^{108}_{48}\text{Cd}$ и $^{110}_{48}\text{Cd}$.

Родиевая фольга содержит только один стабильный нуклид $^{103}_{45}\text{Rh}$, но в процессе активации нейтронами возникают радиоактивные ядра $^{104}_{45}\text{Rh}$ и $^{104m}_{45}\text{Rh}$, характеризующиеся двумя периодами полураспада, поскольку имеет место случай ядерной изометрии. Свойства серебряного и родиевого детекторов нейтронов указаны в [1].

Результаты экспериментов по определению потока тепловых нейтронов методом активации в исследовательской области экспериментального стенда сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

Детектор	$t_{об}$, мин	t , мин	A , Бк	A_{cd} , Бк	$A - A_{cd}$, Бк	Φ_T , н/(см ² ·с)
Ag	33	4	1.373	0.062	1.311	27.13
Rh	15	4.45	2.747	0.182	2.565	25.67

Проведение эксперимента с помощью компьютерной модели

Для проведения эксперимента с компьютерной моделью были использованы две расчетные программы: DOT-III [2] и DOT-Activ [3].

Нейтронно-физический расчет компьютерной модели стенда выполнялся в программе DOT-III. Так как программа DOT-III производит расчет в двухмерной геометрии, расчет был выполнен в R-Z геометрии (рис. 1). В качестве активационного детектора был выбран алюминий. Он содержит один стабильный нуклид $^{27}_{13}\text{Al}$. В процессе его активации возникают радиоактивные ядра $^{28}_{13}\text{Al}$. Характеристики данного детектора нейтронов указаны в [1].



Рис. 1 – Модель экспериментального стенда

После нейтронно-физического расчета модели стенда выполнялся расчет активности алюминиевой фольги в программе DOT-Activ. Активация алюминиевой фольги в программе идет только за счет тепловых нейтронов, что исключает необходимость применения кадмиевого экрана.

Результаты эксперимента, проведенного с помощью компьютерной модели, сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента, проведенного с помощью компьютерной модели

Детектор	$t_{об}$, мин	t , мин	A , Бк	Φ_T , н/(см ² ·с)
Al	30	2	6.571	28.41

Заключение

В данной статье продемонстрирована возможность проведения научно-исследовательских работ по нейтронно-активационному анализу при помощи компьютерной модели экспериментального стенда. С помощью модели была сделана лабораторная работа по определению потока тепловых нейтронов методом активации в исследовательской области экспериментального стенда. Результаты расчета программы с достаточной точностью совпадают с результатами натурного эксперимента. Из этого можно сделать вывод, что компьютерная модель экспериментального стенда построена верно.

Список литературы

1. Бланков Е.Б. Нейтронный активационный анализ в геологии и геофизике / Е.Б. Бланков, Т.Н. Бланкова, В.Г. Русяев, К.И. Якубсон. - Москва: Наука, 1972. - 328.
2. Rhoades W.A. The DOT-III Two Dimensional Discrete Ordinates Transport Code / W.A. Rhoades, F.R. Mynatt // ORNL-TM-4280. - 1973.
3. Андреев Н.Г. Разработка программы DOT-Activ для расчета источников и уровней излучения остановленного реактора в 2D-геометрии / Н.Г. Андреев, В.Н. Вавилкин // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: сборник тезисов докладов X Российской науч. конф. - Обнинск: НОУ ДПО «ЦИПК Росатома», 2015.
4. Глестон С. Основы теории ядерных реакторов / С. Глестон, М. Эдлунд. - М.: Изд-во иностранной лит-ры, 1954. - 458 с.

05.13.01

¹М.Ю. Шрейдер канд. техн. наук, ²А.Д. Тарасов канд. техн. наук,
²А.М. Осипова канд. техн. наук, ²О.В. Антонова

¹Оренбургский государственный университет,
Аэрокосмический институт,

кафедры управления и информатики в технических системах,

²Оренбургский государственный аграрный университет,

Институт управления рисками и комплексной безопасности,

кафедры цифровых систем обработки информации и управления,

Оренбург, marshr@mail.ru, adtarasov@mail.ru, anna.osipova.74@mail.ru, work-osu@mail.ru

АДАПТАЦИЯ ВЕСОВ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ В ГЕНЕТИЧЕСКОМ АЛГОРИТМЕ

Использование генетических алгоритмов (ГА) с несколькими целевыми функциями дает возможность найти оптимальное решение задачи, но только при правильных настройках ГА. Получаемые решения зависят от корректности математической модели задачи, в том числе от целевых функций. Подбор весов для взвешенной функции неочевиден. Предлагается адаптивный ГА для автоматизации изменения весов целевой функции в процессе поиска решений.

Ключевые слова: *адаптивный генетический алгоритм, многокритериальная оптимизация, взвешенная функция.*

Оптимизационные задачи часто не могут быть решены стандартными способами за приемлемое время. С помощью генетических алгоритмов [1] можно найти близкое к оптимальному решение любых задач. Но получаемые ответы зависят от корректности математической модели задачи, а также от настроек алгоритма. Неверно заданные параметры ГА снижают качество генерируемых решений, уменьшают скорость поиска решений, могут привести к попаданию ГА в локальный оптимум и так далее.

Например, необходимо правильно выбрать вид целевой функции, способ кодировки решений в хромосомах ГА, частоту мутаций, вид кроссинговера. Чаще всего, по математической модели задачи нельзя определить какие параметры ГА лучше подойдут для качественного решения и выбирать приходится интуитивно. Причем некоторые параметры не должны быть постоянны, желательно изменять их прямо во время работы алгоритма.

Наилучшие значения параметров ГА можно определить тестированием. Проводится множество запусков решения одной и той же задачи. При этом найденные значения могут не подойти для будущих запусков ГА, даже если незначительно изменить исходные данные задачи. Адаптивный ГА [2] представляет собой вид алгоритма, в котором, параметры самого ГА подбираются автоматически.

Предлагается использовать адаптивный ГА для автоматизации настройки целевой функции. Если характеристики оптимального решения не могут быть заданы одной функциональной зависимостью (многокритериальная оптимизация), то требуется анализировать решения по нескольким целевым функциям в одной задаче. Понятие взвешенная функция используется как метод свертки всех функций к одной. Каждая функциональная зависимость с учетом своего веса влияет на решение задачи. Целевые функции с весами объединяются в одну по следующим правилам [3]:

$$f(x) = \sum_{k=1}^m w_k F_k(x)$$

где $F_k(x)$ – k -тая целевая функция (всего m функций),

$$\sum_{k=1}^m w_k = 1$$

w_k – вес функции, $w_k \in [0, 1]$.

Вид самих функциональных зависимостей задается условиями задачи и обычно не требует адаптации. Но веса функций также важная часть математической модели, сильно влияющая на качество работы ГА. Основой адаптивного ГА для автоматизации подбора весов является принцип доминирования по Парето: точка x в пространстве решений доминирует точку y по Парето, если для всех критериев x предпочтительнее или равноценна y и хотя бы для одного критерия x предпочтительнее y [4].

Во время работы ГА происходит генерация хромосом (возможных решений задачи) и выбирается хромосома, наиболее приспособленная по общей целевой функции. Для получения лучшего решения в следующих поколениях должны появляться хромосомы, как минимум, по одной из целевых функций соответствующие ранее найденному решению. Если все хромосомы в следующем поколении окажутся менее приспособлены, то вероятность генерации более лучшего решения слишком низкая.

Процедура адаптации работает по следующей схеме:

1) во время работы ГА ведется сбор информации о приспособленности хромосом из ранее сгенерированных поколений;

2) текущее наилучшее решение сравнивается со приспособленностью всех хромосом;

3) запускается процесс корректировки весов целевых функций.

После корректировки весов три этапа повторяются с заданной периодичностью.

Количество анализируемых хромосом и частота корректировки весов не зависят от математической модели задачи, но влияют на эффективность адаптации. Если анализировать слишком много поколений хромосом (к примеру, пятьсот) процедура адаптации должна будет работать только каждые пятьсот шагов ГА. Настолько редко проводить корректировку весов неэффективно. Но если слишком часто запускать процедуру, то предыдущая корректировка весов ко времени нового запуска еще не окажет влияния на хромосомы. И анализ приспособленности хромосом из малого числа поколений не даст достоверной информации. Очевидно, что количество анализируемых хромосом и частота корректировки весов должны выбираться в разумных пределах. Например, будем анализировать пятьдесят поколений.

Анализ хромосом проводится следующим образом. Определяются значения m переменных Z_k , где m – количество целевых функций. Каждое значение Z_k равно количеству поколений, для всех хромосом в которых соблюдалось условие: приспособляемость по целевой функции с номером k меньше (при условии максимизации целевой функции) чем в лучшем найденном решении.

$$Z_k = \sum_{j=1}^{50} L_j, \quad L_j = \begin{cases} 0, & \text{если } \max_{i=1}^n F_k(h_{i,j}) \geq F_k(h_0) \\ 1, & \text{если } \max_{i=1}^n F_k(h_{i,j}) < F_k(h_0) \end{cases},$$

где k – номер целевой функции, n – количество хромосом в одном поколении,

$F_k(h_{i,j})$ – значение k -той функции для i -ой хромосомы j -ого поколения,

$F_k(h_0)$ – значение k -той функции для лучшего найденного решения.

Для равенства Z_k нулю достаточно чтобы одна хромосома из каждого анализируемого поколения была приспособлена по k -той целевой функции больше (или одинаково) чем лучшее найденное решение. В этом случае есть высокая вероятность появления в следующих поколениях хромосомы, более приспособленной по всей взвешенной функции, то есть произойдет генерация нового, более лучшего решения. Значение Z_k больше нуля покажет количество поколений, в которых все хромосомы были хуже приспособлены по k -той целевой функции чем найденное решение. Это снижает вероятность появления нового лучшего решения.

Каждое значение Z_k показывает насколько сильно влияют целевые функции на хромосомы т. е. на вклад каждой функции в общую взвешенную функцию. Если k -тая целевая функция оказывает слишком слабое влияние на генерируемые решения, то Z_k будет больше нуля. Следовательно, вес этой функции слишком мал по сравнению с другими. Отсюда делается вывод о необходимости увеличения ее веса. За один запуск корректировки весов можно изменить вес только одной функции. Поэтому при появлении более одной ненулевой переменной Z_k увеличивается вес целевой функции с максимальным значением переменной.

Сумма всех весов должна оставаться равной единице. Поэтому при увеличении одного веса должны соответственно быть уменьшены остальные веса. Вначале, выбранный вес увеличивается на несколько процентов. Далее проводится нормализация всех весов. Представим, что $w_1, w_2, w_3, \dots, w_m$ – значения весов до адаптации. Вес w_3 увеличивается на десять процентов: $w_3 = 1,1 \cdot w_3$. Далее для каждого веса w_k (в том числе и для w_3) вычисляем новое значение $w_{k\text{ new}}$:

$$w_{k\text{ new}} = w_k / \sum_{k=1}^m w_k$$

В статьях [5, 6] описываются программы демонстрирующие практическое применение разработанного адаптивного ГА.

Достоинства представленного алгоритма:

1) Больше не нужно выбирать веса целевых функций вручную. Веса автоматически корректируются во время работы ГА для наилучшего соответствия математической модели задачи. Если перед первым запуском ГА подходящие значения весов не известны, то их можно задавать одинаковыми.

2) После окончания работы ГА значения весов, сгенерированные процедурой адаптации, можно выбирать как начальные при повторном решении задачи, в том числе другими оптимизационными алгоритмами.

Недостатки алгоритма:

1) Процедура адаптации изменяет генерируемые хромосомы, приближая их к найденному лучшему решению. ГА может попасть в локальный оптимум из-за увеличения количества одинаковых хромосом.

2) Эффективность алгоритма адаптации зависит от собственных настроек параметров. Периодичность запуска процедуры адаптации и количество анализируемых хромосом задаются интуитивно.

Список литературы

1. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком. 2006. – 452 с.: ил.
2. Брестер К., Семенкин Е. Адаптивный генетический алгоритм многокритериальной оптимизации: Автоматизация настройки операторов генетического алгоритма при решении задач многокритериальной оптимизации – Lap Lambert Academic Publishing GmbH KG. 2013. – 72 с.
3. Кононюк А.Е. Дискретно-непрерывная математика. (Алгоритмы). – В 12-и кн. Кн. 10, Ч.3 – К.: 2017. – 444 с.
4. Лотов А.В. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие / А.В. Лотов, И.И. Пospelова. – М.: МАКС Пресс. 2008. – 197 с.
5. Панасюк К.А., Тарасов А.Д., Капустина О.А. Адаптивный генетический алгоритм в задаче проектирования системы защиты компьютерных сетей // Перспективы науки, №7(106) 2018 г., С. 52-55.
6. Тарасов А.Д. Адаптивный генетический алгоритм в задаче проектирования систем физической защиты критически важных объектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. №1(139). С. 23 – 31.

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

05.13.06

С.С. Акимов, Б.К. ЖумашеваОренбургский государственный университет,
sergey_akimov_work@mail.ru**МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ПОТЕРЬ НА ПРОИЗВОДСТВЕ
ПРИ ПОСТРОЕНИИ КАРТ ПОТОКА СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ**

В работе рассматривается пример производства нескольких видов продукции на одной универсальной технологической линии. Показано, что расчет временных затрат для второй и всех последующих производимых единиц продукции необходимо выполнять по иной схеме, нежели временные затраты на производство первой единицы продукции. Приведенные расчет является наглядным доказательством.

Ключевые слова: карта потока создания ценности, математическая интерпретация, минимизация временных потерь.

Введение

Оптимизация производственных процессов может проводится различными способами и с применением самых разнообразных инструментов. Однако в настоящее время лидируют системы бережливого производства, разработанные японскими компаниями [1]. На сегодня достаточно востребованным методом анализа производственных процессов является метод построения карт потока создания ценности.

Построение каждого производственного потока осуществляется непосредственно для определенного рабочего цикла, без учета различных внешних факторов. При этом каждое производственное предприятие или его подразделение заинтересовано в максимально качественном отображении изучаемого процесса на карте потока, поскольку от качественного отображения зависит дальнейшая оптимизация данного процесса [2].

Литературный обзор

В настоящее время различными исследователями ведется работа по улучшению метода карт потока. Так в работе Lu J.-C., Yang T., Wang C.-Y. предлагается процедура внедрения системы экономного обслуживания, основанная на объединении предложения супермаркета с двумя структурами постоянной работы, которые могут одновременно учитывать изменчивость производственной системы и неопределенность спроса в многопрофильных, многоступенчатых процессах для достижения экономного обслуживания [3].

В работе Hines P., Rich N. разрабатывается новая типология потока создания стоимости, состоящая из семи карт основана на различных подходах, присущих потокам создания ценности [4].

Существуют примеры построения и реализации карт потока и на отечественных предприятиях. Например, в работе О.И. Калининой представлена карта потока для локомотивного депо ОАО «РЖД» [5]. На основании этой карты выявлены проблемы в деятельности депо, в частности невысокое качество технического обслуживания подаваемого локомотива.

И.В. Майгурова приводит карту потока, разработанную для АО «Метротранс» [6]. Среди проблем, обнаруженных в деятельности предприятия посредством реализованной карты потока – это дисбаланс зоны ответственности и зоны полномочий начальника дизайнерского отдела.

Для реализации метода карт потока, в настоящее время, не существует однозначной математической интерпретации. Карты потока используются как инструмент визуализации, для поиска проблемных мест и дальнейшего их разрешения каким-либо образом. Причиной этому является разнородность задач, решаемых методом карт и, как следствие, слабая их формализация.

Постановка задачи

Для математической интерпретации и дальнейшей оптимизации рассмотрим достаточно распространенный случай, когда на одной технологической линии выпускают несколько вариантов продукции.

Оптимизация данного процесса затрудняется тем, что для большинства производств при выпуске разного вида продукции необходима переналадка оборудования, занимающее определенное время. Рассмотрим пример выпуска трех изделий на технологической линии предприятия, состоящей из трех единиц оборудования. Обработка каждого из наименований продукции каждым видом оборудования занимает определенное время. Все данные занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Данные о временных затратах работы оборудования для выпуска определенных наименований продукции, мин.

Виды продукции	Оборудование 1	Оборудование 2	Оборудование 3
Продукция 1	7	8	15
Продукция 2	11	5	8
Продукция 3	3	14	12

Введем дополнительные условия и ограничения: переналадка оборудования не требуется, перемещение заготовок от одной единицы оборудования к другой уже включены в количество времени обработки, необходимо выпускать равное количество всех видов продукции.

Отметим, что поскольку производство выполняется поточным способом, то простое суммирование времени, указанного в таблице 1 актуально лишь для производства первой единицы продукции. Следующая единица продукции начинает обрабатываться с отставанием, равным работе первого вида оборудования, а затем обработка будет производиться по мере освобождения оборудования. В этот момент возникают вынужденные простои, поскольку на разных единицах оборудования заготовки обрабатываются разное количество времени. Из этого следует, что для идеального состояния обработка должна быть равной по времени на всех участках. Если на каком-либо оборудовании заготовка обрабатывается быстрее, чем на следующем, то ее обработка приостанавливается до тех пор, пока оборудование не освободится, то есть образуется простой заготовки. При обратной ситуации возникает простой оборудования, поскольку заготовка для него еще не обработана. В обоих случаях это приводит к потере времени.

Отобразим математически время, затрачиваемое на производство продукции. Пусть t_{km} – время, затрачиваемое на обработку k -той продукции на m -ом оборудовании. Тогда для первой единицы продукции математическая запись общего времени производства T_k будет выглядеть следующим образом:

$$T_k = t_{k1} + t_{k1} + \dots + t_{kn} \quad (1)$$

Для второй и последующих единиц продукции запись уже будет иметь следующий вид:

$$T_k = t_{k1} + \max(t_{k1}; t_{k2}) + \max(t_{k2}; t_{k3}) + \dots + \max(t_{k(n-1)}; t_{kn}) + t_{kn} \quad (2)$$

В начале уравнения (2) t_{k1} обозначает время, которое приходится ожидать, прежде чем освободится первая единица оборудования. В дальнейшем ожидание составляет большую из двух величин времени работы оборудования.

Пример решения задачи

Для первой единицы продукции 1 процесс обработки на всех трех видах оборудования займет $7+8+15=30$ мин. Вторая единица продукции может быть подвергнута началу

обработки только спустя 7 мин. – время, необходимое для окончания обработки первой единицы продукции. Затем, спустя еще 7 мин. обработка второй единицы продукции на оборудовании 1 уже будет закончено, однако приступать к следующему этапу – обработке на оборудовании 2 невозможно, поскольку первая единица продукции все еще подвергается обработке на данном виде оборудования. Итого время ожидания для второй единицы продукции составляет не 7, а 8 мин. По этой же аналогии, обработка на оборудовании 2 для второй единицы продукции составит не 8, а 15 мин., а затем, по итогу необходимо проведение обработки на оборудовании 3, затратив еще 15 мин. Таким образом, суммарное время, затрачиваемое на обработку второй единицы продукции составляет $7+8+15+15=45$ мин., что больше в 1,5 раз, чем для первой единицы продукции. С учетом того, что оборудование работает бесперебойно, то общее время получения второй заготовки после первой составит $45-30=15$ мин., из которых 7 мин. – это необходимый интервал выработки и 8 мин. – вынужденные простои.

Расчет, характерный для второй единицы продукции, справедлив и для всех последующих. Аналогичным образом, проведя расчеты для продукции 2 и продукции 3 получим для первых единиц, соответственно, 24 мин. и 29 мин., а для вторых 38 мин. и 43 мин.

Заключение

Таким образом можно заключить, что в ситуации производства нескольких видов продукции на одной технологической линии, расчет затрат времени на производство продукции необходимо корректировать, согласно предложенной в работе методике, поскольку данные о временных затратах на производство продукции актуальны только для выпуска первой единицы продукции.

Список литературы

1. Акимов С.С. Построение карты потока создания ценностей в системе бережливого производства предприятия / С.С. Акимов, С.А. Гуньков // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры [Электронный ресурс] : материалы Всероссийской научно-методической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург : ОГУ, 2018. – С. 654-657.
2. Гуньков С.А. Разработка программного продукта для построения карты создания ценности [Электронный ресурс] / С. А. Гуньков, С. С. Акимов // Программные продукты и системы, 2020. - № 2 (33). - С. 204-209.
3. Lu J.-C., Yang T., Wang C.-Y. A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. – 2011. – Т. 24. – № 3. – С. 211-228.
4. Peter Hines, Nick Rich. The seven value stream mapping tools. International Journal of Operations & Production Management. – 1997. – Т. 17. – № 1. – С. 46-64.
5. Калинина О.И. Разработка карт потока создания ценности эксплуатационного локомотивного депо. В сборнике: Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность Сборник материалов I Национальной научно-практической конференции. Редколлегия: В.А. Козырев, Г.В. Черняева, Н.Н. Зенина. – 2018. – С. 90-95.
6. Майгурова И.В. Разработка карты потока создания ценности в основных процессах АО «Метротранс». В сборнике: Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность Сборник материалов I Национальной научно-практической конференции. Редколлегия: В.А. Козырев, Г.В. Черняева, Н.Н. Зенина. – 2018. – С. 143-149.

05.13.06

А.В. Атишев, А.Б. Мышонков канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
В ОБЩЕСТВЕННОМ ЗДАНИИ ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ
ОСВЕЩЕНИЕМ**

В данной работе рассматривались возможности экономии электроэнергии путем использования различных систем автоматизированного освещения, для освещения учебных зданий. Сконструирована и смонтирована установка по подсчету количества рабочих часов. Произведен эксперимент, позволяющий узнать экономию, при использовании систем автоматического управления.

Ключевые слова: *arduino, освещение, система управления освещением (СУО), энергоэффективность.*

Автоматизированные системы управления освещением, предназначенные для использования в общественных зданиях, выполняют типичные для этого вида изделий функции. Поддержание комфортного уровня освещенности в помещении. Это достигается путем введением в систему управления освещения (СУО) фотоэлемента, находящегося внутри помещения и контролирующего создаваемую осветительной установкой освещенность. Или же подключения реле, срабатывающих по датчикам движения. Уже только две эти функции позволяют экономить энергию за счёт отсечки так называемого «излишка освещенности» и бездействия, в период отсутствия людей в помещении. Если поддерживать освещенность, создаваемую совместно осветительной установкой и естественным освещением, на заданном уровне, то можно ещё сильнее снизить мощность осветительной установки в каждый момент времени.

В прошлом, ученые провели исследование в офисных зданиях, это описывалось в статье по сохранению электроэнергии.[1] Наша работа позволит сравнить эти показатели, полученные в учебном здании.[2] Профессор Loe [3] также предоставил подробные расчеты, показывающие, что 50% экономия возможна, когда установка имеет задачу управлять освещением в зависимости от датчиков движения.

В работе [4] приводится методика оценки экономической эффективности систем автоматизации освещения, однако для расчетов необходима информация об эффективности экономии электроэнергии в различных осветительных установках. Наша работа направлена на проведения экспериментальных исследований данного вопроса. А так же сравнение эффективности СУО с заявленными в работе [5] по методам сокращения электроэнергии с помощью перехода на автоматизацию DALI.

Для расчета экономии электроэнергии была собрана установка на основе Arduino Nano и модулей: часы реального времени, датчиков движения, блока питания, картридер. Программа записывала каждое срабатывание датчика и записывала соответствующие данные в базу данных. [6]

Модуль реального времени, не давал сбиться сортировке по времени после перезагрузки устройства, а картридер позволил записывать данные на micro-SD. Установка была собрана и подключена.

На следующем этапе мы рассчитали экономию при использовании датчика движения, для этого проанализировали файл, который записался в ходе работы датчика. Рабочий день будем брать с 7:00 до 21:00 часов. Установка записывала в течение двух лет. Но в 2020 г. зафиксировано сильное снижение срабатываний датчиков в апреле, связанное с дистанционным обучением. Результаты за 2019 г. представлены на рис.1.

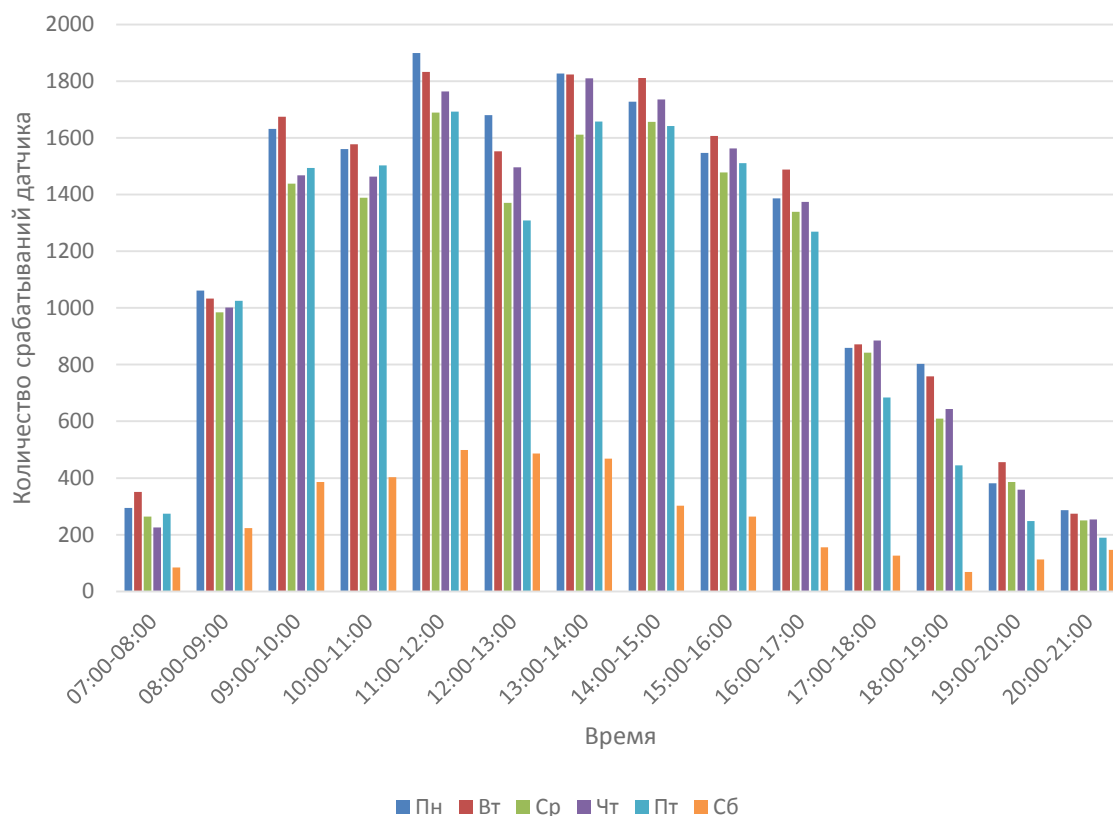


Рис. 1 – График срабатываний датчиков

На этаже был произведен подсчет ОП и их число равно 30. Средняя стоимость электроэнергии 1 кВт*ч в Мордовии - 3,8 рублей.

Количество часов и затрат на электроэнергию при работе люминесцентного светильника мощностью 36 Вт.

Представим, что ОП подключили к системе автоматического управления освещением DALI, то можно сделать подсчет трат на электроэнергию, а так же выяснить экономию.

Протокол DALI применяется для управления освещением и силовыми нагрузками. Одно из важных преимуществ протокола DALI – это возможность его интеграции с верхними уровнями диспетчеризации зданий, таких как BACNet, KNX/EIB и другими.

Для интеграции используются специальные шлюзы между системами для получения двусторонней связи и полноценного управления с той и другой стороны. Система управления может быть самостоятельным элементом управления или входить в общую систему автоматизации здания (BMS).

Для решения определенных задач, в системе могут быть задействованы устройства в самых разных комбинациях — датчики присутствия, датчики освещенности, релейные модули DALI, DALI-роутеры, блоки питания DALI, кнопочные интерфейсы, и другие устройства.[7]

Возьмем за систему управления данные с установки, которая реагировала на проходящих людей мимо датчиков. Результаты измерений и затраты на электроэнергию приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Люминесцентные ОП

Месяц	Длительность работы, час.	Затраты, Руб.	Длительность работы, час.	Затраты, Руб.
Январь	280	1149,12	48,37	198,50
Февраль	322	1321,49	90,9	373,05
Март	350	1436,40	166,3	682,50
Апрель	364	1493,86	175,8	721,62
Май	336	1378,94	122,2	501,30
Июнь	336	1378,94	146,5	601,37
Июль	378	1551,31	54,2	222,44
Август	378	1551,31	52,3	214,43
Сентябрь	350	1436,40	147,6	605,68
Октябрь	378	1551,31	170,5	699,60
Ноябрь	350	1436,40	98,9	405,89
Декабрь	364	1493,86	127,75	524,29

Далее рассчитаем экономию в ЛЛ ОП на систему управления освещением с сохранением осветительных норм.[8] Результаты измерений и затраты на электроэнергию приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение измерений

	Затраты на электроэнергию, руб.			
	Без СУО		С СУО	
Месяц	Затраченная энергия, кВт ч	Затраты, Руб.	Затраченная энергия, кВт ч	Затраты, Руб.
Январь	302,4	1149,12	52,2	198,50
Февраль	347,8	1321,49	98,2	373,05
Март	378,0	1436,40	179,6	682,50
Апрель	393,1	1493,86	189,9	721,62
Май	362,9	1378,94	131,9	501,30
Июнь	362,9	1378,94	158,3	601,37
Июль	408,2	1551,31	58,5	222,44
Август	408,2	1551,31	56,4	214,43
Сентябрь	378,0	1436,40	159,4	605,68
Октябрь	408,2	1551,31	184,1	699,60
Ноябрь	378,0	1436,40	106,8	405,89
Декабрь	393,1	1493,86	138,0	524,29
Итоги	4520,9	17179,34	1513,33	5750,6616

По результатам исследования, годовые затраты электроэнергии на ЛЛ ОП в коридоре без СУО, составляет 17179,34 руб., с СУО – 5750,66 руб. Таким образом экономия составляет 66,5% для ЛЛ при переходе на автоматизированное управление освещением и в денежном эквиваленте 11 428,68 руб. экономии. Наши результаты оказались близкими с расчетами ученых в статье про энергетическую эффективность, ведь в их расчетах получилось сэкономить при переходе на датчики движения 45-65% электроэнергии.

Список литературы

1. *Dubois M.-C., Blomsterberg Å.* / Energy and Buildings 43 (2011) 2572–2582
2. European Committee for Standardization (CEN), Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting, EN 15193:2007, Brussels, 2007.
3. *Loe D.*, Energy efficiency in lighting – an overview, Action Energy GIR092, Society of Light and Lighting, London, 2003
4. *Мышонков А.Б., Шандиков А.М.* Разработка метода оценки эффективности автоматизированных систем управления освещением // Научный взгляд в будущее. 2017. Т. 1. № 7. С. 16-21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32286161>.
5. *Дашук Н.О.* Система управления освещением в умном доме / Н. О. Дашук. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 36 (170). — С. 18-19. — URL: <https://moluch.ru/archive/170/45600/> (дата обращения: 07.06.2021)
6. *Гололобов В.Н.*, Умный дом своими руками, НТ Пресс, 2007–416
7. Управление освещением по протоколу DALI – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://beg-russia.ru/blog/2016/08/04/dali/>.
8. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

05.13.06

И.С. Горячев, В.С. Чернуха, Д.Р. Комиссаров, А.Е. Прокофьев

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
Керчь, ivan_goryachev@list.ru, fallenlord8080@gmail.com, esiap@mail.ru

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ

Целью исследования является повышение эффективности контроля судовых энергосистем, которые по разной степени возмущений могут работать в ненормальных режимах. Для этого разработан графический интерфейс, который направлен на выявление нестабильной работы энергосистемы за счет контроля изменений частоты и угла поворота ротора. Для этого по всей энергосистеме предлагается использовать регуляторы угла поворота ротора.

Ключевые слова: *графический интерфейс, стабильность энергосистемы, устойчивость энергосистемы, коэффициент демпфирования.*

Введение. Устойчивость энергосистемы определяется свойством энергосистемы работать в номинальном режиме, сохраняя при этом стабильное состояние, или возвращаться в исходное приемлемое рабочее состояние после воздействия малого или большого возмущения. Например, внезапное падение напряжения из-за изменения нагрузки может привести систему в неустойчивое состояние. Переходная устойчивость является важнейшей частью работы энергосистемы [1]. В случае объединения крупных электрических сетей эта проблема стабильности энергосистемы будет усугубляться [2]. Исследование фокусируется на способности энергетической системы работать на основе стабильности частоты и угла поворота ротора. Процесс нестабильной работы энергосистемы влечет за собой потерю полезной мощности, а в худшем случае вывод из строя судовых генераторных установок. Для быстрого реагирования в момент нестабильной работы или аварийной ситуации, на постах центрального управления и на мостике, где несут вахты рабочего персонала, должны быть установлены источники, сигнализирующие о данной проблеме.

Целью исследования является разработка графического интерфейса для контроля судовых энергосистем.

Методы исследования. Методом исследования является размещение регуляторов по всей судовой энергосистеме, которые будут заданы на определенные положение угла поворота ротора, за счет чего клапан турбины или электромагнитные тормозные устройства будут либо ускорять, либо замедлять работу генератора

Стабильность угла поворота ротора. Стабильность угла поворота ротора относится к способности синхронных машин, во взаимосвязанной энергосистеме, выдерживать синхронную частоту после воздействия внешних возмущений. Стабильность угла поворота ротора связана с изменением потока активной мощности, что создает угловое разделение между синхронными машинами в системе. Выполненный угол мощности:

$$\delta = (\delta_0 + \delta_d) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

Угол возмущения, вносимого пользователем:

$$\delta_0 = \sin^{-1} \cdot \frac{P_m}{P_{\max}} \quad (2)$$

Стабильность частоты. Более сложные ситуации, в которых нестабильность частоты вызвана чрезмерным регулированием скорости паровой турбины или защитой котла/реактора, являются более долгосрочными явлениями с интересующими временными

рамками от десятков секунд до нескольких минут [3]. На рис. 1 показано, что за небольшим возмущением последует относительно медленно затухающее колебание Ротора. Самый высокий угол Ротора - 14.15324° , а самый низкий -3.24414° . Из рисунка 4 видно, что самая высокая частота составляет 50,82085 Гц, а самая низкая -48,89733 Гц. Поэтому для коэффициента демпфирования, равного 0,138 и угла возмущения 100, система может стабилизироваться в пределах 0,916906 с [9-11].

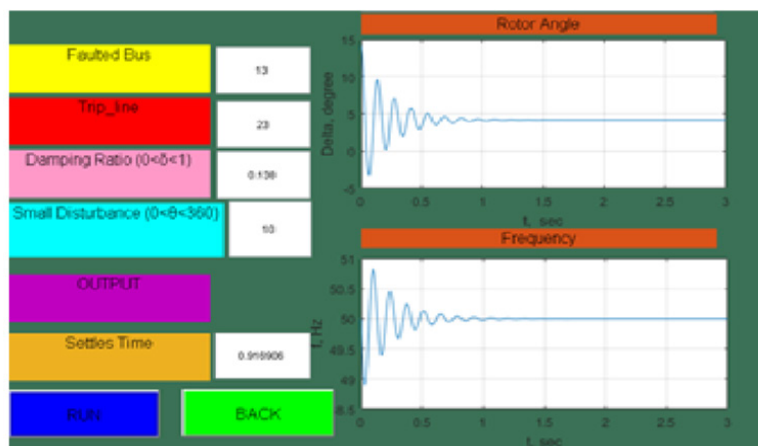


Рис.1 – Результаты первого опыта в графическом интерфейсе

Коэффициент демпфирования = 0,138, возмущение = 190. На рис. 2 показано, что небольшое возмущение будет заменено относительно медленным затухающим колебанием Ротора. Самый высокий угол ротора составляет 194.153235° , а самый низкий -136.3969° . Для коэффициента демпфирования, равного 0,138 и угла возмущения 190, система может стабилизироваться в пределах 0,916906 с.

Коэффициент демпфирования = 0,570, возмущение = 190. На рис. 3 показано, что небольшое возмущение будет заменено относительно медленным затухающим колебанием ротора. Самый высокий угол Ротора - 194.153235° , а самый низкий -44.05824° . Самая высокая частота составляет 53,624774 Гц, а самая низкая -35,34564 Гц. Поэтому для демпфирования, равного 0,570 и угла возмущения 190, система может стабилизироваться в течение 0,221906 с. Это время короче из-за эффекта высокого коэффициента демпфирования.

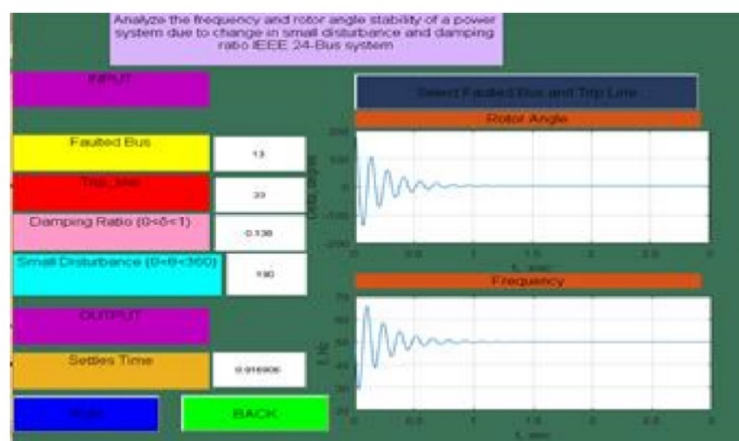


Рис. 2 – Результаты второго опыта в графическом интерфейсе

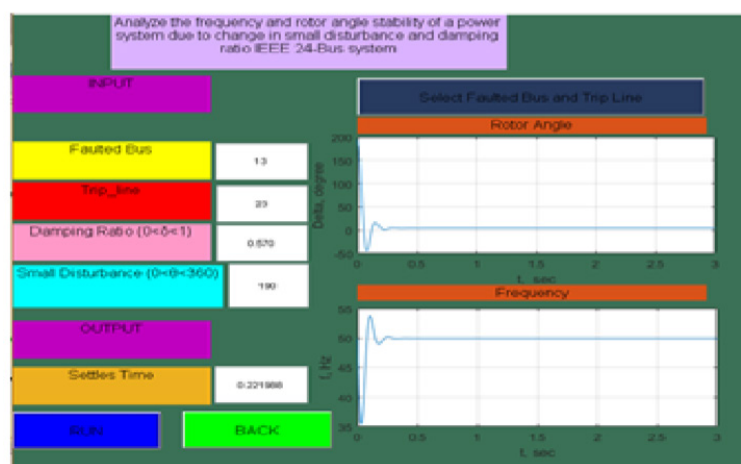


Рис. 3 – Результаты четвертого опыта в графическом интерфейсе

Результаты исследования. По результатам приведенных выше анализов удалось произвести наблюдение за стабильностью угла поворота ротора и частоты энергосистемы за счет различных значений коэффициентов демпфирования и углов возмущения. Из графиков видно, что при коэффициентах демпфирования, близких к нулю, время оседания происходит медленнее по сравнению с большими значениями коэффициента демпфирования. Стабильность частоты зависит от равновесия, которое будет восстановлено между генерацией системы и потребностью нагрузки с минимальными потерями.

Выводы. Таким образом, утилита энергосистемы может прогнозировать устойчивость системы за счет изменения коэффициента демпфирования и возмущения. Исходя из вышеперечисленного, судовые офицеры, несущие вахту, смогут своевременно отреагировать и произвести все необходимые меры для устранения неисправности.

Список литературы

1. Способы повышения устойчивости [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ustojchivost-energositemy-obshhie-svedeniya-sposoby-povysheniya-ustojchivosti/> (дата обращения: 10.02.2021).
2. Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. Устойчивость энергосистем. Монография. / Центр подготовки кадров энергетики, 2006. – 369 с.
3. Коган Ф.Л. Асинхронный режим и асинхронный ход синхронных генераторов. Пресс, 2000. 656 с.
4. Калентиюнок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. / Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с.
5. Ivanovskii, N.; Chernyi, S.G.; Zhilenkov, A.; Emelianov, V. Development of Algorithms for Identifying Parameters of the Maritime Vessel Motion Model in Operating Conditions with Elements of Intellectual Analysis. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 418.
6. Черный С.Г., Доровской В.А., Новак Б.П. Концепция построения информационной подсистемы АСУ промышленным производством // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2020. № 8. С. 20-23.
7. Ерофеев П.А., Жуков В.А., Черный С.Г. Классификация современных методов совершенствования рабочего процесса судовых дизелей // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2020. Т. 12. № 4. С. 765-774.
8. Соболев А.С., Вынга А.В., Черный С.Г. Разработка имитационной модели активного фильтра для морских интеллектуальных транспортных систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 2. С. 90-98.

05.13.06

И.С. Можаровский

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
Владивосток, studvvsu@gmail.com

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ МАССООБМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО ПРОДУКТА ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

В работе представлены результаты применения метода построения непараметрических прогнозирующих моделей оценки показателя качества выходного продукта промышленных ректификационных колонн, основанной на использовании алгоритма альтернативных условных чередующихся математических ожиданий. Приведен сравнительный анализ предложенного метода с существующими подходами на примере промышленной колонны К-1 производства метил-трет-бутилового эфира.

Ключевые слова: *прогнозирующая модель, непараметрические методы, алгоритм ACE, нелинейность, массообменный технологический процесс, ректификационная колонна.*

Переработка нефти является сложным процессом, требующим постоянного контроля качества на каждом этапе производства. В настоящее время для оценки контроля качества используются лабораторные анализы, поточные анализаторы и прогнозирующие математические модели. Поточные анализаторы требуют постоянной калибровки, стоимость их высока и не всегда имеется возможность установить такие устройства на промышленный объект. Лабораторные анализы не обладают достаточной информативностью, так как измерения производятся два раза в сутки, за это время подаваемое сырье в ректификационной колонне (РК) может измениться, обычно, это приводит к отклонению качества производимого продукта от заданных стандартов. Поэтому разработка адекватных прогнозирующих математических моделей оценки показателя качества (ММОПК) выходного продукта РК является актуальной. Такие модели позволяют оценить качество товарного продукта раз в минуту, что дает возможность встраивать их в подсистемы автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). Благодаря чему происходит оперативное реагирование на отклонения значений параметров качества производимой продукции, изменяются режимы работы колонны, что в конечном итоге приводит к оптимизации производства по энерго-затратам и минимизации производства брака.

Однако, в настоящее время адекватных прогнозирующих математических моделей на производстве мало, из-за сложной структуры технологического объекта и большого количества явных и неявных факторов, влияющих на выходные значения моделей. Данной проблематике посвящено множество научных работ [1], которые применяют различные методы и подходы к моделированию массообменных технологических объектов. Особой сложностью при построении таких моделей является отсутствие структуры модели исследуемого объекта. Одним из способов решения этой проблемы является метод определения индекса структурной идентифицируемости на основе алгоритма (*alternating conditional expectation – ACE*) и дополнительного некоррелируемого с выходом входа [2]. К тому же данный метод позволяет оценить вклад каждого входа в модели и тем самым определить наиболее информативные регрессоры при ее построении.

Дополнительной проблемой при построении адекватных прогнозирующих ММОПК для промышленных РК является нелинейность процесса. Необходимо использовать нелинейные методы моделирования, которые зачастую сложны в реализации и не всегда дают

положительные результаты в задачах построения прогнозирующих моделей для массообменных технологических объектов.

Объектом исследования является процесс производства метил-трет –бутилового эфира (МТБЭ), для получения этого компонента бензина, обладающего высоким октановым числом, используется изобутилен, находящийся в сырье, и метанол. Метил-трет-бутиловый эфир способствует практически полному сгоранию топлива в двигателе, благодаря присутствующему в его молекуле кислороду, при этом является нетоксичным компонентом. Основная реакция синтеза МТБЭ протекает в реакторе. Технологическая схема его производства приведена на рисунке 1.

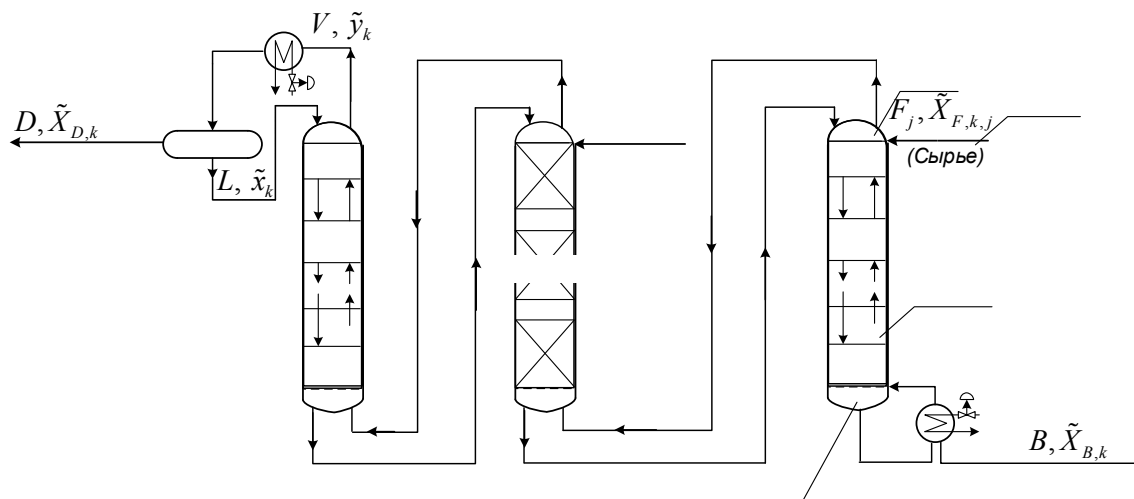


Рис. 1 – Технологическая схема процесса производства МТБЭ

К-1, К-2 –ректификационные колонны;

MeOH – метанол; МТБЭ – метил-трет-бутиловый эфир

Ставится задача разработки адекватных моделей для прогнозирования качества выходного продукта (концентрации метанола в МТБЭ) для РК К-1. Метанол не должен превышать 1,5% от массовой доли производимого продукта. В случае превышения этого показателя вся партия отправляется на дополнительную переработку, что влечет за собой энергетические, временный и финансовые затраты.

В качестве входных переменных использовались: X_1 – температура низа колонны К-1, °С (Т); X_2 – давление низа колонны К-1, МПаг (Р), X_3 – дополнительный стохастический вход (некоррелируемый с выходом).

На основе экспериментальных данных, определили информативность каждого входа, методом определения индекса структурной идентифицируемости, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Индексы структурной идентифицируемости РК К-1

Параметр	X_1	X_2	X_3	Y
H_i	20,0800	8,8069	1,0000	10,3979

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что вход X_1 влияет на формирование выхода больше в сравнении с входом X_2 , и используемые входы достаточно информативны для построения адекватной математической модели. Индекс структурной идентифицируемости для исследуемой выборки $H_i = 10,3979$, что свидетельствует о возможности построения адекватной математической модели, так как он выше порогового значения $H_p = 5$.

Были построены модели с помощью различных методов моделирования: методом наименьших квадратов; робастной регрессии; проекцией на скрытые структуры; нейронная сеть с обратной связью (НС); предлагаемым методом на основе алгоритма ACE[3]. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения R^2 и RMSE для представленных моделей.

Метод построения модели	$R^2_{обуч}$	$R^2_{пров}$	RMSE _{обуч}	RMSE _{пров}
Метод наименьших квадратов	0,7755	0,8767	0,1821	0,1365
Робастная регрессия	0,7646	0,8769	0,1864	0,1363
Проекция на скрытые структуры	0,7755	0,8767	0,1821	0,1365
Нейронная сеть с обратной связью (НС)	0,7857	0,8992	0,1780	0,1234
Модель, на основе алгоритма ACE	0,9996	0,9820	0,0032	0,0521

На рисунке 2 отображены модели, построенные с помощью нейронных сетей и алгоритма ACE на проверочной выборке данных.

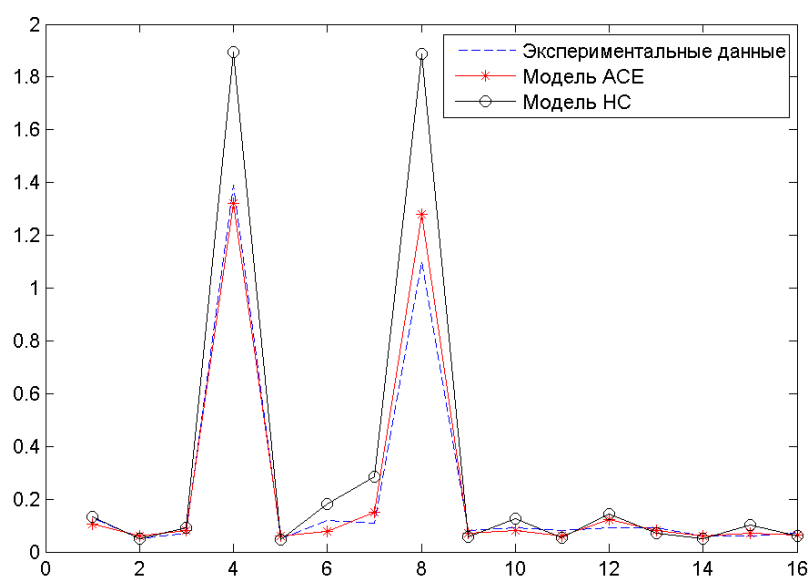


Рис. 2 – Результаты моделирования на проверочной выборке данных

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что выборка данных с помощью которой было осуществлено моделирование является достаточно информативной, это подтверждается ранее определённым индексом структурной идентифицируемости $H_i = 10,3979$. Каждый метод моделирования сформировал адекватные модели ($R^2_{пров} > 0,75$), однако наиболее точная модель, построена с помощью подхода, основанного на использовании алгоритма ACE, что указывает на эффективность данного метода и актуальность его применения в дальнейшем.

Список литературы

1. Kuhn M., Johnson K. Applied predictive modeling. – NY : Springer, 2013. – 600 p.
2. Диго Г.Б. и др. Анализ идентифицируемости нелинейных объектов управления слабо формализованной структуры // Информатика и системы управления. – 2012. – №. 3. – С. 34.
3. Можаровский И.С., Самотылова С.А., Торгаилов А.Ю. Предсказательное моделирование массообменного технологического объекта с использованием алгоритма чередующихся условных математических ожиданий // Математическое моделирование. – 2020. – Т. 32. – №. 3. – С. 127-142.

05.13.06

**С.И. Назаренко, Д.Г. Алленов канд. техн. наук,
О.В. Жедь канд. техн. наук, В.И. Кравченя канд. техн. наук**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов",
инженерная академия, департамент машиностроения и приборостроения,
Москва, sema-nazarenko@mail.ru

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В статье была проанализирована выгода от автоматизации производства, экономическая рациональность роботизации на отечественных предприятиях. На основе этого анализа определено, как изменяются экономические показатели с внедрением робототехники, какие производства чаще всего используют роботизированную технику, и с какими проблемами сталкивается развитие роботизации производства в Российской Федерации.

Ключевые слова: *промышленные роботы, автоматизация производства, экономическая эффективность, робототехника, промышленность, машиностроение, автомобилестроение.*

Главной причиной большого увеличения автоматизации производства является удешевление самих роботов. За минувшие 10 лет стоимость робототехники уменьшилась чуть меньше чем на 30%. И прогноз неутешительный. Многие эксперты утверждают, что ещё через 10 лет стоимость упадёт ещё на 20-25%. Сегодня робототехника активно развивается на всех типах производства. Сейчас никого не удивить роботами на предприятиях серийного, крупносерийного и массового производства. Но теперь промышленные роботы активно занимают рынок на предприятиях малого и среднего бизнеса. Под этот спрос подстраиваются и ведущие производители робототехники, которые производят всё новые и новые типы роботов, различной конфигурации, размеров и стоимости. А также роботизированное производство имеет солидное количество преимуществ над человеческой рабочей силой, а именно:

- высокая скорость выполнения поставленных задач;
- круглосуточная работа 365 дней в году;
- возможность работы в опасных производственных условиях;
- существенное снижение брака из-за ошибок;
- высокая точность выполнения технологического процесса;
- универсальность при переходе на другой проект.

В нашей стране сейчас наблюдается одна из самых неприятных проблем – это устаревание производственных технологий, что в принципе наблюдается во всех странах бывшего Советского Союза. В 1986 году в нашей стране промышленные роботы выпускались в количестве 12.000 единиц и это было самым высоким мировым показателем. Однако после развала СССР, Россия не смогла добиться поставленной цели 900.000 роботов к 2000 году, тогда как весь мир только наращивал обороты в этой области.

При том что в нашей стране крайне мало производство робототехники, также крайне малы и показатели покупок нового роботизированного оборудования для производств.



Рис. 1 – Динамика продаж промышленных роботов в России, шт.

Как и в большинстве стран мира, в России наибольшее число роботов используют на предприятиях автомобилестроения. В 2018 году 39% всех продаж были именно в этом сегменте. Но спрос в автомобилестроении сильно зависит от развития отрасли в мире в целом. Так во время финансового кризиса 2016 года, резко снизилось количество устанавливаемых роботизированных устройств на предприятиях автомобильной промышленности, что сильно ударило по этому рынку. Также в России активно используют роботов в машиностроении, порядка 16%. В реалиях нашего времени идёт активная разработка роботизированных производств в пищевой промышленности, так как резко выросло число производителей товаров питания, дабы предотвратить дефицит, вызванный санкциями.

Отечественный спрос на промышленных роботов по отраслям на 2018 год выглядит так:

- автомобилестроение — 39%,
- машиностроение — 16%,
- пищевая промышленность — 4%,
- химическая и нефтехимическая промышленность — 2%,
- другие производства — 5%,
- НИОКР и образование — 2%,
- непромышленный сектор — 1%,
- не специфицировано — 32%.

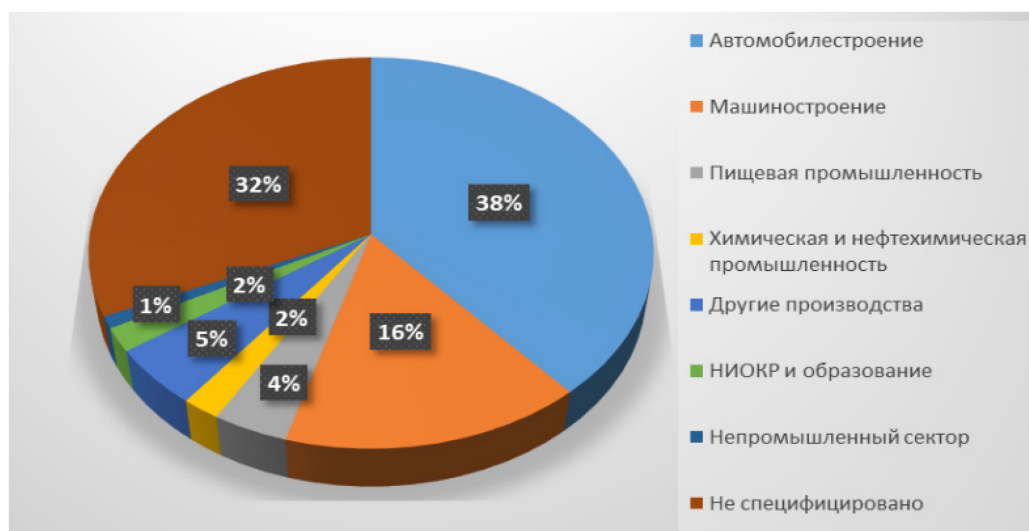


Рис. 2 – Отечественный спрос на промышленных роботов по отраслям

В нашей стране есть две основные проблемы внедрения роботов в производства. Наибольшее количество роботов внедряется в основном во времена экономического роста предприятия или страны, когда ручной труд становится наиболее дорогим. В ситуации, когда оплата труда работникам низкая, то внедрение роботов является нецелесообразным, так как новое оборудование будет долго окупаться. В первом случае это порядка года, а во втором 3-4 года и многие производства просто не видят в этом смысла.

Ну и второй, одной из самых острых проблем в нашей стране, по которой многие предприятия просто не могут себе позволить роботизацию – это уезд из страны квалифицированных кадров за границу, ввиду очень низкой заработной платы и социальной незащищённости. Все эти факторы и сдерживают развитие, производство и внедрение роботов в отечественные производства.

Однако, сегодня в России есть очень перспективное направление по внедрению роботизированного оборудования. Ввиду того что сегодня в нашей стране действует запрет на ввоз большого количества заграничной пищевой продукции, отечественная пищевая промышленность должна быстро нарастить объём выпуска своей продукции. Роботизация этого вида промышленности позволит не только достичь высокой скорости выпуска продукта, но и более безопасно обрабатывать и упаковывать продукцию.

Сегодня робототехника, одна из самых перспективных областей промышленности, используемая уже практически во всех видах промышленности и видах производств. От активного развития этой области зависит сможет ли компания быть конкурентоспособной на рынке или нет. Применение робототехники повышает как производительность, так и качество выпускаемой продукции, снижает количество брака, улучшает условия труда работников, позволяет быстро выполнять поставленные задачи, даёт возможность работы в опасных производственных условиях.

Таким образом можно сделать однозначный вывод, роботизация производства несёт только положительный эффект и даёт экономический толчок не только производствам, но и экономике страны в целом, и для того, чтобы вывести нашу страну на более высокий экономический уровень нужно активно развиваться в этом направлении.

Список литературы

1. Пособие по применению промышленных роботов //Под ред. Кацухико Нода; Пер. с японского В.В. Потуловой; Под ред. Белянина П.Н, Розина Б.Ш., Даниелевского В.Н. - Москва: Мир, 1975.
2. *Бондарева Н.Н.* Состояние и перспективы развития роботизации: в мире и России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016.
3. *Параскевов А.В. Левченко А.В.* Современная робототехника в России: реалии и перспективы (обзор) // Научный журнал КубГАУ. 2014.
4. Как заработать на промышленных роботах: обзор свободных ниш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/rynok-robototekhniki/> (дата обращения 2.12.20).

05.13.06

**С.И. Назаренко, Д.Г. Алленов канд. техн. наук,
О.В. Жедь канд. техн. наук, В.И. Кравченя канд. техн. наук**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов",
инженерная академия, департамент машиностроения и приборостроения,
Москва, sema-nazarenko@mail.ru

АНАЛИЗ ВЫГОДЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ НА ПРОИЗВОДСТВО В МИРЕ

В статье была проанализирована выгода от автоматизации производства, экономическая рациональность роботизации на мировых предприятиях. Основываясь на данных различных экономических и статистических источников, а также данных применения роботов в различных отраслях, сформулированы перспективы развития этой области в различных странах мира.

Ключевые слова: промышленные роботы, автоматизация производства, экономическая эффективность, робототехника, промышленность, машиностроение, автомобилестроение.

Реалии сегодняшней экономики таковы, промышленность стремительно развивается и ещё быстрее изменяется. Повышение производительности и экономические факторы, на сегодняшний день являются важнейшими целями любого активно развивающегося предприятия. Именно поэтому с каждым годом растёт количество предприятий, использующие роботов и увеличивается количество решаемых ими задач.

На основе данных представленных международной федерации робототехники IFR – (International Federation of Robotics), на мировом рынке каждый год увеличивается количество промышленных роботов, и это увеличение составляет около 20%. Но это не значит, что объём внедрения роботизированной техники одинаков для разных стран мира.

В этой сфере мировыми лидерами производства и внедрения роботизированной техники являются Япония, США, Германия, а также Китай и Южная Корея. Отечественные разработки, к сожалению, далеко от лидеров, но всё же активно разрабатываются, развиваются и внедряются, особенно в области военной промышленности, производстве электроники и машиностроении. И глядя на мировые тенденции становится понятно, что в ближайшее время в России будет активно расти и развиваться это направление, ведь на сегодняшний момент у нашей страны один из самых низких показателей внедрения промышленных роботов, на 10000 работников, порядка 3 роботов.

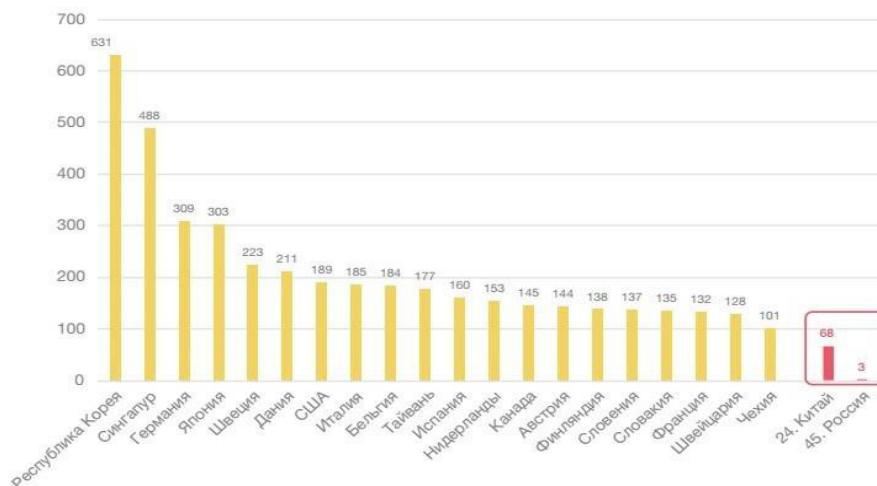


Рис. 1 – Плотность роботизации производств (количество промышленных роботов на 10 тысяч работников)

Чтобы понять, как роботизация производств связана с экономическим ростом стран, нужно проанализировать экономику стран, с высоким ВВП. В основном это страны с развитым промышленным производством, от которой и зависит по сути финансовое благополучие всего региона в целом.

Если проанализировать опыт зарубежных стран, таких как Япония, Германия, США, Южная Корея и Китай, то можно заметить, что в большинстве своём именно массовое применение роботов и замена ручного труда на интегрированные и гибкие системы является главным направлением развития.

На сегодняшний день лидером по производству и применению роботизированной техники является Япония, доля на мировом рынке которой составляет 25%, и именно это позволяет «стране восходящего солнца» быть сильной в экономических и производственных показателях. Это достигается благодаря следующим факторам:

- план развития отрасли в стране;
- единые базы данных и информации, что позволяет производить быстрый и комфортный обмен различных наработок в области робототехники страны;
- партнёрские отношения с государственными инвесторами, что привело к большим инвестициям в робототехнику страны;

Все эти меры привели к тому, что в Японии планируются рост скорости сборки продукции на 25%.

Проблема многих стран, в отличие от Японии, это отношение к модернизации роботами производства, как к чему-то очень радикальному, рискованному и не приносящей в итоге особо больших успехов. Японские предприятия, активно развиваются в этой области, не боятся экспериментировать и внедрять роботов в новые производства.

Если же рассматривать европейские страны, то безусловным лидером в роботизации производства является Германия, где львиную долю роботов применяют в области автомобилестроения. Главными корпорациями, занимающиеся роботосторением являются Siemens, KUKA Robotics и Festo Robotics. Но особенно интересным как для развития промышленности, так и для экономики выступает именно медицинские роботы. Экономическая эффективность развития этого направления состоит в том, что именно немецкие медицинские учреждения так славятся на весь мир благодаря своему новейшему и уникальному медицинскому роботизированному оборудованию. А покупку этого оборудования многие элитные международные медицинские учреждения бронируют за годы вперёд.

С недавнего времени в лидеры по роботизации производства начал выходить Китай, и по прогнозам экспертов роботизация в этой стране будет только увеличиваться. Это связано с несколькими факторами. Во-первых, оплата труда в Китае из года в год растёт и когда-то экономически выгодные дешёвые ручные производства становятся всё дороже, что заставляет многие производства в срочном порядке вводить роботов в работу. Во-вторых, активное развитие китайского автомобилестроения. Ещё десять лет назад никто даже не думал приобрести себе китайский автомобиль и порой всё что производилось в «поднебесной» уходило только на собственный рынок. Сегодня же, на этот рынок идёт большой спрос извне, так как европейские, американские и японские автомобили не все покупатели могут себе позволить. Таким образом робототехника в Китае, второй по мощности экономики мира, будет только наращивать свои обороты, и уже на сегодняшний день доля мирового рынка составляет 13%.

Главным фактором современной экономики является то, что она постоянно меняется. В то время как одна отрасль выходит на ведущие позиции и начинает влиять на экономику в большой степени, значение другой отрасли уменьшается. Таким примером в современном мире можно привести автомобилестроение, в которой сейчас сосредоточена большая часть промышленных роботов во всём мире, а именно треть, что говорит о большом спросе на них в этой отрасли. Многие эксперты высказывают мнение, что без сильной производственной базы невозможно существовать ни одной стране мира. Автоматические системы, по мнению

экспертов, применяются на производстве только сильных, экономически развитых странах, так как вся эта область движется только благодаря экономическим факторам. Применение и разработка роботов – это одна из актуальных задач для многих стран, которые начинают активно развиваться, так как именно роботы могут решить серьёзную проблему таких стран, а это большая нехватка квалифицированных рабочих кадров, имеющие достаточный опыт и знания в данной области. Также к факторам, влияющим на скорейший переход к использованию роботов в производстве, можно отнести низкий показатель пунктуальности и сосредоточенности.

Таким образом, роботы становятся современным и полезным инструментом, который повышает уровень экономической выгоды предприятия, делая его более конкурентоспособным. В качестве примера можно привести большое количество стран, такие как Южная Корея, Япония или Сингапур, не имеющие такого количества ресурсов как Россия, США или Китай, но являющиеся мощнейшими экономиками мира.

Сегодня робототехника, одна из самых перспективных областей промышленности, используемая уже практически во всех видах промышленности и видах производств. От активного развития этой области зависит сможет ли компания быть конкурентоспособной на рынке или нет. Применение робототехники повышает как производительность, так и качество выпускаемой продукции, снижает количество брака, улучшает условия труда работников, позволяет быстро выполнять поставленные задачи, даёт возможность работы в опасных производственных условиях.

Список литературы

1. IFR presents World Robotics Report 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ifr.org/>.
2. Бондарева Н.Н. Состояние и перспективы развития роботизации: в мире и России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016.
3. Робототехника (мировой рынок) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Робототехника_\(мировой_рынок\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Робототехника_(мировой_рынок)).
4. Пособие по применению промышленных роботов' \Под ред. Кацухико Нода; Пер. с японского В.В. Потуловой; Под ред. Белянина П.Н, Розина Б.Ш., Даниелевского В.Н. - Москва: Мир, 1975.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)***05.13.11***Т.А. Деменкова канд. техн. наук, К.И. Хохлюшкин**

МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru

**АЛГОРИТМ ТЕСТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ВВОДА-ВЫВОДА
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ**

В работе рассматривается актуальная задача по тестированию цифровых устройств в составе специализированных вычислительных систем. Предложен алгоритм проверки с использованием испытательного стенда на основе программируемых логических интегральных схем, включая тестирование режимов ввода-вывода для экспериментального устройства обмена информацией управляющего цифрового вычислительного комплекса. Описываются его состав и область применения, реализация алгоритмов обмена и проверка правильности работы изделия. Показана возможность использования полученных результатов для проведения испытательных мероприятий готовых устройств с возможностью перепрограммирования при обнаружении ошибки.

Ключевые слова: *программы тестирования, цифровые блоки, вычислительные системы, устройство обмена, элементная база.*

Рассматриваемый в работе алгоритм тестирования режимов ввода-вывода управляющего цифрового вычислительного комплекса относится к классу алгоритмов, предназначенных для проверки устройств сопряжения разного назначения. Устройство обмена предназначено для обеспечения обмена информацией между каналом ввода-вывода и группой абонентов, расположенных в определенных зонах вычислительной системы. Оно состоит из контроллера внешних устройств и функциональных преобразователей абонентов.

Функциональные преобразователи информации абонентов представляют собой набор аналогово-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, осуществляющих преобразование аналоговой информации в кодовые величины в форматах, принятых в цифровой вычислительной машине, и кодов в аналоговые сигналы.

Контроллер внешних устройств предназначен для сопряжения функциональных преобразователей информации абонентов с каналом ввода-вывода. Первым этапом реализации контроллера устройства обмена на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) является программирование его важнейших узлов, а именно:

интерфейс сопряжения с бортовой цифровой вычислительной машиной (может быть как последовательным, так и параллельно-последовательным);

технологический регистр для проверки правильности работы устройства обмена на вывод и ввод;

кодовая шина данных для организации обмена данными с абонентами;

кодовая шина адреса для формирования адресов абонентов;

заглушка для формирования собственного адреса при трехканальной системе;

магистраль для работы с битными интерфейсами и для работы с байтными интерфейсами;

пятитопный режим для работы с высокоскоростными интерфейсами.

Обмен осуществляется 32-разрядными командными словами и словами данных. Коды передачи данных зависят от используемых интерфейсов сопряжения устройства обмена и бортовой цифровой вычислительной машины. Формат командного слова представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Формат командного слова

КОП	Режим работы	Адрес ВУО	Направление абоненты	Адрес абонента		ПМ		Счетчик слов
0 2	3	4 6	7	8 15	16 19	20	21	22 31

Значение разрядов командных слов:

разряды 0-2 – код операции, характеризующий выполнение операции обмена информацией;

код 101 – вывод информации из канала ввода-вывода в абонент;

код 110 – ввод информации из абонента в канал ввода-вывода;

разряд 3 – режим обмена информацией;

код «0» – одновременный ввод – вывод;

код «1» – поканальный ввод – вывод;

разряды 4-6 – адрес устройства обмена – присваивается конкретному контроллеру в комплексной схеме;

разряд 7 – направление, с абонентами которого производится обмен информацией;

код «0» – направление (магистраль) УО1, информация по магистрали УО-1 передается 32-разрядным параллельным кодом по двунаправленным кодовым шинам данных;

код «1» – направление (магистраль) УО2, магистраль УО-2 – для сопряжения с преобразователями абонентов, с которыми обмен информацией осуществляется байтами;

разряды 8-15 – адрес абонента – начальный адрес абонента, с которым производится обмен;

разряд 20 – признак массива, используется для организации группового обмена данными;

разряды 22-31 – счетчик слов, определяющий количество обмениваемых слов данных;

разряды 16-19, 21 в контроллере игнорируются.

Для проверки правильности работы ПЛИС необходимо разработать специальное испытательное устройство, которое будет содержать в себе программируемые логические интегральные схемы и приемопередатчики для сопряжения с проверочным стендом (рис.1). Для полноты проверок данное устройство необходимо выполнить по трехканальной структуре. Для проверочного стенда необходимо выбрать какие функциональные блоки обмена информацией будут использоваться и написать специальную проверочную программу.

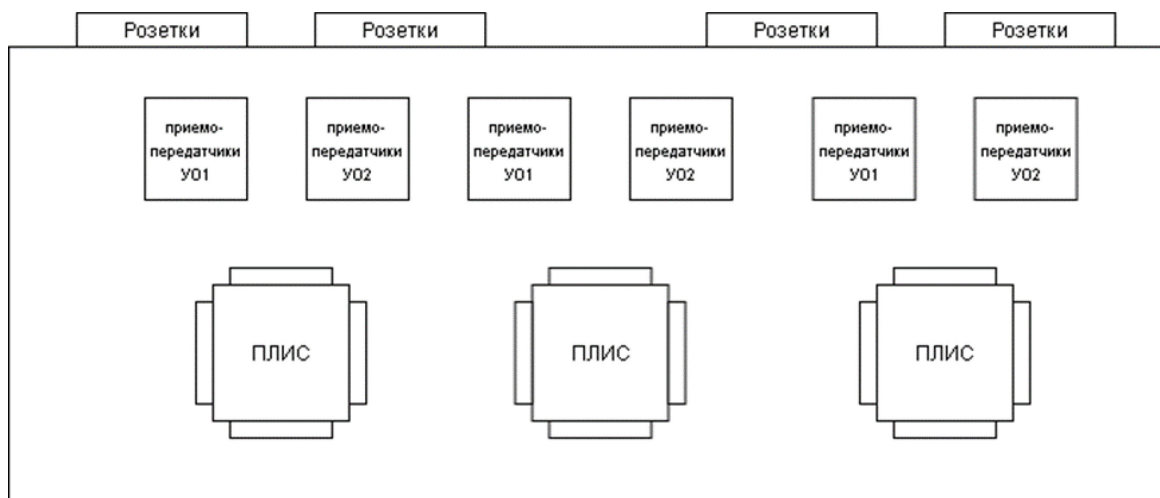


Рис. 1 – Структурная схема системы

Программа проверки состоит из набора этапов для проверки режимов ввода-вывода и проверки специализированных шин и магистралей [1,2]. На основании выбора функциональных блоков обмена информацией создается специальная таблица коммутаций. Как правило первые три этапа проверки – это задание питания, пуск начального адреса и начальный сброс. Далее исходя из таблицы коммутаций составляются этапы проверок. Каждая функциональная группа имеет свою индивидуальную комбинацию адреса и свою методику задания сигналов в двоичном коде. Программа проверки пишется на языке Си. Суть проверок заключается в том, что, зная работу испытательного устройства, заранее известен результат проверок, который берется за эталон. Программа задает необходимые сигналы на входы изделия, получает некоторое значение на выходе и сравнивает его с эталонным. Затем выдается команда «Норма» или «Не норма» проверки.

Для испытательного изделия необходимы следующие этапы проверки:

- проверка технологического регистра на ввод-вывод;
- проверка 32-х разрядной кодовой шины данных;
- проверка 8-ми разрядного счетчика адреса;
- проверка заглушек.

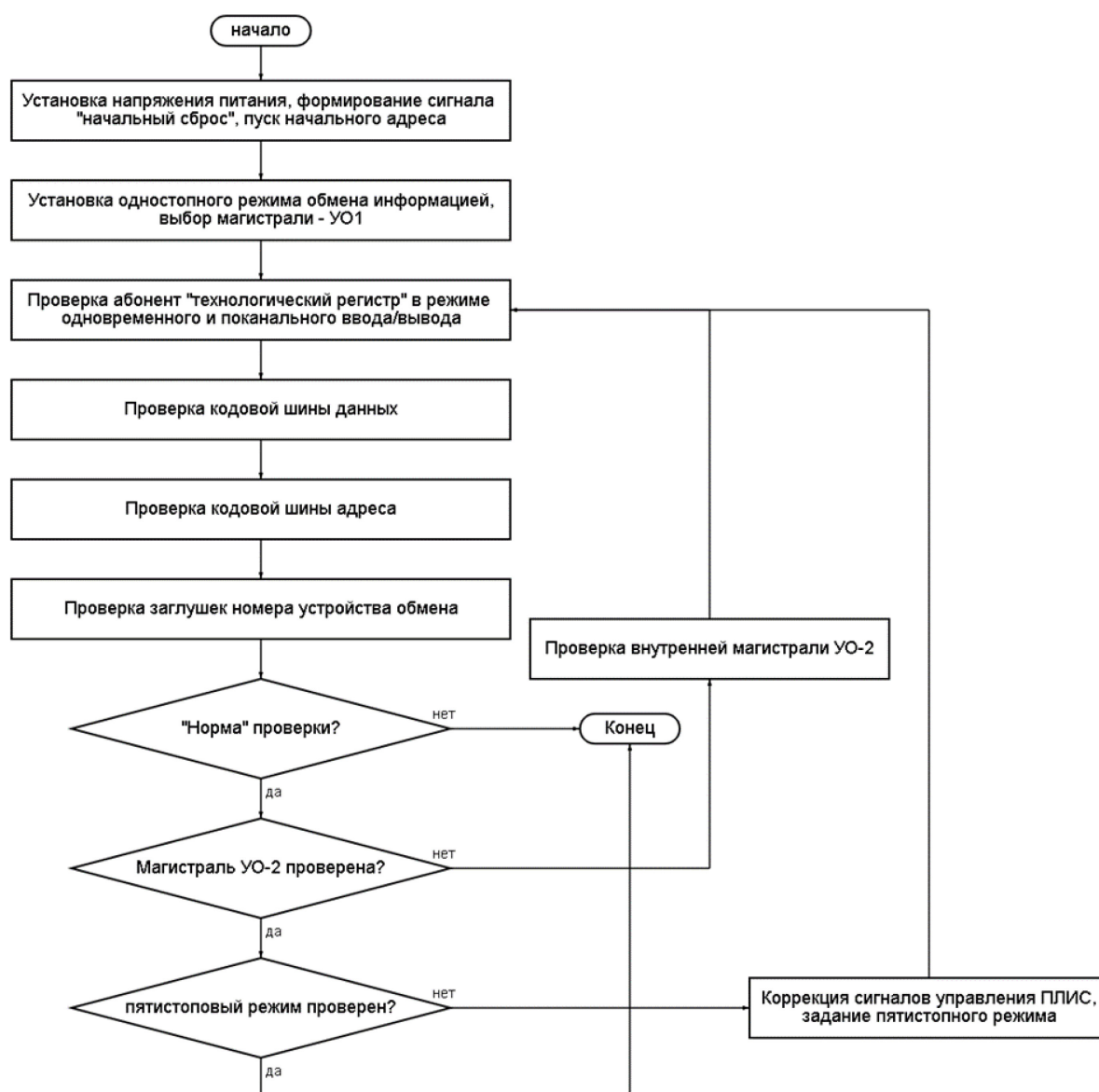


Рис. 2 – Алгоритм проверки устройства

Данные проверки необходимо реализовать для одностопного и пятистопного режимов работы, а также для внутренних магистралей УО1 и УО2. Задание режимов работы ПЛИС происходит путем изменения соответствующих сигналов управления. Алгоритм проверки устройства представлен на рис.2.

После написания программы идет проверка изделия в цехе на рабочем месте. Рабочее место состоит из стенда с блоками, которые отвечают за выдачу необходимых сигналов, компьютера на который загружается программа проверки и осциллографа для проверки уровней напряжения сигналов. Основным достоинством реализации контроллера устройство обмена на ПЛИС является существенное сокращение времени и затрат на разработку [3].

Задачи тестирования при производстве цифровых устройств вычислительной техники являются весьма сложными для практической реализации. Предложенный в работе алгоритм тестирования основан на использовании в аппаратных решениях современной элементной базы, что позволяет проводить испытания готовых устройств на новой платформе с возможностью перепрограммирования в случае обнаружения ошибки, а также создавать программное обеспечение нового поколения для контроля, диагностики и верификации вычислительных систем.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации (проект №FSFZ-0706-2020-0022).*

Список литературы

1. *Pevtsov E.P., Demenkova T.A., Shnyakin A.A.* Design for Testability of Integrated Circuits and Project Protection Difficulties. Russian Technological Journal. 2019;7(4):60-70. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-4-60-70>
2. *Деменкова Т.А.* Контроль и диагностика цифровых устройств в инфокоммуникационных системах. — М.: РТУ МИРЭА, 2020.
3. *Тарасов И.Е.* ПЛИС Xilinx. Языки описания аппаратуры VHDL и Verilog, САПР, приемы проектирования. -М.: Горячая линия-Телеком. 2019.

05.13.11

Н.М. Лащик

МИРЭА - Московский технологический университет,
Институт информационных технологий,
кафедра вычислительной техники,
Москва, LKolya97@gmail.com.

РАСПОЗНАВАНИЕ СЛОВА НА ЯЗЫКЕ ЖЕСТОВ ПО ФОТОГРАФИИ

Проведено исследование нейронных сетей и алгоритмов их обучения, реализовано программное приложение для распознавания языка жестов и визуальной информации.

Ключевые слова: машинное обучение, ситуационный анализ, нейронные сети, обработка фотографий.

Язык жестов — самостоятельный язык, который состоит из комбинаций жестов. Они производятся руками в сочетании с мимикой, формой или движением рта и губ, а также в сочетании с положением корпуса тела. Данный язык в основном используется глухими и слабослышащими людьми для взаимодействия. Использование жестовых языков людьми без нарушения слуха вторично, но так же необходимо, потому что слабослышащие и глухие люди общаются не только между собой, но и со всеми остальными людьми тоже.

Сурдоперевод — процесс перевода устной речи на жестовый язык и обратно. Сурдопереводчик весьма нераспространенная профессия, поэтому нелегко найти человека, который смог бы понять глухонемого или слабослышащего. Поэтому люди с дефектом речи или слуха испытывают трудности при походе в поликлинику, магазин или просмотре телепередач.

В жестовом языке, как и в любом языке, есть азбука, которая состоит из дактилей. Дактили — буквы алфавита жестового языка. Различные положения пальцев воспроизводят знаки, функционально аналогичные буквенному алфавиту; и по очертанию многие из них отдаленно напоминают буквы печатного шрифта. Каждое положение пальцев при этом означает букву.

К сожалению, в наше время нередки ситуации, когда слабослышащий человек пытается что-то объяснить другим людям единственным доступным ему способом, а именно по средствам языка жестов, но сталкивается с тем, что его не могут понять. В каких ситуациях мог бы помочь сурдопереводчик, но найти такого человека крайне сложно, особенно если его помощь нужна срочно.

В такие моменты на помощь могут прийти технологии, которые уже давно вошли в нашу жизнь, и представить её без них уже невозможно. Речь, естественно, о компьютерах. С помощью программы по распознаванию языка жестов можно было бы легко перевести в печатный вид информацию, которую хочет донести слабослышащий человек, и помочь ему.

Правда, в жизни может сложиться так, что какая-то буква может быть потеряна или не воспринята программой, и в слове будет не хватать буквы. Для такой проблемы отличным способом её решения была бы возможность определения слова даже с пропущенной буквой. Для реализации задачи по распознаванию визуальной информации лучше всего подходит сверточная нейронная сеть.

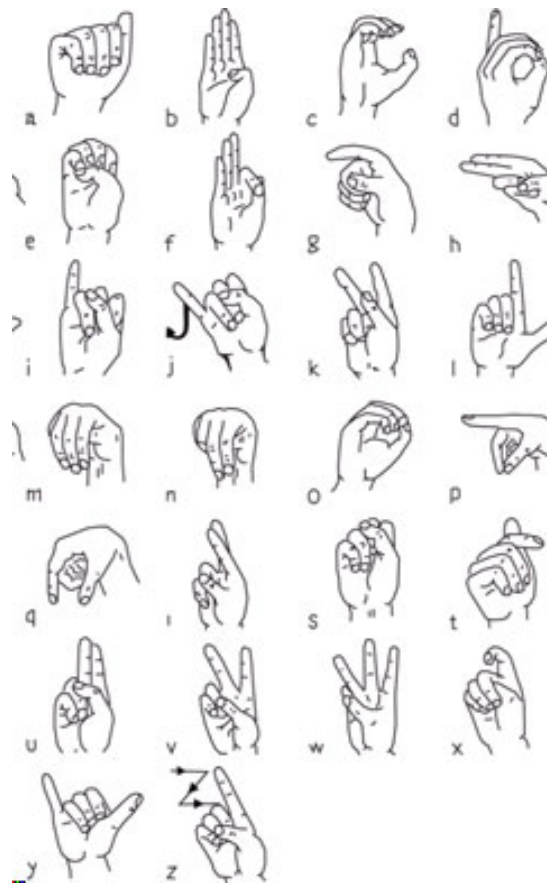


Рис.1 – Азбука языка жестов

Сверточные нейронные сети - обычно они используются для обработки изображений, реже для аудио. Типичным способом применения данной сети является классификация изображений, то есть, если нейронной сети, обученной распознаванию самолетов, показать фотографию, на которой есть самолет, то сеть об этом скажет.

Такая нейронная сеть основывается на нескольких особенностях зрительной коры человеческого мозга, в которой были открыты «простые клетки», которые реагируют на прямые линии под разными углами, и «сложные клетки», которые реагируют при активации определенного набора «простых клеток».

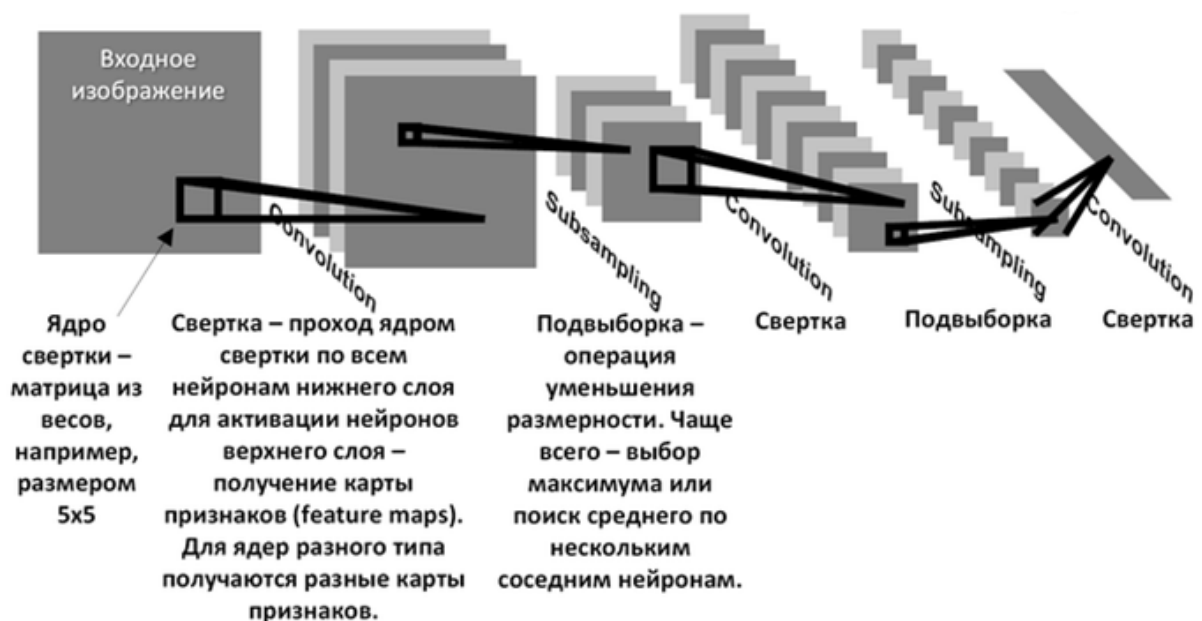


Рис. 2 – Архитектура сверточной нейронной сети.

Когда сверточные нейронные сети обучаются распознавать объекты, они разрабатывают представление изображения, которое делает информацию об объекте более явной по иерархии обработки. Поэтому вдоль этой иерархии сети входное изображение преобразуется в представления, которые больше обращают внимание на фактическое содержимое изображения, а не на его подробные значения пикселей.

После обработки входных данных программе нужно будет проанализировать обработанную информацию и на основе порожденной теории выдать прогнозируемое значение. На данный момент самым оптимальным методом порождения гипотез можно считать ДСМ-метод.

Данный метод предназначен для обнаружения связей между структурой и поведением объекта. Такую связь называют причинно-следственной связью.

В ДСМ (Джон Стюарт Милль)-методе атомами называют элементы структуры объекта, а свойствами - элементы поведения, также их могут называть целевыми свойствами. Объект исследования представляется в виде конечного множества атомов. Этот объект обладает или не обладает некоторым множеством целевых свойств. Считается, что должна существовать причина отсутствия или наличия таких наборов целевых свойств. Данные причины являются фрагментами структуры объекта. Так как объекты представлены множествами, фрагменты представляются подмножествами объектов, т.е. опять же конечными множествами атомов. Модель причинно-следственных связей, используемая ДСМ-методом, может быть описана графом, изображенном на рис. 3.

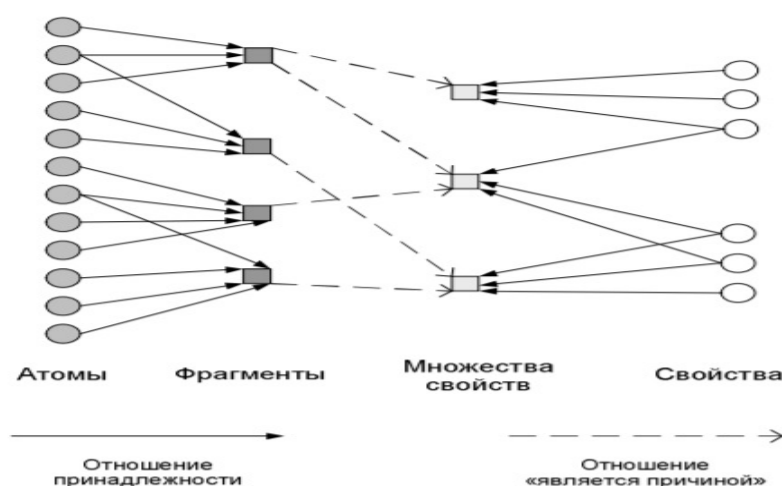


Рис. 3 – Сущности ДСМ-метода и связи между ними

К сожалению, в ходе исследований стало ясно, что использовать ДСМ-метод или ему подобные в данный момент не представляется возможным, так как для определения свойств слова нужен контекст, обработать который мы пока не можем. Возможно, в дальнейшем мы сможем использовать данный способ, но пока остановились на использовании библиотеки слов с числом частоты их использования.

На рисунке 4 мы видим входные данные программы, из которых нам нужно сделать предположение, что за слово они составляют.



Рис. 4 – Пример входных данных

Как мы видим, под такой вариант подходят как минимум 2 слова, а именно line(линия) и lane(переулок). Поскольку слово «линия» используется чаще, то при сопоставлении частоты встречи этих двух слов мы должны выбрать именно вариант «line», что мы и видим из рисунка 5.

```
show result  
prediction: line  
>>>
```

Рис. 5 – Пример вывода программы

Используя предложенный способ обработки визуальной информации, людям, которые не знакомы с языком жестов, имели бы возможность понять и помочь тем, кто может общаться по средствам языка жестов. Область применения такого решения очень велика, ведь всем нам постоянно приходится взаимодействовать с большим количеством людей по совершенно разным вопросам и в совершенно разных обстоятельствах.

Список литературы

1. Азбука глухонемых [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://alphabetonline.ru/daktilologiya.html>
2. ASL Alphabet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kaggle.com/grassknotted/asl-alphabet>
3. *Сорокин А.Б.* Интеллектуальные системы: Учебно-методическое пособие по выполнению практических работ для студентов, обучающихся по направлению 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» по профилю магистры. / под редакцией Коваленко С.М. — М., Московский технологический университет (МИРЭА), 2016 — 178 с. [Электронный ресурс] ИНФОРМРЕГИСТР: № госрегистрации 0321700939.
4. *Тим Джонс М.*, Пер с англ. Осипов А.И. — М. : ДМК Пресс, 2011. — 312 с.
5. *Сорокин А.Б., Лобанов Д.А.* Концептуальное проектирование интеллектуальных систем // Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Информационные технологии», 2018. — №1 (24). — С. 3 — 10.
6. *Анишаков О.М.* «ДСМ-метод: теоретико-множественное объяснение».

05.13.11

В.А. Тутынин

Вятский государственный университет,
кафедра электронных вычислительных машин,
Киров, tutynin.vladimir@yandex.ru

ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД МЕТОДОМ ДЕЛЕНИЯ ДИЗЬЮНКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕДУЩИХ ЛИТЕРАЛОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

В статье представлены результаты исследования работы обычного и модифицированного методов деления дизъюнктов в распределённой системе. Анализируются время логического вывода, а также количество произведённых операций унификации литерала. Также демонстрируется процесс распределения правил базы между исполняющими устройствами системы в рамках работы модифицированного метода.

Ключевые слова: логический вывод, метод деления дизъюнктов, исчисление предикатов, распределённая система.

Базы знаний представляют собой способ хранения информации в виде набора посылок, которые являются логическими выражениями. Получение новых знаний обеспечивается механизмом логического вывода, который позволяет проверить, можно ли установить истинность заключения исходя из имеющихся посылок в базе. Работу данного механизма определяет метод логического вывода, поэтому эффективность работы с базой знаний во многом зависит от используемого метода.

Существует достаточно большое количество методов логического вывода [1]. Одним из таких методов является метод деления дизъюнктов, описанный в [2]. Как показано в работе [3], данный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с остальными методами, такими как двунаправленность процесса логического вывода и высокая степень параллелизма. Так как задача логического вывода характеризуется высокой трудоёмкостью и возможностью работы с несколькими правилами базы независимо друг друга, метод деления дизъюнктов является одним из наиболее перспективным при работе в параллельных системах.

Одной из особенностей метода деления дизъюнктов является возможность модификации отдельных частей алгоритма. В работе [4] была предложена модификация метода, которая основывается на распределении множества посылок исходной базы знаний по подмножествам. За каждым подмножеством закреплён свой литерал, который называется ведущим. При распределении все посылки, содержащие ведущий литерал, должны быть отнесены к данному подмножеству.

Следует учитывать, что при работе параллельных систем наибольшая эффективность достигается в тех ситуациях, когда каждому из устройств системы достаётся равный объём задачи. Следовательно, необходимо обеспечить такое распределение посылок, чтобы каждое устройство содержало равное число посылок для каждого литерала. В данной статье рассматривается способ распределения посылок между разными исполняющими устройствами для модифицированного метода деления дизъюнктов с использованием ведущих литералов.

Описание способа распределения посылок между устройствами

Распределённая система состоит из центрального устройства, которое контролирует работу остальных устройств и обрабатывает результаты деления, а также набор исполняющих устройств, которые непосредственно выполняют операцию деления дизъюнктов. Способ распределения заключается в том, что каждое исполняющее устройство

должно содержать свой набор подмножеств посылок. Посылка относится к тем подмножествам, которые имеют соответствующий ведущий литерал. При этом данные подмножества могут быть как на одном, так и на разных исполняющих устройствах. В то же время среди подмножеств с одним и тем же ведущим литералом посылку может содержать только одно такое подмножество. Исполняющие устройства принимают посылки от центрального устройства в порядке очереди, но при этом очередь будет отдельной для каждого литерала.

Для примера распределения используется следующий набор посылок:

$$D_1 = \overline{L_1(x_1)} \vee L_2(a_2) \vee L_3(x_1) \quad (1)$$

$$D_2 = \overline{L_2(x_2)} \vee L_3(a_1) \vee L_4(a_4) \quad (2)$$

$$D_3 = \overline{L_3(x_3)} \vee L_4(a_4) \vee L_5(x_3) \quad (3)$$

$$D_4 = \overline{L_4(a_4)} \vee L_5(x_4) \quad (4)$$

Перед выполнением распределения на каждом исполняющем устройстве создаётся набор из подмножеств под каждый из литералов от L_1 до L_5 . Посылка D_1 распределяется по подмножествам L_1 , L_2 и L_3 первого устройства так как данное устройство ещё не содержит посылок. Посылка D_2 распределяется по подмножествам L_2 , L_3 и L_4 . При этом используются подмножества L_2 и L_3 второго устройства и подмножество L_4 первого устройства, так как подмножество L_4 первого устройства является пустым. Аналогичным образом распределяются остальные посылки. Результат распределения для системы из двух исполняющих устройств представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Результат распределения для системы из двух устройств

Подмножество	Посылки устройства 1	Посылки устройства 2
L1	D1	-
L2	D1	D2
L3	D1,D3	D2
L4	D2,D4	D3
L5	D3	D4

В ходе решения задачи логического вывода каждое из исполняющих устройств принимает на вход заключение, истинность которого необходимо установить. Выбираются подмножества, ведущие литералы которых соответствуют литералам заключения, после чего для всех элементов выбранных подмножеств выполняется модифицированная операция деления дизъюнктов. Полученные остатки от деления передаются на центральное устройство, которое обрабатывает полученные данные и формирует набор подзадач для дальнейшего решения.

Для демонстрации выполнения этапа логического вывода используется заключение:

$$d = \overline{L_1(a_1)} \vee L_5(a_1) \quad (5)$$

Данное заключение передаётся на каждое исполняющее устройство. Так как заключение содержит литералы L_1 и L_5 , будут использованы соответствующие подмножества и выполнены операции деления дизъюнктов с правилами D_1 и D_3 на первом устройстве и D_4 на втором. Результаты операций деления:

$$D_1^{L_1} \Omega d = \{G, \overline{L_2(a_2)} \vee L_3(a_1)\} \quad (6)$$

$$D_3^{L_5} \Omega d = \{G, \overline{L_3(a_1)} \vee L_4(a_4)\} \quad (7)$$

$$D_4^{L_5} \Omega d = \{G, \overline{L_4(a_4)}\} \quad (8)$$

Полученные результаты передаются на центральное устройство и после преобразования формируется новая подзадача:

$$d' = \overline{L_2(a_2)} \vee L_3(a_1) \vee L_4(a_4) \quad (9)$$

Таким образом, в процессе решения задачи логического вывода принимают участие сразу оба исполняющих устройства, каждое из которых содержит свой набор подмножеств посылок.

Экспериментальная апробация

Для того, чтобы проверить эффективность предлагаемого способа распределения, была проведена экспериментальная апробация. Для проведения эксперимента была написана программа на языке C++, реализующая обычный и модифицированный методы деления дизъюнктов. Для модифицированного метода был применён описанный способ распределения посылок. Для реализации механизма обмена сообщениями между вычислительными потоками был использован интерфейс MPI. Результаты апробации для системы с десятью исполняющими устройствами представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты эксперимента для обычного метода

Всего правил	Время (с)	Унификаций всего	Минимальное число унификаций на 1 устройство	Максимальное число унификаций на 1 устройство
4	0,013	73	11	21
100	1,89	19812	1590	2394
500	30,41	496548	45700	51200
1000	109,59	1986700	188775	208775

Таблица 3 – Результаты эксперимента для модифицированного метода

Всего правил	Время (с)	Унификаций всего	Минимальное число унификаций на 1 устройство	Максимальное число унификаций на 1 устройство
4	0,054	43	6	26
100	1,67	1990	130	230
500	24,61	49754	4638	5388
1000	91,62	198895	19300	20900

В ходе апробации было выявлено, что на примерах с большим числом правил модифицированный метод показывает меньшее время решения задачи за счёт сокращения числа выполнения операций сравнения для тех литералов, которые заведомо не могут быть унифицированы. Сокращение времени на 10-15% при сокращении числа унификаций в несколько раз объясняется тем, что проведение успешной унификации занимает больше времени, чем неуспешной, а некоторые операции (такие как объединение результатов на центральном устройстве) работают одинаково в обоих методах. Большее время на малом числе правил объясняется дополнительными накладными расходами на создание подмножеств.

Заключение

Полученный результат позволяет сделать вывод о том, что модифицированный метод деления дизъюнктов с использованием ведущих литералов может быть применён в распределённых системах. При этом данный метод позволяет решать задачи логического вывода за меньшее время по сравнению с обычным методом за счёт уменьшения числа операций унификации литералов и равномерного распределения посылок между устройствами.

Список литературы

1. Вагин В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин, Е. Ю. Головина, А. А. Загорянская, М. В. Фомина. М. : Физматлит, 2004. – 704 с.
2. Maria L. Dolzhenkova, Vasilij Yu. Meltsov and Dmitriy A. Strabykin. Method of Consequences Inference from New Facts in Case of an Incomplete Knowledge Base // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9, I. 39. P. 1-7.
3. Вывод следствий в исчислении предикатов с построением схемы вывода/Долженкова М.Л., Страбыкин Д.А., Чистяков Г.А., Мельцов В.Ю. //Современные наукоемкие технологии. 2018. № 3. С. 47-54.
4. Модификация метода деления дизъюнктов на распределенной базе знаний/Тутынин В.А.// Международная научно-практическая конференция старшеклассников, студентов и аспирантов «Молодежь и наука». Нижний Тагил. 2020. С. 331-334.

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

05.13.18

¹Н.В. Абдулкина, ^{2,4}Р.И. Вахитова канд. техн. наук, ^{3,4}Е.Б. Думлер канд. техн. наук,
^{2,4}Д.А. Сарачева канд. техн. наук, ⁴Э.У. Лощакова, ⁵И.К. Киямов д-р экон. наук

Альметьевский государственный нефтяной институт,
¹кафедра автоматизации и информационных технологий,
²кафедра электро- и теплоэнергетики,

Альметьевск,

³Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра машин и оборудования нефтегазовых промыслов,
Уфа,

⁴Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,

кафедра машиностроения и информационных технологий,
филиал в г. Лениногорск, dumler08@mail.ru,

⁵Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра «Биомедицинская инженерия и управление инновациями»,
Казань

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ
В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПЛАСТА**

Важной задачей при добыче нефти из скважин, находящихся на поздней стадии разработки, является обеспечение поддержания стабильного пластового давления для подъема требуемых объемов продукции пласта. Одним из основных требований в системе является возможность регулирования давления в нагнетательной линии. В статье предлагается регулятор давления для высокоприемистых нагнетательных скважин.

Ключевые слова: нагнетательная скважина, регулятор давления, система ППД.

В систему ППД входит комплекс технико-технологического оборудования, который необходим для процессов подготовки и закачки рабочей жидкости в нефтедобывающие пласты месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, для поддержания давления в пласте, так же достижения оптимальных показателей отбора продукции из пласта [1]. Закачку рабочей жидкости в нагнетательную скважину, производят, как правило, с применением центробежных секционных насосов (ЦНС), расположенных на кустовых насосных станциях (КНС). Одним из способов регулирования расхода закачиваемой жидкости в ЦНС является дросселирование (процесс снижения давления). Дросселирование производят прикрытием проходного сечения регулируемой задвижки на выкидной линии насоса. В низконапорных подводящих водопроводах регулирование давления осуществляется при помощи регуляторов давления [2].

Главным требованием, предъявляемым к регуляторам давления, является их точная и безотказная работа. Применение регулятора давления на нагнетательной скважине обеспечивает поддержание стабильного давления в системе ППД (регулирование давления обеспечивается на высокоприемистых скважинах). Это, в свою очередь, снижает нагрузку в трубопроводной сети со стороны насосной станции, на все имеющееся оборудование, и тем самым, повышает срок службы, позволяет безотказно работать при различных режимах нагнетательных скважин [3,4].

Регуляторы давления обеспечивают поддержание давления в трубопроводной сети, при изменяющихся показателях давления на входе в регулятор давления в автоматическом режиме и ограничивают величину давления в хвостовых участках водопроводов или в их ответвлениях с созданием условий, соответствующих технологическим требованиям [4,5].

Предлагаемая система регулирования давления представляет собой программно - технический комплекс, который включает в себя три иерархических уровня: нижний – КИП для полевых условий, средний – контроллер марки «А2И-ТК», верхний – автоматизированная система дистанционного контроля и управления (АСДКУ) [6-8].

Контроллер марки «А2И-ТК» позволяет определить и зафиксировать неисправности, возникающие в системе автоматизации нагнетательных скважин (Таблица 1). В него вводится уставка по давлению, поддерживаемому в трубопроводной системе со стороны насосной станции, и величина давления (дельта), не выходящего за уставку.

При повышении давления в трубопроводной системе со стороны насосной станции контроллером приоткрывается задвижка для сброса лишних объемов воды и стабилизации значения давления на уровне уставки. При понижении значений давления в трубопроводной системе со стороны насосной станции процесс стабилизации давления на уровне уставки обеспечивается прикрытием задвижки или ее полным закрытием.

Таблица 1 – Перечень неисправностей в системе автоматизации нагнетательных скважин

№ п/п	Код	Наименование неисправности	Причина неисправности
1	1	отсутствует сигнал с датчика давления до задвижки	не поступает сигнал с датчика давления 4-20мА
2	2	отсутствует сигнал с датчика положения задвижки	не поступает сигнал с датчика давления 4-20мА
3	3	поступает сигнал о перегреве электродвигателя от блока тепловой защиты (БТЗ 3.2)	перегрев привода задвижки. Разорвана цепь управления с БТЗ 3.2.

Уставки по давлению, тренды изменения давления при регулировании показаны на рисунках 1 и 2.

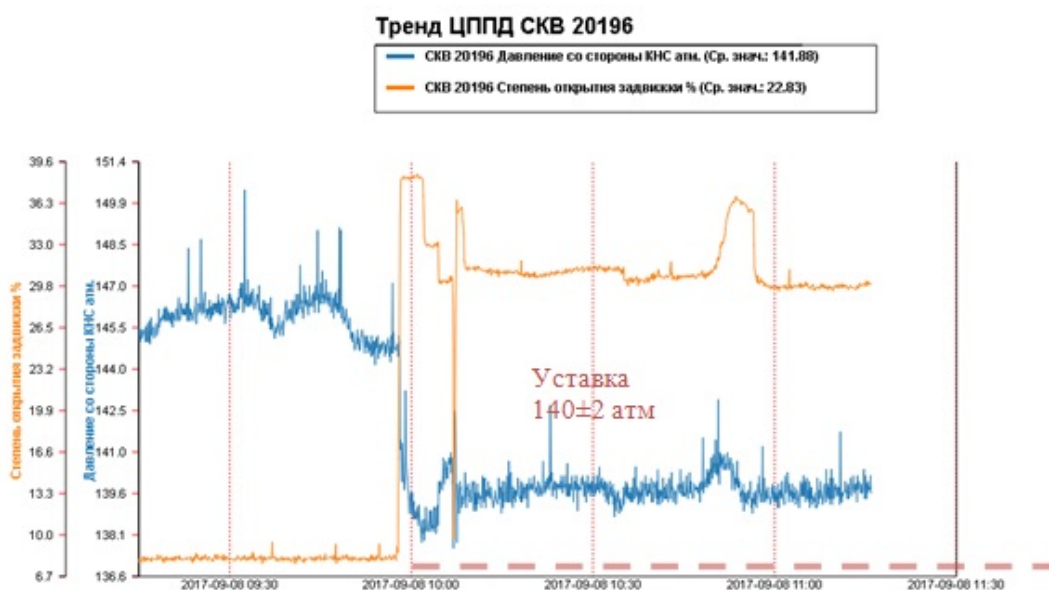


Рис.1 – Графики давления со стороны насосной станции на уровне 140 ± 2 атм

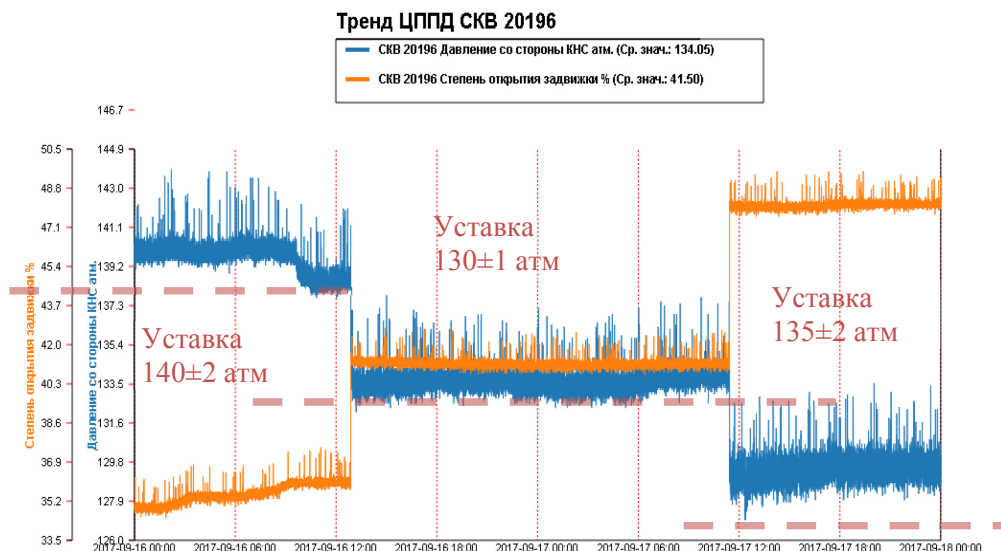


Рис. 2 – Графики давления со стороны насосной станции:

на уровне (1) – 140 ± 2 атм, на уровне (2) – 135 ± 2 атм, на уровне (3) – 130 ± 1 атм

После проведенных расчетов, воспользовались программой MatLAB и определили оптимальные параметры настроек ПИ-регулятора, предварительно собрав схему, представленную на рисунке 3. По полученным данным построена переходная характеристика и определены прямые показатели качества регулирования. Согласно полученной графической зависимости прямые показатели качества имеют следующие значения $t_p = 280^\circ\text{C}$, $\sigma = 0,75\%$. Выявлено, что система работает в устойчивом режиме и прямые показатели качества удовлетворяют предъявляемым требованиям.

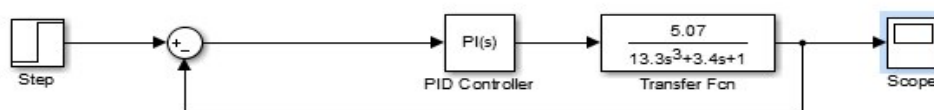


Рис. 3 – Схема в программе MatLAB

Исследована работоспособность регулятора давления системы поддержания пластового давления в реальных условиях промышленной эксплуатации, а именно: в условиях образования «точки росы», в солнечную погоду, в условиях осадков в виде дождя, в условиях нештатного отключения электропитания. В процессе промышленных испытаний сбоев и отказов и работе регулятора давления не зафиксировано. Предлагаемое техническое решение показало работоспособность системы по регулированию давления.

Список литературы

1. Покрепин Б.В. Разработка нефтяных и газовых месторождений / Б.В. Покрепин. – М.: Феникс, 2015. – 320 с.
2. Бржозовский Б.М. Диагностика и надежность автоматизированных систем: учеб. для вузов / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатьев, В.В. Мартынов, А.Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 352 с.
3. Жарковский Б.И. Приборы автоматического контроля и регулирования / Б.И. Жарковский. – М.: Высш. школа, 2003. – 271с.
4. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Чудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
5. Абдулкина Н.В. Оценка балансовой модели системы ППД / Н.В. Абдулкина, И.П. Ситдикова, А.И. Каюмова // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С.493-496.
6. Абдулкина Н.В. Составление математической модели системы поддержания пластового давления / Н.В. Абдулкина, И.П. Ситдикова, Э.Р. Чернов, А.И. Каюмова // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Материалы IV Международной научно-практической конференции. 2019. С.556-559.

05.13.18

¹Н.В. Абдулкина, ^{3,4}Е.Б. Думлер канд. техн. наук, ^{2,4}Р.И. Вахитова канд. техн. наук,
⁴Э.У. Лощакова, ⁵И.К. Киямов д-р экон. наук, ⁶Л.С. Сабитов канд. техн. наук

Альметьевский государственный нефтяной институт,
¹кафедра автоматизации и информационных технологий,

²кафедра электро- и теплоэнергетики,

Альметьевск, goza-w@mail.ru,

³Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра машин и оборудования нефтегазовых промыслов,

Уфа, dumler08@mail.ru,

⁴Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, Лениногорский филиал,

⁵Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра «Биомедицинская инженерия и управление инновациями»,

Казань,

⁶Казанский государственный энергетический университет,
кафедра энергообеспечения предприятий и энергосберегающих технологий,
Казань

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Одним из наиболее современных путей повышения энергоэффективности рекуперативного электропривода переменного тока является обеспечение значения коэффициента мощности, стремящегося к единице, синусоидальности входных токов и возможности сброса в промышленную сеть электроэнергии в режиме рекуперативного торможения. В статье предложено техническое устройство для преобразования частоты и представлены результаты исследования модели матричного преобразователя в среде моделирования Matlab/Simulink.

Ключевые слова: регулирующее устройство, матричный преобразователь частоты, асинхронный двигатель.

Одним из наиболее современных путей повышения энергоэффективности рекуперативного электропривода переменного тока является обеспечение значения коэффициента мощности, стремящегося к единице, синусоидальности входных токов и возможности сброса в промышленную сеть электроэнергии в режиме рекуперативного торможения. В настоящий период наиболее активное развитие рекуперативного электропривода переменного тока движется в перспективном направлении, связанном с применением сравнительно новых разновидностей преобразователей частот, в частности, речь пойдет о преобразователе частоты матричного типа (МПЧ). Матричные преобразователи в своем составе не имеют ненадежных элементов, характеризуются высоким качеством показателей потребляемой энергии, имеют малые массогабаритные параметры.

Тормозные режимы работы асинхронных двигателей в звеньях постоянного тока обеспечиваются тормозным резистором, а иногда дополнительным тиристорным мостом, установленным и подключенным между промышленной сетью и звеном постоянного тока [1]. Такие технические решения применимы при определенных условиях работы, и имеют ряд значимых недостатков: высокий коэффициент гармоник входного тока и потребление значительной реактивной мощности.

Сравнительно недавно МПЧ был представлен на мировом рынке силовой преобразующей техники. Его характеристиками стали высокие энергетические показатели, что на сегодняшний день оставляет их в числе объектов для научных и технических изысканий.

Известна топология силовой части МПЧ с небольшими размерами входного фильтра. Так же известна топология полностью исключая входной фильтр из конструктивного состава преобразователя, а его отсутствие позволяет существенно снизить массогабаритные параметры и повысить надежность всего электрического привода в целом. Это делает преобразователи такого типа привлекательным объектом для проведения исследований [2]. Работу МПЧ можно представить как эквивалентную схему замещения (рисунок 1).

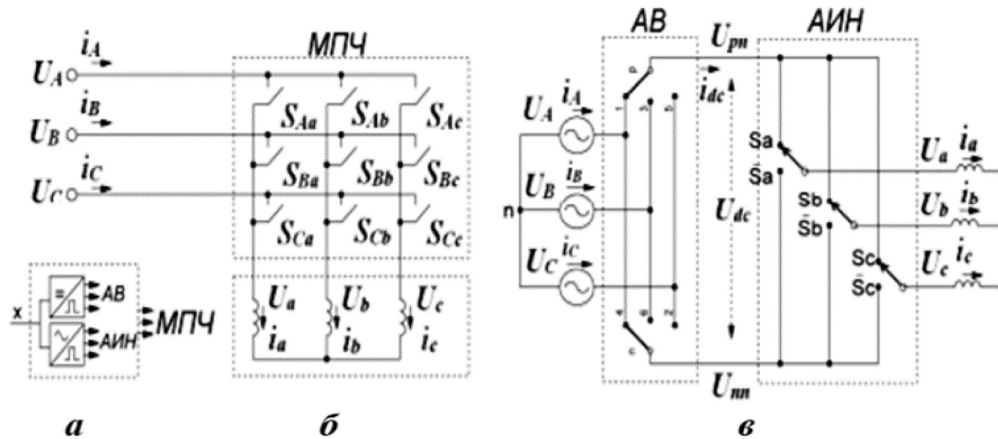


Рис. 1 – Состав преобразователя частоты матричного типа:
а – система управления; б – силовая часть; в – система замещения

В результате получен общий вид модели (рисунок 2). Отработку алгоритма управления производили пользовательскими функциями S-Function, состоящих из трех блоков.

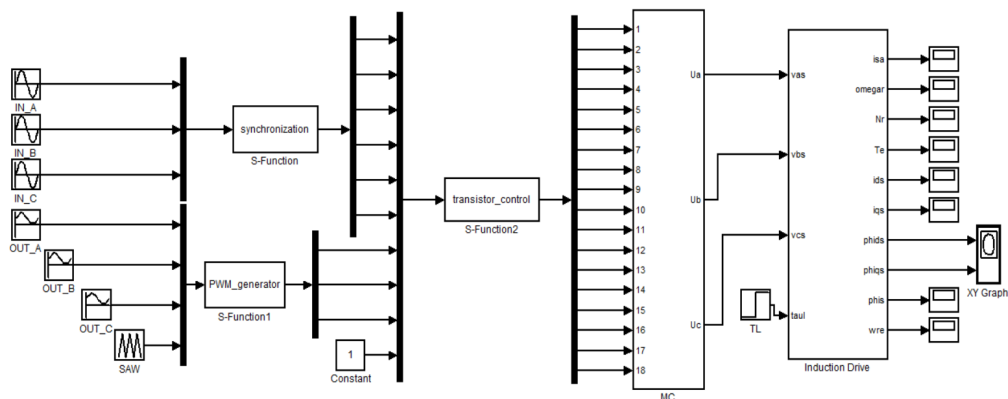


Рис. 2 – Исследование преобразователя в моделирующей среде

Для формирования синхроимпульсов S1-S6 и сравнительный анализ мгновенных значений напряжений питания в фазах, использовали S-функцию «synchronization». Для формирования трех ШИМ-сигналов путем сравнительного анализа мгновенных значений уровня пилообразного сигнала и заданных выходных синусоид использовали S-функцию PWM_generator. Для формирования импульсов управления использовали S-функцию transistor_control. Импульсы управления формировали каждому транзистору с учетом условий эксплуатации и, затем подавали на прием затворов IGBT. Нагрузка на матричный преобразователь осуществляется с короткозамкнутого ротора трехфазного асинхронного двигателя. В модели, имитирующей матричный преобразователь, используют модель асинхронного двухфазного двигателя. Известно, что преобразовав трехфазную координатную систему в эквивалентную ей двухфазную, можно значительно упростить систему уравнений, описывающих модель асинхронного двигателя (АД).

При создании модели рассматривали принцип действия матричного преобразователя на асинхронном двигателе ($N_{дв} = 500$ Вт) с выходными частотами МПЧ, равными 30 Гц, 100 Гц. Графики изменения исследуемых фазного тока статора и электромагнитного момента АД

при его запуске и при значениях входных частот преобразователя равных 30 Гц и 100 Гц приведены на рисунке 3 [4].

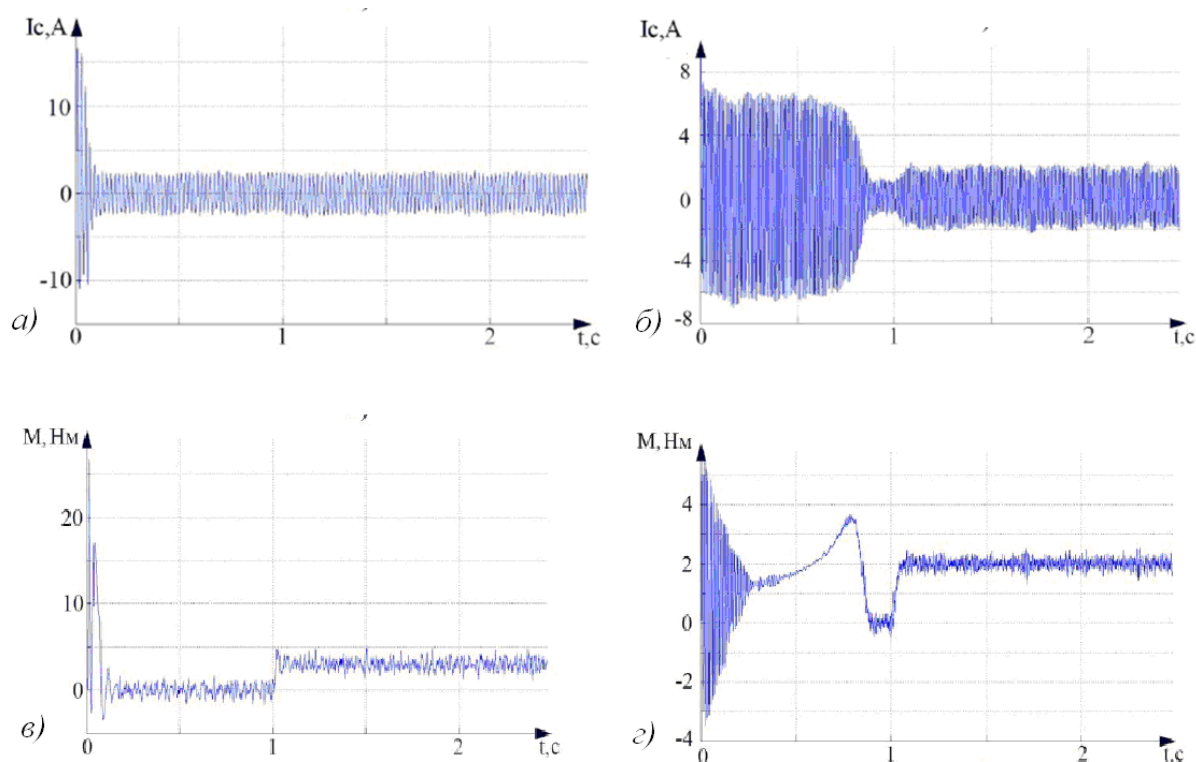


Рис.3 – Графики изменения исследуемых показателей, изменение тока статора с частотами: а – 30 Гц, б – 100 Гц; изменение электромагнитного момента с частотами: в – 30 Гц, г – 100 Гц

Результаты моделирования показали, что внешний вид фазных токов статора АД на графиках близок к аналогичным графическим зависимостям, полученным при подключении идеального источника напряжения сети к приводу. Величина амплитуды пульсаций электромагнитного момента составила 0,5 Нм (25% от постоянных значений). Это способствует повышению температуры в роторе двигателя. Однако, снижение качества работы АД на базе матричного преобразователя из-за изменения теплового режима, наблюдается в меньшей степени. При условии малых нагрузок целесообразно в матричном преобразователе обеспечить потребление реактивной мощности для компенсации первой гармоники емкостного тока входного фильтра, что улучшит коэффициент нелинейных искажений [5].

Использование МПЧ дает возможность отказаться от необходимости применения тормозных резисторов, и это позволяет значительно уменьшить габариты системы, при этом кинетическая энергия механизмов системы беспрепятственно возвращается в электросеть. Таким образом, за счет рекуперации и увеличения КПД системы повышается экономическая эффективность [6]. Повышение коэффициента нелинейных искажений благоприятно скажется на общем состоянии питающей энергосети.

Список литературы

1. *Виноградов А.Б.* Новые алгоритмы пространственно-векторного управления МПЧ / Электричество. – 2018. – 78 с.
2. *Гибин И.С.* Неохлаждаемые матричные терагерцовые преобразователи изображений. Принципы конструирования / И.С., Гибин П.Е. Котляр // Прикладная физика. – 2019. – № 4. – С.80-86
3. *Леонтьев А.Г.* Автоматизация технологических процессов / А.Г. Леонтьев. – М.: ТНТ, 2015. – 524 с.
4. Ведущие производители преобразователей частоты/ Молодой ученый. – 2017. – №9. – URL <https://moluch.ru/archive/143/45162/>
5. *Кунинин П.Н.* Асинхронный электропривод с регулятором напряжения по первой гармонике ряда Фурье / П.Н. Кунинин, А.И. Рыбаков, М.М. Кучик, В.С. Самуськов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – №4. – С.364-369.
6. *Шрейнер Р.Т.* Энергосберегающий регулируемый асинхронный электропривод нового поколения на основе двухзвенно непосредственных преобразователей частоты / Р.Т. Шрейнер, В.К. Кривовяз, А.И. Калыгин и др. / Силовая электроника. 2016. – 290 с.

05.13.18

С.Д. Абросимов, С.В. Прытков

Мордовский государственный университет им Н.П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра источников света,
Саранск, sergeyvladi88@gmail.com

**ПРИМЕНЕНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ
И ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИЙ
ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ СУММАРНОГО СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОИЗВОЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА**

Для решения задачи вынесенной в название статьи предлагаются два метода. Первый представляет собой кусочно-линейную интерполяцию индикатрисы с использованием триангуляции Делоне. Второй метод связан с предварительной тригонометрической интерполяцией индикатрисы силы света каждого ИС, с помощью использования дискретного преобразования Фурье.

Ключевые слова: угловое распределение силы света, суммарное светораспределение, фотометрические данные, тригонометрическая интерполяция, дискретное преобразование Фурье, кусочно-линейная интерполяция, триангуляция Делоне, поворот системы координат, преобразование координат.

Несколько лет назад в научных публикациях [1,2,3,4] был определенный интерес к идее создания осветительных приборов (ОП), собранных из нескольких светодиодов или светодиодных модулей с вторичной оптикой, имеющих разную ориентацию в пространстве. У этого подхода есть два преимущества. Во-первых, он позволяет создавать фотометрические тела (ФТ) любой. Во-вторых, предусмотрев в конструкции ОП возможность поворота отдельных светодиодов (светодиодных модулей), можно оптимизировать его светораспределение с учетом специфики условий освещения. Ашурков С.Г. и Барцев А.А. в работе [1] предложили решение задачи нахождения суммарного фотометрического тела для произвольно ориентированных осесимметричных источников. Далее в статье мы предлагаем два пути решения задачи, но без указанного ограничения, то есть для асимметричных исходных фотометрических тел (ФТ).

Обозначим через Θ и Φ угловые координаты в некоторой сферической системе, $\Theta \in [0^\circ, 180^\circ]$ и $\Phi \in [0^\circ, 360^\circ]$, и пусть измерения ведутся с шагом $\Delta\Theta$ по первому углу и $\Delta\Phi$ – по второму. Введя следующие обозначения:

$$\Theta_k = k\Delta\Theta, \Phi_l = l\Delta\Phi, \quad (1)$$

где $k = 0 \dots N_\Theta$, $l = 0 \dots N_\Phi$, $N_\Theta = 180^\circ/\Delta\Theta$, $N_\Phi = 360^\circ/\Delta\Phi$, получим, что известными являются величины:

$$i_{kl} = I(\Theta_k, \Phi_l), \quad (2)$$

Следом рассмотрим несколько ИС, расположенных в одной точке, ФТ каждого из которых известна и задается равенствами (1) и (2). При этом все ФТ описываются в одной фотометрической системе, например, (C, γ) , роль угла γ в которой играет Θ , а роль угла Φ – C .

Пусть аналитическое выражение для ФТ каждого ИС известно:

$$I_j = I_j(\Theta, \Phi), j = 1 \dots N, \quad (3)$$

где N – общее число ИС, индекс j используется для их нумерации, а углы Θ и Φ соответствуют собственной системе координат j -го ИС.

Можно найти зависимость между угловыми координатами в собственной системе и её координатами θ и φ в общей системе:

$$\Theta = T_j(\theta, \varphi), \Phi = F_j(\theta, \varphi), \quad (4)$$

Согласно выражениям (3) и (4), суммарное светораспределение N ИС в упомянутой общей системе координат выразится как:

$$I(\theta, \varphi) = I_1(T_1(\theta, \varphi), F_1(\theta, \varphi)) + \dots + I_N(T_N(\theta, \varphi), F_N(\theta, \varphi)). \quad (5)$$

Для реализации указанного подхода требуется восстановить функции (3) по исходным данным вида (1)–(2). Первые попытки решить эту задачу описаны в [5]. ФТ раскладывалась по степеням $\cos\theta$. Недостатки этого подхода является то, что он учитывает лишь одну угловую переменную и небольшое количество слагаемых в разложении (всего 4). В недавней работе [6] авторы повысили точность таких разложений, многократно увеличивая число слагаемых и совершенствуя методы поиска коэффициентов в такого рода суммах, но проблема перехода из плоскости в пространство осталась ими нерешённой. Возможные подходы к решению этой проблемы, разные по точности и трудоёмкости, описаны в [3]. Набор данных вида (1)–(2) конечен, поэтому фактически речь идёт о тригонометрических многочленах с $(N_\theta + 1) N_\varphi$ слагаемыми; коэффициенты этих многочленов подлежат определению:

$$I(\theta, \Phi) = \sum_m \cos m\theta \sum_n (a_{mn} \cos n\Phi + b_{mn} \sin n\Phi), \quad (6)$$

Таковым является метод с использованием дискретного преобразования Фурье. При этом для последовательности $\{x_k\}$ с периодом N дискретное преобразование Фурье задаётся формулой

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k \exp\left(-i \frac{2\pi nk}{N}\right)$$

тогда непрерывная функция

$$x(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \exp\left(i \frac{2\pi nt}{N\Delta t}\right)$$

периодична, причём $\{x_k\}$ – её значения, полученные при значениях t , взятых с шагом Δt .

Если ФТ (3) каждого отдельно взятого ИС не представляют интереса, то можно сразу перейти к общей системе координат. Угловые координаты, которым после этого перехода соответствуют измеренные силы света i_{kl} , могут определяться из системы (4), разрешаемой относительно θ и φ :

$$\theta = t_j(\Theta, \Phi), \varphi = f_j(\Theta, \Phi), j = 1 \dots N \quad (7)$$

После подстановки в (2) и (7) значений Θ_k и Φ_l для всех N ИС получится таблица значений силы света вида:

$$i_{kl} = I_j(\Theta_k, \Phi_l) \quad (8)$$

где, согласно (7), $\theta_k = t_j(\Theta_k, \Phi_l), \varphi_l = f_j(\Theta_k, \Phi_l)$.

Поскольку разным ИС соответствуют разные функции t_j и f_j , то одни и те же углы Θ_k и Φ_l после преобразования координат переходят в разные углы θ_k и φ_l . В итоге сложение i_{kl} , отвечающих разным ИС, сразу после поворачивания невозможно. Поэтому для всех повороченных ИС следует выполнять интерполяцию – определять силы света разных ИС в одних и тех же точках

$$\theta_p = p\Delta\theta, \varphi_q = q\Delta\Phi, \quad (9)$$

где шаги изменения угловых переменных в собственных и общей системах координат удобно выбирать совпадающими.

Сетка Θ_k, Φ_l , покрывающая область $[0^\circ; 180^\circ] \times [0^\circ; 360^\circ]$, после поворачивания перестаёт быть регулярной.

Наконец, второй алгоритм расчёта общего светораспределения состоит из последовательного выполнения следующих шагов:

1. Переход к общей системе координат по формулам (7) и (8).
2. Разделение расчётной области с помощью триангуляции Делоне
3. Кусочно-линейная интерполяция фотометрических данных всех ИС в одних и тех же точках (9).
4. Сложение сил света разных ИС в точках (9).

Результатом выполнения данного алгоритма служит таблица суммарных значений силы света.

Оба метода были реализованы в системе «WolframMathematica». Как дискретное преобразование Фурье, так и кусочно-линейная интерполяция на нерегулярной сетке также являются стандартными функциями данного ПО. Трудоёмкость программирования для обоих методов в указанном пакете примерно одинакова. То же самое можно сказать и об их быстродействии. В обоих случаях вычисления заняли 15–20 мин, при этом суммарное светораспределение, рассчитанное по обоим методам, было близко к экспериментально наблюдаемому. В выбранной области максимальная погрешность при использовании тригонометрической интерполяции составила менее 4 %, а при использовании кусочно-линейной интерполяции – около 6,5 %. В статье предлагаются и анализируются два метода решения задачи расчета суммарного светораспределения нескольких разно ориентированных источников света, расположение которых одинаково. Первый метод связан с тригонометрической интерполяцией фотометрических данных, а второй – с их кусочно-линейной интерполяцией. При проведении цифрового эксперимента с использованием реальных фотометрических данных тригонометрическая интерполяция оказалась более точной. Более того, его погрешность частично связана с исключением малых слагаемых из выражений вида (6). В результате его можно дополнительно уменьшить, сохранив в нем большее количество слагаемых, однако это связано с уменьшением скорости процесса.

Список литературы

1. *Ашурков С.Г.* Метод расчёта фотометрического тела излучателей со светодиодами разной пространственной ориентации/ С.Г. Ашурков, А.А.Барцев // *Светотехника*. – 2007. – N1. – С.43–44.
2. *Коваленко О.Ю.* Моделирование светодиодного модуля по заданной кривой силы света / О.Ю. Коваленко, О.А. Захаржевский, В.В. Афонин // *Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM: сб. статей II Междунар. научно-практич. конф.* Пенза: АНОО «Приволжский Дом знаний», 2008. – С.30–33.
3. *Сыромясов А.О.* Аппроксимация фотометрических данных тригонометрическими полиномами одной переменной / А. О. Сыромясов, С. В. Прытков// *Альманах современной науки и образования*. – 2014. – N 5–6 (84). – С.117–122.
4. *Сыромясов А.О.* Расчёт светораспределения точечных источников с помощью дискретного преобразования Фурье / А.О. Сыромясов // *Альманах современной науки и образования*. – 2014. – N9 (87). – С. 127–131.
5. *Сапожников Р.А.* Теоретическая фотометрия.– 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977.– 264 с.
6. *Kaljun D., Novak T., Žerovnik J.* Improved approximation of spatial light distribution // *PLoS ONE*.– 2017. – N12(4): e0176252. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176252> (дата обращения: 22.04.2019).

05.13.18

И.А. Барина канд. техн. наук, **А.М. Грек**, **В.А. Коротин**

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н. П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра источников света,
barinovastf@yandex.ru, andreygrek12@yandex.ru, vlad.k.13@mail.ru

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ФИЛАМЕНТНЫХ ЛАМП ОТ ТИПА ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

В статье подробно проанализирован и рассчитан КПД импульсного источника питания филаментной светодиодной лампы. Проведенная экспериментальная проверка выявила как достоинства, так и недостатки апробируемого светильника. Учитывая целый ряд преимуществ, таких как низкое энергопотребление и высокая светоотдача, применение светодиодных источников света представляется весьма перспективным.

Ключевые слова: *филаментная лампа, источник питания, светодиоды, импульсный источник питания.*

Проблема высокого энергопотребления становится все более актуальной. Только на освещение уходит порядка 30-35% всей вырабатываемой электроэнергии, а в масштабах крупных городов эта величина в полтора-два раза больше [1]. Светодиодное освещение — одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света. В 2008 г. японской компанией Ushio были созданы первые светодиодные лампы, внешне неотличимые от ламп накаливания. Новинка получила название Filament LED Bulb от английского слова Filament, в переводе означающее «нить накаливания». В русском языке сначала появился термин «светодиодные лампы накаливания», однако, он не прижился, так как объединял в себе противоречащие друг другу понятия. В настоящее время устоялся термин «филаментные светодиодные лампы» (ФСЛ).

Модель филаментной лампы представлена на рисунке 1.

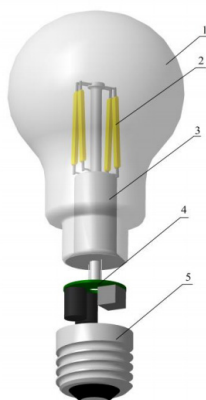


Рис. 1 – Трехмерная модель источника света по технологии Filament LED

Основными компонентами этой лампы являются: 1 – колба; 2 – излучающий элемент; 3 – опорная конструкция; 4 – устройство питания (драйвер); 5 – цоколь. По внешнему виду и характеристикам излучения они настолько близки к классическим электролампам, что их с полным правом можно назвать светодиодными лампами накаливания. [3]

Светодиоды, как и все диоды, имеют нелинейную вольт-амперную характеристику. Это означает, что при изменении напряжения на светодиоде, ток изменяется непропорционально. По мере увеличения напряжения, сначала ток растёт очень медленно, источник освещения при этом не светится. Затем, при достижении порогового напряжения, светодиод начинает светиться, и ток возрастает очень быстро. При дальнейшем увеличении напряжения, ток резко возрастает, и лампа выходит из строя. Требования к питанию светодиодов. Для того чтобы светодиодное освещение вошло в перечень традиционных источников света помимо увеличения световой отдачи и уменьшения стоимости самих светодиодов необходимо решить еще одну проблему. Это проблема специализированного электрического питания светодиодов и светодиодных модулей. Во-первых, блок электропитания должен сохранять работоспособность в течение незначительного временного ресурса порядка 50000 часов и более, обеспечивая при этом требуемые характеристики. Во-вторых, питание должно быть стабилизированным по току, иметь защиту от импульсов перенапряжения и обратной полярности. В-третьих, цена всего вышеуказанного не должна существенно превышать стоимость светодиодного модуля. Светодиоды могут быть соединены по различным схемам. Существует несколько вариантов включения светодиодов. Они делятся на схемы с параллельным, последовательным и смешанным включением. Наиболее эффективным является смешанное последовательнопараллельное включение. В этом случае число последовательных излучателей ограничено напряжением питания, а число параллельных ветвей выбирается в зависимости от требуемой мощности. Чтобы уменьшить размер драйвера, потребовалось сделать питание филаментов в лампе близким к напряжению сети 220 В и использовать в них светодиодные чипы с малым рабочим током. Сами филаменты пересчитали на напряжение от 65В до 90 В, что в итоге их последовательного соединения позволило драйверу работать под напряжением от 130 до 180 В.

Экспериментальная часть. Для сравнения источников питания произведем расчет коэффициента полезного действия. Для источника питания с линейным стабилизатором тока примем минимальное напряжение на нагрузке $U_n = 130$ В. Номинальное напряжение сети $U_{ном} = 220$ В. Рабочая частота раб $f = 50$ кГц, Ток нагрузки $I_n = 20$ мА, Сопротивление и индуктивность схемы соответственно $R = 14$ Ом и $L = 15$ мГн.

КПД определяется по формуле:

$$\eta = \frac{U_n \cdot I_n}{U_n \cdot I_n + I_n \cdot (U_{вх} - U_n)} = \frac{130 \cdot 0,02}{130 \cdot 0,02 + 0,02 \cdot (310,2 - 130)} = 0,41$$

где U_n и I_n соответственно напряжение и ток на нагрузке; $U_{вх}$ - входное напряжение, $U_{вх} = \sqrt{2} \cdot U_{ном} = \sqrt{2} \cdot 220 = 310,2$ В

Для источника питания с импульсным стабилизатором тока.

КПД вычисляется по выражению:

$$\eta = \frac{U_n \cdot I_n}{U_n \cdot I_n + k_{зан} \cdot I_{max} \cdot R_{сх}} = \frac{130 \cdot 0,02}{130 \cdot 0,02 + 0,419 \cdot 0,058 \cdot 14} = 0,89$$

где $k_{зан}$ - коэффициент заполнения, $k_{зан} = \frac{U_n}{U_{вх}} = \frac{130}{310,2} = 0,419$ I_{max} - максимальный ток,

R_n — сопротивление нагрузки, $R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{130}{0,02} = 6500 \text{ Ом}$

Далее расчёт КПД производится при напряжениях на нагрузке равных (150, 225 и 300) В. Напряжение в сети может изменяться в пределах $220 \pm 15\%$

Поэтому необходим расчет КПД при минимальном напряжении питающей сети $U_{min} = U_{ном} - 0,15 \cdot U_{ном} = 220 - 0,15 \cdot 220 = 187$ В. При этом минимальное напряжение на выходе стабилизатора будет равно $U_{min} = 187 \cdot \sqrt{2} - 2 = 262$ В

Результаты расчетов показывают что, коэффициент полезного действия линейного стабилизатора тока, в отличие от импульсного, изменяется весьма значительно, а при определенных значениях напряжения на нагрузке больше, чем у импульсного. Из этого можно сделать вывод о том, что при правильном выборе напряжения, путем изменения числа линеек светодиодов и способа их подключения, КПД линейного и импульсного стабилизаторов тока приблизительно равны, что делает целесообразным применение линейного стабилизатора, так как его основными преимуществами являются: простота реализации, высокая надежность, низкая стоимость, отсутствие высокочастотных пульсаций выходного тока, электромагнитная совместимость [7,8]. По результатам исследования был изготовлен драйвер питания для светодиодной лампы с цоколем E14. Испытания данных источников показали, что их КПД приблизительно равны. Источник питания должен обеспечивать стабильный ток через светодиоды. На рисунке 2 приведена осциллограмма напряжения на светодиодах. На рисунке 3 приведена осциллограмма переменной составляющей тока через светодиодную сборку. Из рисунков 2 и 3 видно, что пульсации составляют менее 2%, а переменная составляющая практически равна 0, что означает, что пульсации тока, а следовательно и светового потока отсутствуют. На рисунке 4 приведена осциллограмма включения источника питания на осветительную нагрузку.



Рис. 2 – Напряжение на светодиодах

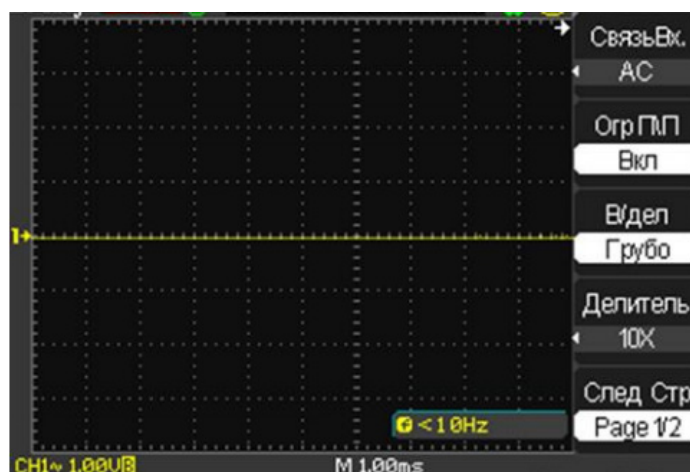


Рис. 3 – Переменная составляющая тока через светодиоды

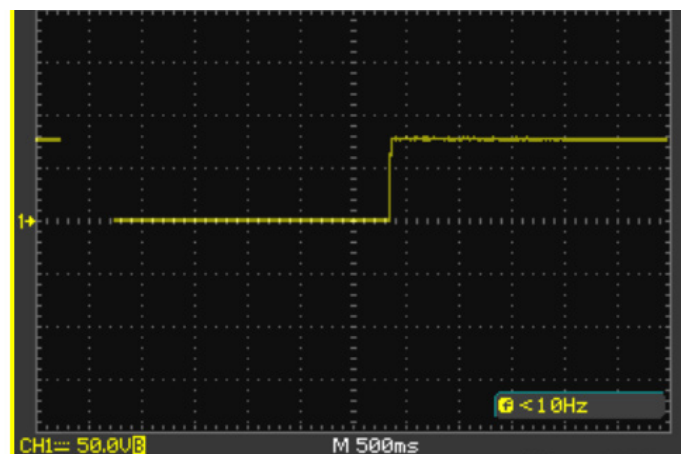


Рис.4 – Включение источника питания на нагрузку

Из осциллограммы видно, что включение происходит без перерегулирования, что увеличивает срок службы светодиодов. Стабильная работа светильника в диапазоне напряжений 110–300 В (в зависимости от типа источника питания и его характеристик) [6,7,8]. При этом существенные отклонения напряжения от номинального приводят к ускоренному износу электронного блока питания, а при некачественном блоке питания – к ускоренной деградации светодиода. Проведённый анализ характеристик электрических источников света и светильников и детальный анализ светодиодных светильников раскрывает очевидные их преимущества и перспективы использования. Однако у них есть и определённые недостатки. Одним из главных недостатков светодиодных светильников является их стоимость. С другой стороны, за счёт экономии электроэнергии и срока службы светодиодов вложенные средства быстро окупаются, это снижает данный недостаток и делает его не таким значительным. На основании проведённого анализа характеристик электрических источников света можно заключить, что светодиодные светильники имеют множество преимуществ по сравнению с другими источниками света. В то же время существующие недостатки и проблемы, как, например, форма потребляемого тока, являются разрешимыми. Учитывая столь низкое электропотребление и возможности регулирования цветовой температуры и потребляемой мощности в широком диапазоне, становится очевидным, что именно светодиодные светильники имеют наибольшие перспективы широкого применения.

Список литературы

1. *Махлин А.* Особенности проектирования блока питания для светодиодных ламп. Полупроводниковая светотехника, 2011. – №1. – С. 30-33.
2. *Семёнов Б.Ю.* Экономическое освещение для всех / Б.Ю. Семёнов. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. – 224 с.
3. *Китаев В.Е.* Расчёт источников электропитания устройств связи / В.Е.Китаев. Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1993. – 232 с.
4. Обзор светодиодной лампы Эдисона. Режим доступа: http://www.superfonarik.ru/article_info.php?articles_id=29.
5. E27 35W 5630 SMD 165. Режим доступа: <http://mysku.ru/blog/chinastores/30817.html>
6. *Рудаковский Д., Цевелюк Е., Тарайкович А., Яцко Т.* Регуляторы тока светодиодов «Микроника» Полупроводниковая светотехника №4, 2012.
7. *Семенов Б.Ю.* Силовая электроника для любителей и профессионалов. М. Солон-Р, 2001 г.
8. Анализ коммутационных потерь в силовых ключах инвертора Мустафин И.Ш., Волков А.В., Попов А.А. Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 5. С. 239-241.

05.13.18

¹А.В. Волков канд. техн. наук, ¹С.Н. Ивлиев канд. техн. наук,
²Е.А. Ефремова, ²А.Л. Судуткина

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
 имени Н. П. Огарева,

Институт электроники и светотехники,

¹кафедра информационной безопасности и сервиса,

²кафедра инфокоммуникационных технологий,

elsoldador@rambler.ru, ivliev_sn@mail.ru, efremln7@mail.ru, nastya.sudutkina@yandex.ru

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Поставлена задача и разработан алгоритм нейросетевой параметрической идентификации нелинейных динамических моделей с проведением вычислительного эксперимента, формированием на его основе обучающих выборок, и последующим обучением динамической и статической нейронных сетей, используемых в задаче идентификации. Предложена нейронная сеть, состоящая из комбинации динамической и статической нейронной сети, в которой синаптические коэффициенты динамической нейронной сети подаются на вход статической нейронной сети. Проведена апробация предложенного алгоритма для идентификации нелинейной модели натриевой лампы высокого давления.

Ключевые слова: идентификация, нелинейная динамическая модель, статическая и динамическая нейронные сети, натриевая лампа высокого давления.

1. Введение

Для идентификации нелинейных систем разработано довольно много подходов и методов [1]. Классические методы, основанные на использовании функциональных рядов [2], являются непараметрическими методами идентификации, поскольку не позволяют напрямую оценивать параметры нелинейной динамической модели.

Современные эвристические методы минимизации невязки расчетных и экспериментальных данных по параметрам модели [3] позволяют достаточно быстро получать результаты приемлемого качества, но не гарантируют нахождение однозначного решения идентификационной задачи.

Использование для этих целей нейронных сетей [4,5,6] показывает, что параметрическая идентификация в принципе возможна, но для нелинейных объектов требуется «индивидуальный» подход в выборе типа, структуры, состава и алгоритма обучения сети.

2. Постановка задачи идентификации

Дана математическая модель динамической нелинейной системы:

$$F(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{y}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\theta}) = 0, \quad (1)$$

где $\mathbf{x}$, $\dot{\mathbf{x}}$ – векторы переменных состояния и их производные, $\mathbf{y}$, $\mathbf{u}$ – векторы выходных и входных переменных; $\boldsymbol{\theta}$ – вектор параметров модели.

Заданы экспериментальные осциллограммы переменных системы (1)

$$\mathbf{x}_s = \mathbf{x}(t); \mathbf{y}_s = \mathbf{y}(t); \mathbf{u}_s = \mathbf{u}(t). \quad (2)$$

Используя модель динамической нелинейной системы (1) и экспериментальные данные (2) найти отображение

$$[\mathbf{x}_s, \mathbf{y}_s, \mathbf{u}_s] \Rightarrow \hat{\boldsymbol{\theta}}, \quad (3)$$

где $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ – оценка параметров модели, минимизирующая неувязку E_m параметров $\boldsymbol{\theta}$ взятых относительно их номинальных значений $\boldsymbol{\theta}_o$ $\theta_o = \theta / \theta_n$

$$E_m = \min |\boldsymbol{\theta}_o - \hat{\boldsymbol{\theta}}_o| \quad (4)$$

3. Алгоритм параметрической идентификации.

Предлагается следующий алгоритм получения отображения (3).

На математической модели (1) варьированием параметров Θ проводится эксперимент (например полнофакторный эксперимент 2^N , где N – размерность вектора Θ), и формируется выборка параметров модели Θ и выборка для построения имитационных моделей с массивом входов P_r и массивом выходов T_r :

$$\begin{aligned} P_r &= [X, Y, U]; \\ T_r &= Y; \\ X &= X(t); Y = Y(t); U = U(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где X, Y, U – массивы расчётных данных, включающие все переменные модели, полученные в каждом из N опытов плана эксперимента.

На выборке P_r, T_r осуществляется построение имитационной модели и формируется матрица ее параметров W_r . В качестве имитационной модели, в принципе, можно использовать любую динамическую модель, в том числе и динамическую нейронную сеть с синаптическими коэффициентами W_r . Формируется новая обучающая выборка для обучения статической нейронной сети:

$$\begin{aligned} P_c &= W_r; \\ T_c &= \Theta, \end{aligned} \quad (6)$$

Проводится обучение статической сети, и с помощью обученной сети вычисляется оценка вектора параметров $\hat{\Theta}$ исходной модели (1) в каждом из N экспериментов. На полученную имитационную модель (обученную динамическую нейронную сеть) подаются экспериментальные осциллограммы (2) и вычисляются вектор параметров имитационной модели (синаптические коэффициенты динамической сети) w_r . Полученные коэффициенты подаются на вход статической нейронной сети и вычисляется оценка вектора параметров модели реального объекта $\hat{\Theta}$.

4. Параметрическая идентификация нелинейной модели объекта

Параметрическая идентификация осуществлялась в соответствии с предложенным алгоритмом:

1. Был проведен эксперимент, в ходе которого случайным образом в ограниченном диапазоне изменялись параметры модели. В каждом опыте проводилось численное решение, и по рассчитанным напряжению U_l и току I_l лампы формировалась обучающая выборка (5):

$$\begin{aligned} P_r &= [U_l, I_l]; \\ T_r &= I_l, \end{aligned} \quad (7)$$

где U_l, I_l – массивы осциллограмм токов и напряжений, полученных в в каждом из опытов.

2. Обучающая выборка (7) использовалась для обучения двухслойной динамической нейронной сети прямой передачи с линейными функциями активации в каждом слое. Обучение сети проводилось по методу Левенберга-Маркварта с регуляризацией по Байесу. Ошибка обучения в каждом опыте практически равнялась нулю.

3. Из полученных синаптических коэффициентов динамической нейронной сети формируется новая обучающая выборка для обучения статической нейронной сети. Для обучения статической нейронной сети, в качестве которых была выбрана трехслойная сеть прямой передачи с линейными функциями активации в каждом слое. Обучение сети также проводилось по методу Левенберга-Маркварта с регуляризацией по Байесу. Относительные ошибки обучения в каждом опыте показаны на рисунке 1.

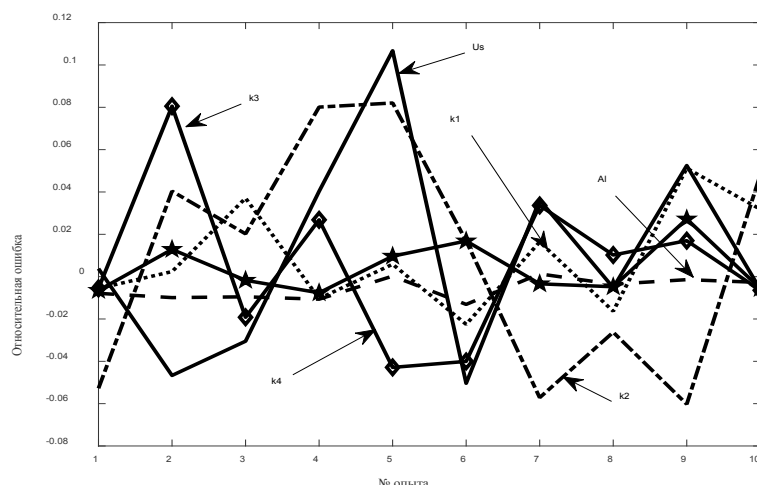


Рис. 1 – Ошибки вычисления параметров аналитической модели (7), полученные после обучения.

На вход динамической нейронной сети подвались экспериментальные значения тока и напряжения лампы и вычислялся вектор её параметров. Вычисленный вектор параметров динамической нейронной сети подавался на вход обученной статической нейронной сети и вычислялась оценка вектора параметров модели реального объекта $\hat{\theta}$.

Можно отметить хорошее совпадение расчётных данных модели (7) [6] с данными, полученными в результате идентификации, причём среднеквадратичное отклонение от экспериментальных значений тока и напряжения меньше при идентификации.

Выводы

1. Поставлена задача параметрической идентификации нелинейных моделей, заключающаяся в получении отображения экспериментальных данных модели в её параметры с помощью нейронных сетей.

2. Разработан алгоритм параметрической идентификации, заключающийся в проведении вычислительного эксперимента на заданной нелинейной модели, формирования по результатам эксперимента обучающих выборок, последующего обучения динамической и статической нейронных сетей, и вычисления с помощью обученных сетей оценок параметров нелинейной модели по экспериментальным данным.

Список литературы

1. Цибизова Т.Ю. Методы идентификации нелинейных систем управления // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2 (ч. 14). – С. 3070–3074.
2. Пупков К.А. Функциональные ряды в теории нелинейных систем / К.А. Пупков, В.И. Капалин, А.С. Ющенко. – М.: Наука, 1976. – 448 с.
3. Ходашинский И.А. Идентификация нечетких систем: методы и алгоритмы / И.А. Ходашинский // Проблемы управления. – 2009. – №9. – С. 15–23.
4. Шумихин А.Г. Применение нейросетевых динамических моделей в задаче параметрической идентификации технологического объекта в составе системы управления / А.Г. Шумихин, А.С. Бояршинова // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – Пермь. – № 3. – 2015. – С. 21–38.
5. Харченко В.Ф., Ягун В.Г., Якунин А.А. Разработка компьютерной модели для разрядной лампы высокого давления // Світлотехніка та електроенергетика. – 2013. – №2. – С. 52-57.
6. Semenov 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>.

05.13.18

**О.В. Козлова канд. физ.-мат. наук, И.В. Зайченко канд. техн. наук,
С.А. Гордин канд. техн. наук, К.П. Гаер**

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет компьютерных технологий,
кафедра «Прикладная математика»,
Комсомольск-на-Амуре, pmi@knastu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗА

Рассмотрены подходы к повышению точности прогнозирования потребления природного газа за счет применения метода многофакторного корреляционного анализа.

Ключевые слова: корреляционный анализ, многофакторный анализ, газотранспортная система, планирование потребления газа, баланс газа.

Введение. Многофакторный корреляционный анализ – это один из мощнейших современных методов для исследования взаимосвязей между случайными величинами, активно используемый в практике решения различных инженерных и технических задач [1, 2].

В настоящее время в России приоритетное место отводится энергетической отрасли. Стратегии развития топливно-энергетического комплекса как на средне-, так и долгосрочные периоды являются совокупностью различных программ, содержащих прогнозные показатели. Эти показатели зачастую получены экспертным путем. В этих условиях выполнение достоверного аналитического исследования затруднено. Требуется не только создание обоих методологических подходов, но и внедрение современного математического аппарата. Это обеспечит проведение прогнозных расчетов и разработку соответствующей математической модели, характеризующей макроэкономические, отраслевые и технологические показатели.

Сегодня природный газ является одним из наиболее востребованных [3, 4] углеводородных энергоносителей. Однако функционирование систем добычи и транспортировки требует внедрения современных систем автоматического управления, контроля надежности технологических процессов [5].

Прогнозирование объемов потребления природного газа. Обеспечение стабильной работы газотранспортной системы (далее – ГТС) обеспечивается путем достижения баланса между поставкой и потреблением газа ($V_{отгр} = V_{потр}$). Отклонения от указанного баланса приводят к изменению давления ($P_{раб}$) в ГТС, что является штатной ситуацией пока рабочее давление находится в допустимом диапазоне. $P_{мин} < P_{раб} < P_{макс}$.

В связи с тем, что минимальное давление будет в точке максимального отбора, то есть на противоположном месту добычи конце ГТС, а газ движется по магистральному газопроводу с определенной скоростью оперативно поднять давление до рабочего уровня невозможно. Снижение давления в ГТС ниже минимального значения, в результате повышенного отбора газа, может привести к аварийным ситуациям, в том числе и полном прекращении подачи газа в населенный пункт, поэтому прогнозирование потребления газа является критически важной задачей для региональных газоснабжающих и газораспределительных компаний.

Традиционная схема прогнозирования объемов потребления сводится к расчету среднесуточного объема каждого потребителя исходя из договорных объемов.

$$V_{сут} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{i дог}}{K_{дней}} \quad (1)$$

где: $V_{i дог}$ – договорной месячный объем i -ого потребителя;
 $K_{дней}$ – количество дней в анализируемом месяце.

Ошибка прогнозирования, которая неизбежно возникает при данном методе нивелируется за счет аккумулирующей способности ГТС, обеспечивающей высвобождение газа при снижении давления от $P_{\max}$ до $P_{\min}$.

Для повышения точности прогнозирования потребления предлагается применение математической модели многофакторного корреляционного анализа:

$$V_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + \dots + a_n * x_n \quad (2)$$

где: $a_0 \dots a_n$ – факторы, влияющие на расход;

$x_1 \dots x_n$ – коэффициенты зависимости от фактора;

n – количество потребителей.

Применение данного метода позволяет на основе имеющихся исторических данных по потребителю выявить зависимость его потребления газа от определенных факторов и построить функцию потребления или отклонения от среднесуточных объемов, которая будет характерна для всех потребителей отдельной категории.

Возможные факторы, влияющие на объем потребления газа V :

- уличная температура (X_1);

- день недели в значении от 1 до 7 (X_2);

- месяц (X_3).

При необходимости количество анализируемых факторов может быть увеличено и определено объемом и полнотой анализируемой базы данных.

Ожидаемое потребление будет соответствовать уравнению вида:

$$V = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 \quad (3)$$

Газоснабжающая организация, при оперативном планировании поставки газа указанному предприятию исходит из среднесуточного ожидаемого объема потребления, определенного по формуле 1.

Указанный метод применен для определения расчетного потребления действующего теплоснабжающего предприятия города Хабаровска. Рассчитав коэффициенты b_n методом наименьших квадратов получили следующую функцию зависимости потребления газа выбранного потребителя:

$$V = 8,1971 - 0,5925 * X_1 + 0,01243 * X_2 + 0 * X_3 \quad (4)$$

Анализ значений коэффициентов указывает высокую зависимость потребления газа от температуры окружающей среды, низкую зависимость от дня недели и отсутствие зависимости от месяца.

Применение модели расчета объема позволило существенно сократить ошибку прогнозирования (рисунок 1). Если при применении стандартного метода отклонение прогнозного потребления от фактического находилось в диапазоне от 80% до 115%, то расчет потребления по (4) позволил существенно повысить точность прогнозирования потребления, до диапазона от 95% до 107%.

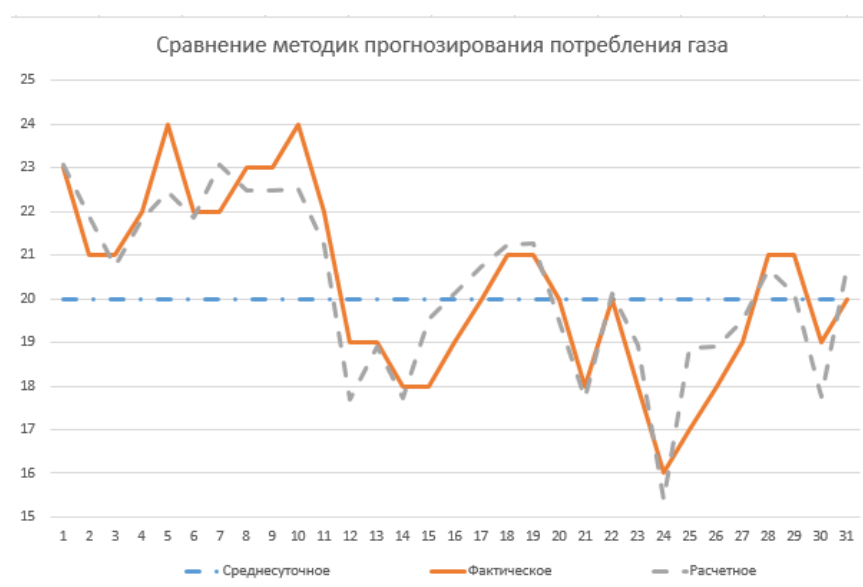


Рис. 1 – Сравнение методик прогнозирования потребления газа

Заключение. Использование многофакторной корреляционной модели в работе газоснабжающих и газораспределительных организаций для прогнозирования объема потребления позволяет существенно повысить точность прогнозирования потребления газа и обеспечить безопасную работу газотранспортной системы региона.

Описанный в статье метод обладает следующими качествами:

1. Может применяться как для оперативного управления газотранспортной системой региона, так и для долгосрочного прогноза потребления газа.

2. Незначительно доработав метод и рассчитав функцию (3) для категории потребителей, обладающих сходными признаками (теплоснабжающие предприятия, сельскохозяйственные предприятия, энергетика, нефтехимия, население и т.д.) можно прогнозировать потребление газа потребителей, по которым отсутствует история.

3. Модель хорошо поддается алгоритмизации и программной реализации в информационных системах предприятия. Ввод в функцию (3) дополнительных факторов позволяет повышать точность прогноза потребления существующих потребителей.

Список литературы

1. Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel : учебное пособие. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. – 102 с.
2. Корреляционный анализ связи между температурой наружного воздуха и потребляемой мощностью тягодутьевыми механизмами отопительных котельных / Гордин С.А., Зайченко И.В., Бажеряну В.В., Соколова В.С., Махмуродзод З.Р. // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 3. С. 110-112.
3. Джил С., Дефerrари Дж. Обобщенная модель предсказания потребления газа // <http://masters.donntu.org/2007/kita/filatova/library/t3.htm#begin>
4. Соколова В.С. Экологический аспект кондиционирования промышленных объектов / Соколова В.С., Зайченко И.В. // Дальневосточная весна - 2018. Материалы 16-й Международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности. 2018. С. 134-136.
5. Нейдорф Р.А., Соловей Н.С. Теория автоматического управления в технологических системах, Учебное пособие. – Ухта: Институт управления, информации и бизнеса, 2005. – 212 с.

05.13.18

С.Ю. Лунева, А.А. Лунева

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
институт «Информационные технологии и прикладная математика»,
кафедра «Математическая кибернетика»,
Москва, LunevaSY@mai.ru

СИНТЕЗ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В ЗАДАЧЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИ НАЛИЧИИ НЕПОЛНЫХ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ ОБЪЕКТА

В работе предложен метод решения задачи стабилизации подводного аппарата на основе синтеза нечеткого регулятора путем генерации лингвистических правил вывода в условиях неполной информации о характерных параметрах движения.

Ключевые слова: *синтез нечеткого регулятора, нечеткая логика, лингвистические переменные, функция принадлежности, правило вывода, алгоритм генерации правил, конфликт правил.*

Для управления линейными и нелинейными объектами с неопределенными параметрами или с неполной информацией о состоянии возможно применение классической теории управления [1], однако ее использование сталкивается со значительными вычислительными проблемами. В связи с этим становится актуальной разработка методов синтеза нечетких регуляторов, позволяющих учесть неопределенности информации о состоянии динамической системы. Нечеткие регуляторы разрабатываются на основе аппарата нечетких множеств и нечеткой логики. Для функционирования нечеткого регулятора в замкнутой системе, как правило, требуется выполнить операции фаззификации, синтеза нечетких правил вывода, дефаззификации [2]. Нечеткая логика позволяет аккумулировать знания экспертов при решении разнообразных задач управления и в результате сформировать множество нечетких правил вывода. Однако при разработке нечетких систем может отсутствовать возможность приглашения специалиста для их составления, поэтому возникает проблема формирования правил на основе результатов моделирования управляемой системы [3].

В статье рассматривается решение задачи стабилизации подводного аппарата с помощью нечеткого регулятора при наличии неполных данных о состоянии объекта управления. Предложена методика формирования правил на основе специальной обработки результатов моделирования.

В качестве объекта управления рассмотрим подводный аппарат, движущийся в вертикальной плоскости с постоянной продольной скоростью хода. Математическая модель объекта управления описывается системой дифференциальных уравнений [4]

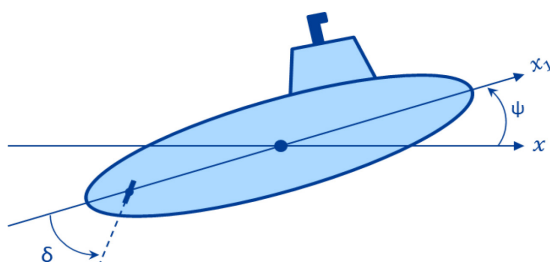


Рис. 1 – Объект управления

$$\begin{cases} \dot{\omega} = -0,1253 \cdot \omega - 0,004637 \cdot \psi - 0,002195 \cdot \delta, \\ \dot{\psi} = \omega, \\ \dot{\delta} = u \end{cases}$$

при заданных начальных условиях: $\omega(0) = 0$, $\psi(0) = 4$, $\delta(0) = 0$.

Здесь: ψ – угол дифферента, δ – угол отклонения кормовых горизонтальных рулей от нейтрального положения, ω – угловая скорость, u – управление. В поставленной задаче положение подводного аппарата характеризуется вектором состояния из трех координат $x = (\omega, \psi, \delta)^T$. Управление производится по одному каналу.

Требуется найти управление $u(t, x)$ и соответствующую ему траекторию движения $x(t)$, обеспечивающие приведение объекта в горизонтальное положение для любых начальных состояний из некоторого множества,

включающего окрестность заданного начального условия.

Одним из возможных решений задачи при наличии полной информации о векторе состояния является минимизация квадратичного критерия с помощью оптимального линейного регулятора вида $u(t, x) = 26,1 \cdot \omega(t) + 2,75 \cdot \psi(t) - 0,399\delta(t)$. Процедура нахождения коэффициентов регулятора сводится к получению положительно определенного решения алгебраического уравнения Риккати [4].

Рассмотрим решение задачи с помощью нечеткого регулятора при наличии данных о состоянии объекта только по двум координатам вектора состояния – углу дифферента ψ и угловой скорости ω .

I. Задание нечетких переменных и их нечетких значений

Для каждой переменной определим область, в которой будут находиться ее значения в процессе функционирования системы управления. Каждую область для входных переменных ψ, δ, ω разделим на N в общем случае пересекающихся промежутков, а для выходной переменной u на M промежутков. Каждой входной переменной поставим в соответствие лингвистические переменные $\tilde{\psi}, \tilde{\delta}, \tilde{\omega}$, а выходной переменной – лингвистическую переменную $\tilde{u}$. Определим их лингвистические значения $\tilde{A}_i = \{\tilde{A}_i^j, j=1, \dots, N_i\}$, $\tilde{B} = \{\tilde{B}^j, j=1, \dots, M\}$, $N_1 = 5$, $N_2 = 6$, $N_3 = 6$, $M = 6$.

Далее зададим треугольные и трапециевидные функции принадлежности, определяющие нечеткие множества, график функции принадлежности для u представлен на рис. 2.

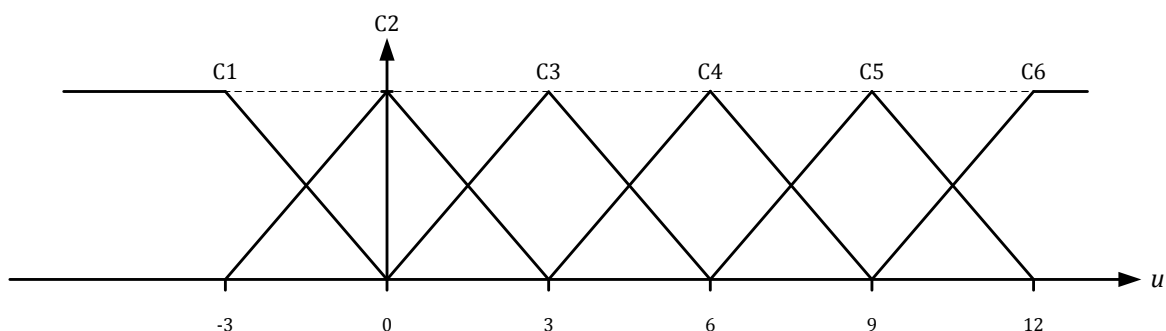


Рис.2 – График функций принадлежности для u ($M=6$)

II. Генерация лингвистических правил из имеющихся пар данных только по двум переменным ψ и ω

1. Составление пар данных.

1.1. Для генерации пар используем значения известных переменных вектора состояния, соответствующие вершинам функций принадлежности, и составим из них все возможные комбинации. Количество комбинаций вычисляется по формуле $N_1 \cdot N_2 = 30$.

1.2. Вычислим значения управления u , соответствующие каждой комбинации. В качестве возможных значений δ рассмотрим значения вершин соответствующих функций принадлежности. Таким образом, получим N_3 значений управления для каждой комбинации ψ и ω , и, соответственно, $N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 = 180$ пар данных, где первый элемент пары – вектор $(\psi, \omega)^T$, а второй элемент пары – значение управления u .

2. Вычисление значений функций принадлежности на каждой итерации итерационно для каждой пары данных.

2.1. Вычислим значения каждой функции принадлежности для текущих значений координат ψ и ω вектора состояния и управления из пары данных.

2.2. Вычислим максимальное значение среди значений функций принадлежности управления для текущей пары данных. Запишем лингвистическое значение функции принадлежности с максимальным значением в отдельное множество для генерации правил.

3. Разрешение конфликтов правил.

3.1. Для каждой полученной комбинации ψ и ω имеем соответствующие комбинации лингвистических значений, каждой из которых соответствует N_3 лингвистических значения управления.

3.2. Каждой из N_3 конфликтующей паре данных присвоим весовой коэффициент, отражающий уверенность в правильности генерируемого правила. Таким образом, получим нечеткий набор, где каждая пара данных принадлежит этому набору с назначенным весовым коэффициентом. В случае конфликта выбираем правило, имеющее большее значение степени важности, остальные удаляем. Таким образом, из 180 пар данных остаются 30 пар, формирующих лингвистические правила.

4. Заполнение таблицы правил по принципу «если $\tilde{\psi} = \tilde{A}_1^j$ и $\tilde{\omega} = \tilde{A}_3^j$, то $\tilde{u} = \tilde{B}^i$ ». Общее число правил $R = N_1 \cdot N_2 = 30$. Полученная таблица правил представлена на таблице 1.

Таблица 1 – Таблица правил

		ω					
		O1	O2	O3	O4	O5	O6
ψ	P1	C1	C1	C2	C2	C2	C2
	P2	C1	C1	C3	C3	C3	C3
	P3	C1	C2	C2	C3	C1	C1
	P4	C1	C1	C3	C1	C2	C3
	P5	C1	C2	C1	C1	C4	C6

III. Масштабирование функций принадлежности

После составления таблицы правил функции принадлежности масштабируются под конкретные значения, принимаемые входными и выходными переменными в процессе функционирования системы, новый график функции принадлежности для u представлен на рис. 3.

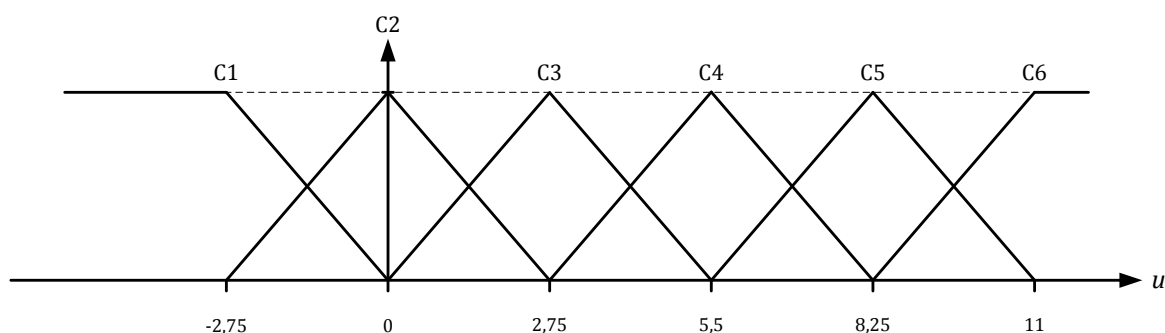


Рис.3 – Масштабированный график функций принадлежности для u ($M=6$)

Поставленная задача была решена численно с помощью оптимального линейного регулятора и с помощью синтезированного нечеткого регулятора. Работа нечеткой системы вывода была реализована с помощью FuzzyLogicToolbox в системе компьютерной математики MATLAB, для нахождения пересечения множеств применялось правило «минимума», для объединения – правило «максимума», импликации – правило «минимума», при дефаззификации применялся метод центра тяжести.

Результаты моделирования для задачи с линейной моделью объекта при наличии данных по двум координатам ψ и ω представлены на рис. 4.

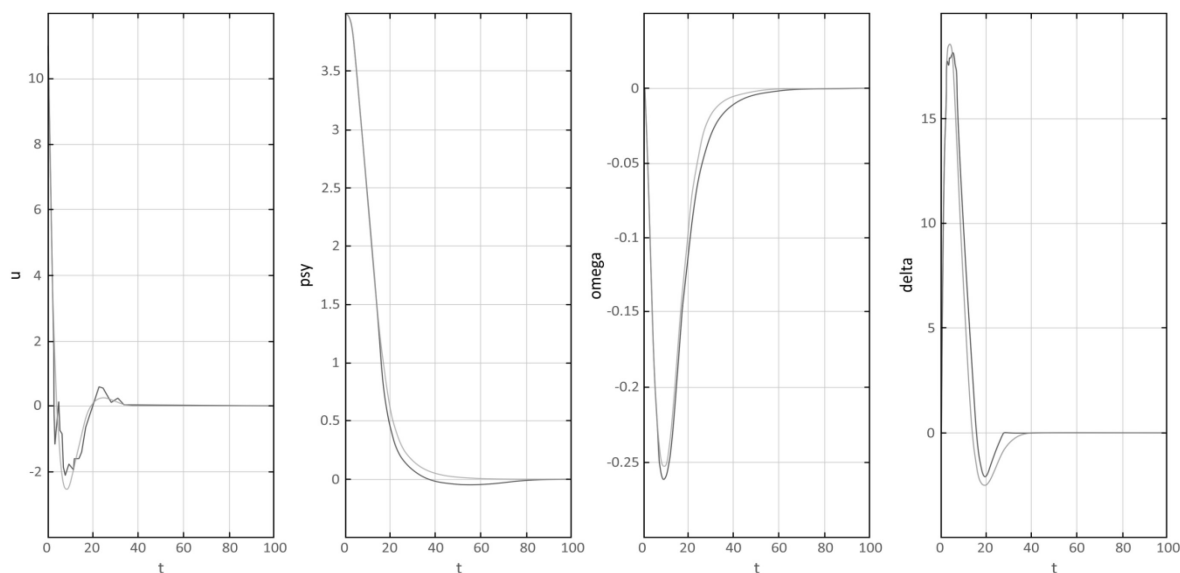


Рис.4 – Результаты моделирования

Отметим, что оба используемых метода выполняют поставленную задачу о приведении объекта управления в горизонтальное положение. Однако траектории, полученные в результате применения нечеткого регулятора, имеют недостаточную гладкость, что является недостатком решения с использованием предложенного метода генерации лингвистических правил.

Список литературы

1. Пантелеев А.В., Бортакровский А.С. Теория управления в примерах и задачах. - М.: Высшая школа, 2003. - 584 с.
2. Бадалова А.Г., Пантелеев А.В. Управление рисками деятельности предприятия. - М.: Вузовская книга, 2-е изд., 2016.- 234 с.
3. Li-Xin Wang, Jerry M. Mendel «Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples» - IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, Vol. 22, NO. 6, November/December 1992.
4. Веремей Е.И. Линейные системы с обратной связью: учебное пособие.- Спб.:Лань, 2013.

05.13.18

**И.Р. Мавлеев канд. техн. наук, И.И. Салахов канд. техн. наук,
В.В. Румянцев канд. техн. наук, В.Б. Хлюпин канд. техн. наук,
Р.Р. Басыров канд. техн. наук, С.В. Дмитриев д-р техн. наук**

НЧИ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,
кафедра «Автомобили, автомобильные двигатели и дизайн»,
Набережные Челны, mirkampi@mail.ru

МЕТОД ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

В статье изложены результаты расчетов тягово-скоростных и динамических характеристик транспортных средств с энергосиловым агрегатом на компримированном природном газе. Определены топливно-экономических показателей транспортного средства с энергосиловым агрегатом на компримированном природном газе.

Ключевые слова: *топливная экономичность, тягово-динамический расчёт, силовая установка, расход топлива, тяговый баланс.*

В настоящей работе рассматривается метод расчета тягово-динамических характеристик транспортных средств с энергетической установкой, работающей на сжатом природном газе. Применяемый метод расчета основан на теоретических исследованиях транспортных средств с трансмиссией на основе гидромеханического вариатора, описанных в работах [1, 2, 3] и учитывает особенности проектирования таких трансмиссий.

Исследования тягово-скоростных и топливно-экономических показателей как правило производятся при движении автопоезда с полной загрузкой по дороге с заданным коэффициентом сопротивления движению, но возможно проведение расчётных исследований транспортных средств и с частичной загрузкой, а исследование динамики разгона автопоезда производится с полной загрузкой на горизонтальном участке дороги.

В качестве прототипа для расчета основных параметров энергосилового агрегата с гидромеханическим вариатором, схема которого изображена на рисунке 1.

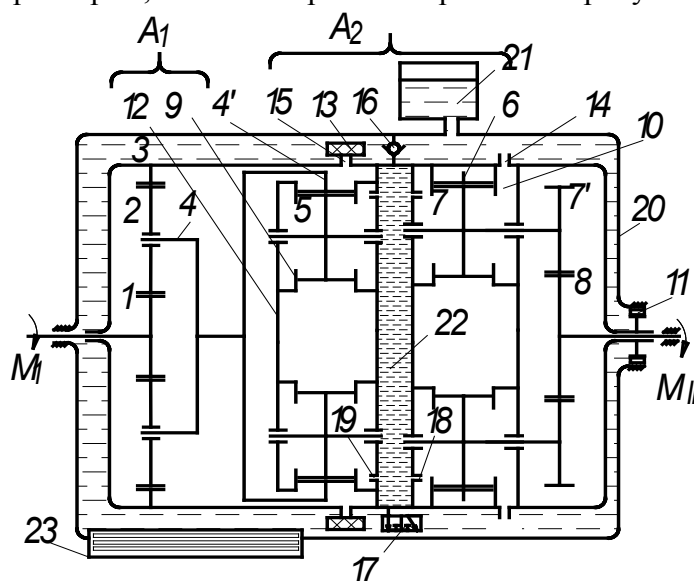


Рис. 1 – Кинематическая схема трансмиссии:

A_1 – дифференциальный механизм; A_2 – гидромеханический дифференциальный преобразователь;

- 1 – входное звено; 2 – сателлиты; 3 – коронное колесо; 4 – водило дифференциального механизма А1; 4' – ведущее коронное колесо гидронасоса; 5 – сателлиты гидронасоса;
 6 – коронное колесо гидромотора; 7-7' – двухвенцовый сателлит;
 8 – центральная солнечная вал-шестерня; 9 – гидронасос; 10 – гидромотор;
 11 – муфта свободного хода; 12 – водило вариатора; 13 – фильтр; 14 и 19 – соответственно выпускные окна гидромотора и гидронасоса; 15 и 18 – соответственно впускные окна гидромотора и гидронасоса; 16 – автоматический перепускной клапан;
 17 – управляемый клапан; 20 – картер вариатора; 21 – расширительный бачок;
 22 – кольцевой канал; 23 – теплообменник

Предварительный расчет показал, что для уменьшения размеров корпуса вариатора целесообразно применить дополнительно к вариатору двухступенчатый демультипликатор, который к также обеспечивает ускоряющую передачу и движение задним ходом. Расчет передаточных чисел демультипликатора проводится в следующей последовательности:

1. Определяем необходимое максимальное передаточное число трансмиссии для преодоления максимального дорожного сопротивления:

$$U_{mp\max} = \frac{\psi_{\max} G_a r_k}{M_{e\max} \eta_{mp}}, \quad (1)$$

где $\psi_{\max}$ – максимальный коэффициент дорожного сопротивления; G_a – полный вес автопоезда, Н; r_k – кинематический радиус колеса, м; $M_{e\max}$ – максимальный крутящий момент двигателя, Н·м; η_{mp} – КПД трансмиссии.

2. Определяем минимальное передаточное число трансмиссии для обеспечения движения автопоезда с максимальной скоростью:

$$U_{mp\min} = 0,105 \frac{n_V r_k}{V_{\max}}, \quad (2)$$

где n_V – частота вращения коленчатого вала двигателя при движении с максимальной скоростью, об/мин; $V_{\max}$ – максимальная скорость движения автопоезда, м/с.

3. Задаем передаточное число ускоряющей передачи демультипликатора $U_{\partial\partial}$ и по значению $U_{mp\min}$ определяем передаточное число главной передачи:

$$U_0 = \frac{U_{mp\min}}{U_{\partial\partial}}. \quad (3)$$

4. Задаем максимальный коэффициент трансформации вариатора $K_{\max}$ исходя из максимально допустимых габаритных размеров корпуса КП и определяем передаточное число низшей ступени демультипликатора:

$$U_{\partial n} = \frac{U_{mp\max}}{U_0 K_{\max}}. \quad (4)$$

Определив основные параметры трансмиссии с передаточными числами демультипликатора, были проведены расчёты основных тягово-скоростных показателей автомобиля. Результаты расчётов сведены в таблицу 1, определенные в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя n_e при изменении передаточного отношения вариатора в диапазоне $0,101 \leq i_{var} \leq 1$ при включенной понижающей и повышающей передачи демультипликатора. На рис. 2 изображен график тяговых усилий для двух диапазонов.

Таблица 1 – Значения тяговых усилий

i_{var}			n_e , об/мин							
			600	1000	1400	1800	2200	2400	2600	3000
			M_e , Н·м							
			1113,9	1528,9	1706,3	1752	1650,6	1500,0	1470,3	1285
Пониженный диапазон	0,101	Р _т , Н	144803	151206	155261	156861	156114	152806	147151	138934
		V, м/с	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6
	0,281	Р _т , Н	63136	65927	67695	68393	68067	66625	64159	60577
		V, м/с	1,4	1,8	2,1	2,5	2,9	3,2	3,6	3,9
	0,461	Р _т , Н	44946	46934	48192	48689	48457	47431	45675	43125
		V, м/с	2,2	2,7	3,3	3,8	4,3	4,9	5,4	6,0
	0,551	Р _т , Н	40193	41970	43096	43540	43333	42414	40845	38564
		V, м/с	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,7	6,3	6,9
	0,640	Р _т , Н	36745	38369	39398	39805	39615	38776	37341	35256
		V, м/с	2,8	3,5	4,2	5,0	5,7	6,4	7,1	7,8
	0,730	Р _т , Н	34003	35506	36459	36834	36659	35882	34554	32625
		V, м/с	3,1	3,9	4,7	5,5	6,3	7,1	7,9	8,6
	0,820	Р _т , Н	31774	33179	34068	34420	34256	33530	32289	30486
		V, м/с	3,4	4,3	5,2	6,0	6,9	7,8	8,6	9,5
	0,910	Р _т , Н	29835	31155	31990	32320	32166	31484	30319	28626
		V, м/с	3,7	4,7	5,6	6,6	7,5	8,4	9,4	10,3
	1,000	Р _т , Н	28184	29430	30219	30531	30385	29742	28641	27042
		V, м/с	4,0	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1	11,1
	0,101	Р _т , Н	62550	65316	67067	67759	67436	66007	63564	60015
		V, м/с	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6
	0,281	Р _т , Н	27272	28478	29242	29543	29403	28780	27715	26167
		V, м/с	3,3	4,1	5,0	5,8	6,6	7,5	8,3	9,1
Повышенный диапазон	0,461	Р _т , Н	19415	20274	20817	21032	20932	20488	19730	18628
		V, м/с	5,0	6,3	7,5	8,8	10,1	11,3	12,6	13,8
	0,551	Р _т , Н	17362	18130	18616	18808	18718	18322	17643	16658
		V, м/с	5,8	7,3	8,7	10,2	11,6	13,1	14,5	16,0
	0,640	Р _т , Н	15872	16574	17019	17194	17112	16750	16130	15229
		V, м/с	6,6	8,2	9,8	11,5	13,1	14,8	16,4	18,0
	0,730	Р _т , Н	14688	15338	15749	15911	15835	15500	14926	14093
		V, м/с	7,3	9,1	10,9	12,7	14,6	16,4	18,2	20,0
	0,820	Р _т , Н	13725	14332	14716	14868	14797	14484	13948	13169
		V, м/с	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	21,9
	0,910	Р _т , Н	12888	13458	13819	13961	13895	13600	13097	12365
		V, м/с	8,7	10,8	13,0	15,2	17,4	19,5	21,7	23,9
	1,000	Р _т , Н	12174	12713	13054	13188	13125	12847	12372	11681
		V, м/с	9,4	11,7	14,0	16,4	18,7	21,0	23,4	25,7

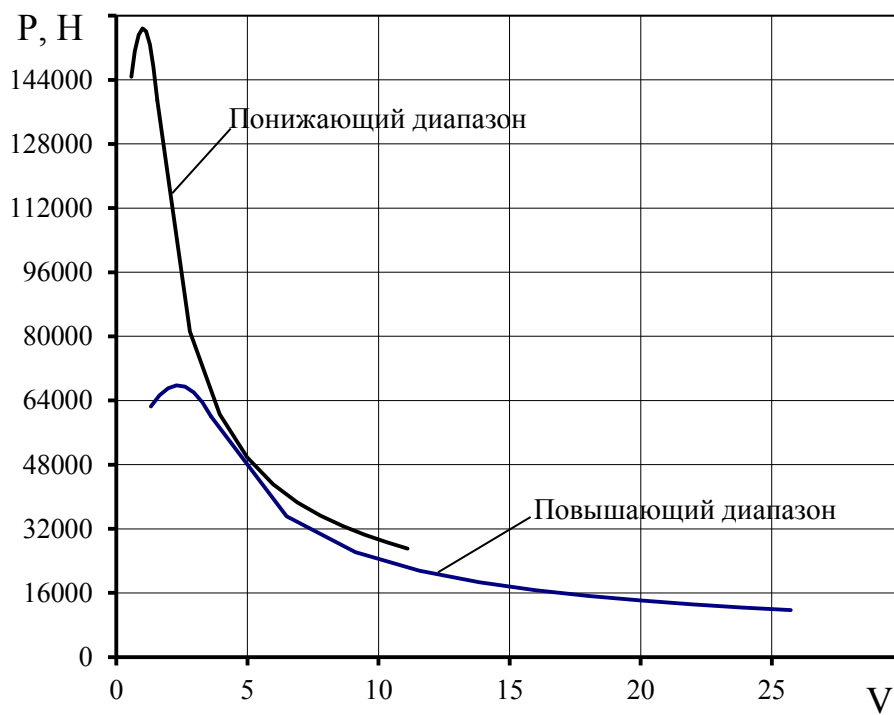


Рис. 2 – График тяговых усилий

Описанная методика определения тягово-скоростных характеристик может быть использована для проведения расчётов как серийных магистральных тягачей, так и перспективных моделей.

Список литературы

1. Мавлеев И.Р. Потери в дифференциальном гидромеханическом трансформаторе вращающего момента / И.Р. Мавлеев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2017. Т. 73. № 3. С. 33-36.
2. Модульная трансмиссия тяжелых грузовых автомобилей / И.Р. Мавлеев, И.И. Салахов, В.В. Волошко // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. № 2 (121). С. 162-168.
3. The consideration of road longitudinal slopes in automobile fuel consumption rationing / Borisov G.V., Kuzmin N.A., Molev J.I., Mavleev I.R., Salakhov I.I. // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 108, Development, Research, Certification. Сер. "108th International Scientific and Technical Conference of the Association of Automotive Engineers "Intelligent Car Systems: Development, Research, Certification"" 2019. С. 012032.
4. Молев Ю.И. Оценка динамических свойств автомобиля на основе частотных характеристики Ю.И. Молев, М.Г. Черевастов // В сборнике: Организация и безопасность дорожного движения. материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием. Тюмень, 2020. С. 189-194.
5. Design of a stepless torque converter for heavy trucks / Mavleev I.R., Salakhov I.I., Idarkhanov R.I. // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 2019. С. 012013.
6. Валеев Д.Х. Комплекс программ-методик испытаний колесных мотор-редукторов / Д.Х. Валеев, М.Ф. Салимуллин, И.Р. Мавлеев // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2015. № 12 (225). С. 32-38.

05.13.18

¹Д.И. Нуретдинов канд. техн. наук, ¹Р.М. Галиев канд. техн. наук,
¹А.Ю. Барыкин канд. техн. наук, ²Р.К. Галиев канд. техн. наук,
¹Р.Ф. Илдарханов канд. техн. наук, ¹И.Ф. Шайхутдинов канд. техн. наук

¹НЧИ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение, кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
²Завод запасных частей и компонентов ПАО «КАМАЗ»,
Набережные Челны, nuretdamir@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА АВТОПОЕЗДА ДЛЯ МЕЖДУГОРОДНИХ ПЕРЕВОЗОК

Данная статья посвящена исследованию технических параметров тягача и полуприцепа и разработке математической модели формирования автопоезда. Приведены параметры седельных тягачей и полуприцепов, используемые при исследовании эффективности перевозки. Описан порядок выбора полуприцепа для конкретной модели седельного тягача. При этом большое внимание уделено определению грузоподъемности автопоезда.

Ключевые слова: автопоезд, седельный тягач, полуприцеп, осевая нагрузка, грузоподъемность.

В России междугородними перевозками на дальние расстояния занимаются множество крупных автотранспортных компаний и индивидуальных предпринимателей. Так как в основном производится перевозка тарных грузов, в перевозках используются автопоезда, состоящие из седельного тягача и тентованного (шторного) полуприцепа.

Повышение производительности перевозки требует максимальной загрузки автопоездов. Поэтому при их выборе оценочным критерием можно выбрать грузоподъемность. Выпускаемые автомобильной промышленностью полуприцепы рассчитаны на грузоподъемность от 20 до 40 т, однако в большинстве случаев невозможно полностью использовать их номинальную грузоподъемность.

Причинами, ограничивающими использование грузоподъемности можно считать:

- ограничение полной массы автопоезда;
- ограничение габаритной длины;
- ограничение осевых нагрузок седельного тягача и полуприцепа;
- несоответствие технических параметров тягача и полуприцепа в составе автопоезда.

Для более полного использования технических возможностей тягача и полуприцепа предлагается использовать алгоритм формирования автопоезда. При прохождении каждого пункта данного алгоритма может возникать необходимость корректирования ранее полученного значения возможной грузоподъемности автопоезда.

При предварительном выборе полуприцепа необходимо учитывать габаритную длину автопоезда, также соответствие высоты седельно-сцепного устройства тягача и полуприцепа.

Рассмотрим расчет показателей по данному алгоритму для седельного тягача КАМАЗ-5490 и полуприцепа СЗАП-9328. Технические данные седельного тягача и полуприцепа приведены в таблицах 1, 2, габаритные размеры седельного тягача – на рисунке 1.

Таблица 1 – Технические данные седельного тягача КАМАЗ-5490 [1]

Параметры	Значение
1. Колесная формула	4×2
2. Нагрузка на задний мост при полной массе, т	11,5
3. Снаряженная масса тягача $m_{\text{тяг}}$, т	7,9
4. Масса, приходящаяся на задний мост при снаряженном состоянии m_2 , т	2,6
5. Допустимая нагрузка на ССУ $P_{\text{с}}^{\text{доп}}$, т	10,55
6. Максимальная полная масса транспортируемого полуприцепа $m_{\text{п/п}}^{\text{max}}$, т	36,1

Таблица 2 – Технические данные полуприцепа СЗАП-9328 [2]

Параметры	Значение
1. Число осей	3
2. Номинальная грузоподъемность $q_{\text{ном}}$, т	26
3. Номинальная полная масса, т	34
4. Снаряженная масса полуприцепа $m_{\text{пол}}$, т	8,0
5. Объем кузова, м ³	84

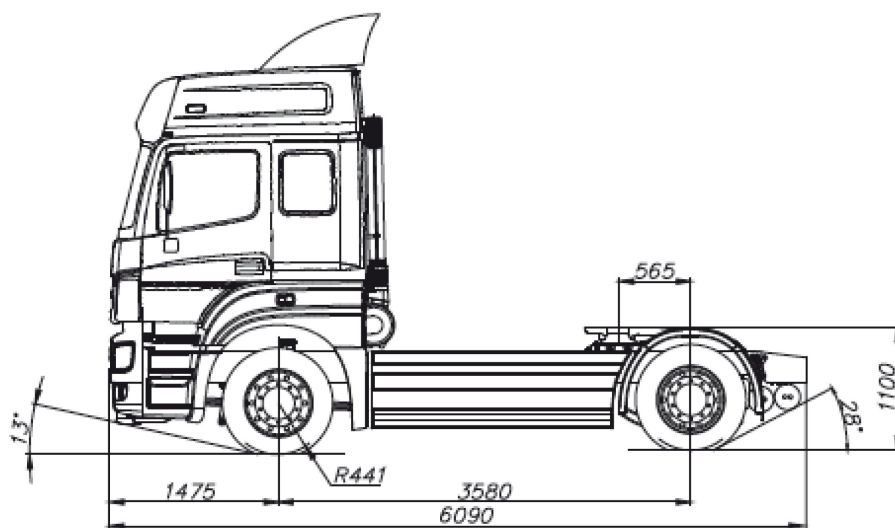


Рис. 1 – Габаритные размеры седельного тягача КАМАЗ-5490

Метод расчета возможной грузоподъемности автопоезда подробно рассмотрен в литературе [3]. Оценка грузоподъемности автопоезда производится по следующему алгоритму для дорог с допустимой осевой нагрузкой 10 т.

1. Возможная нагрузка на седельно-сцепное устройство (ССУ) тягача определяется по формуле

$$P_c^{\text{воз}} = \frac{(P_2^{\text{нор}} - m_2) \times L}{l_c}, \quad (1)$$

где $P_2^{\text{нор}}$ – нормативная допустимая нагрузка на заднюю ось седельного тягача, в данном случае принята 10 т; m_2 – масса, приходящаяся на задний мост седельного тягача при снаряженном состоянии; L – база седельного тягача; для трехосных тягачей база седельного тягача L принимается от передней оси до центра тележки; l_c – вертикальная проекция расстояния от передней оси седельного тягача до центра ССУ, определяется как

$$l_c = L - a = 3,580 - 0,565 = 3,015 \text{ м}. \quad (2)$$

Таким образом

$$P_c^{\text{воз}} = \frac{(10 - 2,6) \times 3,580}{3,015} = 8,79 \text{ т}.$$

Должно выполняться условие $P_c^{\text{воз}} \leq P_c^{\text{доп}}$. В данном случае $P_c^{\text{воз}} < P_c^{\text{доп}}$, поэтому принимается $P_c^{\text{воз}} = 8,79$ т.

Если рассчитанное значение больше чем допустимая нагрузка на ССУ, то в дальнейших расчетах принимается допустимая нагрузка регламентированная заводом-изготовителем седельного тягача, т.е. $P_c^{\text{воз}} = \min [8,79; 10,55]$.

2. Возможная грузоподъемность полуприцепа определяется по формуле

$$q_{\text{воз}} = P_3 + P_c^{\text{воз}} - m_{\text{пол}} = 22,5 + 8,79 - 8 = 23,3 \text{ т}. \quad (3)$$

Возможная грузоподъемность не может превышать номинальную грузоподъемность полуприцепа, должно выполняться условие $q_{\text{воз}} \leq q_{\text{ном}}$.

В данном случае $P_c^{\text{воз}} < P_c^{\text{доп}}$, принимается $q_{\text{воз}} = 23,3$ т.

Если рассчитанное значение больше номинальной грузоподъемности, то принимается минимальное значение среди них, т.е. $q_{\text{воз}} = \min [23,3; 26]$.

3. Возможная полная масса полуприцепа определяется по формуле

$$m_{\text{п/п}}^{\text{воз}} = q_{\text{воз}} + m_{\text{пол}} = 23,3 + 8 = 31,3 \text{ т.} \quad (4)$$

Должно выполняться условие $m_{\text{п/п}}^{\text{воз}} \leq m_{\text{п/п}}^{\text{max}}$.

В данном случае условие выполняется, $m_{\text{п/п}}^{\text{воз}} < m_{\text{п/п}}^{\text{max}}$.

При невыполнении данного условия необходимо скорректировать возможную грузоподъемность автопоезда.

4. Возможная полная масса автопоезда определяется по формуле

$$m_{\text{авт}}^{\text{воз}} = q_{\text{воз}} + m_{\text{пол}} + m_{\text{тяг}} = 23,3 + 8 + 7,9 = 39,2 \text{ т,} \quad (5)$$

где $m_{\text{пол}}$ – снаряженная масса полуприцепа, т; $m_{\text{тяг}}$ – снаряженная масса седельного тягача, т,

Должно выполняться условие $m_{\text{авт}}^{\text{воз}} \leq m_{\text{авт}}^{\text{доп}}$.

Для пятиосного автопоезда допустимая полная масса составляет $m_{\text{авт}}^{\text{доп}} = 40$ т. При массе груза 23,3 т данное условие выполняется, т.е. $m_{\text{авт}}^{\text{воз}} < m_{\text{авт}}^{\text{доп}}$.

При невыполнении данного условия необходимо скорректировать возможную грузоподъемность.

В итоге возможная грузоподъемность автопоезда принимается равным 23,3 т.

Аналогичные расчеты были произведены для тягача КАМАЗ-5490 и четырехосного тентованного полуприцепа ТОНАР-97463. Результаты расчетов по автопоездам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов грузоподъемности автопоезда

Параметры	Автопоезд КАМАЗ-5490 с полуприцепом СЗАП-9328	Автопоезд КАМАЗ-5490 с полуприцепом ТОНАР-97463
1. Номинальная грузоподъемность, т	26	37,4
2. Снаряженная масса полуприцепа, т	8	9,0
2. Возможная нагрузка на ССУ тягача, т	8,79	8,79
3. Возможная грузоподъемность автопоезда, т	23,3	25,79
4. Возможная полная масса полуприцепа, т	31,3	34,79
5. Полная масса автопоезда, т	39,2	42,69

Как видно из результатов расчета, использование четырехосного полуприцепа ТОНАР в данном случае более эффективно.

В данной статье при выборе были использованы только технические параметры. Используя результаты этих расчетов, можно оценить себестоимость перевозки и экономическую эффективность эксплуатации автопоезда.

Применив данный алгоритм также можно провести выбор специализированных автопоездов: фургонов, полуприцепов-самосвалов, для длинномерных грузов.

Список литературы

- КАМАЗ-5490-68 (Т5). – URL: <https://kamaz.ru/production/serial/sedelnye-tyagachi/kamaz-5490> (дата обращения 05.05.2021 г.).
- Полуприцеп СЗАП-9328. – URL: <https://szap.biz/СЗАП-9328> (дата обращения 05.05.2021 г.).
- Набиев И.С., Нуретдинов Д.И. Рациональное использование грузоподъемности автомобиля с учетом несущей способности дорог/ Сборник докладов итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава НЧИ КФУ, 2014. – С. 187-192.

05.13.18

¹Е.А. Петровичева канд. техн. наук, ²Э.М. Хасаншина канд. техн. наук,
³Н.П. Назарова канд. биол. наук

¹Альметьевский государственный нефтяной институт,
нефтегазовый факультет, кафедра физики и химии,
Альметьевск, alena-p67@mail.ru,

²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Бугульминский филиал,
кафедра химической технологии органических материалов,
Бугульма, hasan170171@naul.ru,

³Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, Альметьевский филиал,
кафедра Конструирования и машиностроительных технологий,
Альметьевск, wnl_08@mail.ru

МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ В МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРУБЧАТЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ АППАРАТАХ

В статье приводится обзор информации о состоянии исследований турбулентных течений в малогабаритных трубчатых аппаратах (МТТА)

Ключевые слова: *численные методы, гидродинамические процессы.*

Введение

Многие задачи гидродинамики нельзя решить аналитическим методом и возможность их решения это численные методы. К настоящему времени разработано большое число численных методов решения задач для уравнений в частных производных, каковыми являются уравнения гидродинамики. С помощью, созданных к настоящему времени вычислительных методов и средств можно с достаточно высокой степенью достоверности определить все основные свойства таких аппаратов.

Методы численного решения задач математической физики

Все имеющиеся методы можно классифицировать следующим образом:

1. Сеточные методы.
2. Методы контрольного объема.
3. Методы типа Галёркина.
4. Методы конечных элементов (МКЭ).
5. Методы граничных элементов (МГЭ).

Наибольшее распространение для решения задач гидродинамики получили сеточные методы, которые могут быть (вместе с граничными условиями) реализованы в форме различных разностных схем [1]. Это объясняется их достаточной простотой. Абсолютное большинство этих разностных схем основано на использовании идеи установления. Последняя заключается в том, что стационарное решение получают как предел, к которому стремится решение нестационарных уравнений гидродинамики при неограниченном возрастании времени. Это приводит к тому, что время, необходимое для получения решения задачи, иногда становится чрезмерно большим.

Методы типа Галёркина [2] (или им подобные, например, метод коллокаций, метод наименьших квадратов) основаны на идее представления решения в виде комбинаций (чаще всего линейной) базисных функций. Это ограничивает их применение для областей, в которых возможны большие градиенты искомых функций и значительная их неоднородность (неравномерность). Кроме того, вычислительные алгоритмы оказываются достаточно сложными.

Методы конечных элементов, которые получили широкое распространение при решении задач, связанных с теорией упругости, задачами теории оболочек и задачами, связанными с расчетом прочности конструкции, также сложны в реализации и требуют работы с матрицами большой размерности. Здесь следует отметить связь основных идей МКЭ с идеями метода контрольного объема, развитыми в работах Сполдинга и Патанкара и реализованными в вычислительной процедуре SIMPLE [3-4].

Привлекательны методы граничных элементов [5-6]. Неудобство их использования состоит в отсутствии надежности способов нахождения функций влияния (аналогов функции Грина) для достаточно сложных расчетных областей.

В работе [7] показано, что можно указать способ нахождения матричного оператора D , представляющего собой численный аналог функции Грина, так что решение краевой задачи может быть представлено в виде

$$X_{\Omega} = D \cdot X_{\partial\Omega},$$

где X_{Ω} – вектор решения в области $\Omega \subset R^n$, $X_{\partial\Omega}$ – вектор граничных значений X .

Однако для решения задач в каналах со сложной геометрической формой этот способ также оказывается алгоритмически сложным.

Тем не менее, некоторые идеи этой работы могут быть использованы для разработки алгоритмов, позволяющих получить существенное сокращение объемов вычислений.

Идея эта была высказана в работе [8] еще в семидесятые годы. Позднее аналогичные подходы были использованы в работе Р. Orlandi [9]. Плодотворность этой идеи заключена в том, что при численном решении этих уравнений может быть использован высокоэффективный метод прогонки. Это последнее и приводит к значительному сокращению объемов, следовательно, и времени вычислений.

Другим путем, позволяющим сократить объемы вычислений при обеспечении высокой их точности, является применение адаптивных сеток. Идея использования их состоит в сгущении сетки в областях с повышенными градиентами параметров и разрежении сетки в областях, где параметры изменяются незначительно. Наиболее полно проблемы использования адаптивных сеток для задач гидродинамики и газовой динамики отражены в работе А.Н. Гильманова [10]. Следует заметить, что применение неравномерных сеток, к которым относятся и адаптивные сетки, оправдано лишь в тех случаях, когда нужно обеспечить высокую точность решения в хорошо отлаженных математических моделях высокого уровня.

При исследовании гидродинамических процессов в МТГА авторы использовали коммерческий пакет PHOENICS. На рис. 1 – 4 представлены некоторые результаты этих исследований. Отметим, что авторы использовали форму образующей канала в виде ломаной вида, показанного на рис. 1. Другие формы не рассматривались.

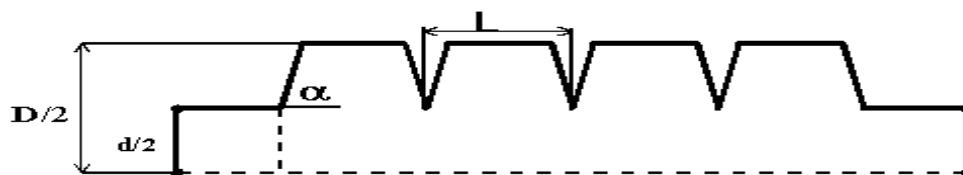


Рис.1 – Форма образующей канала

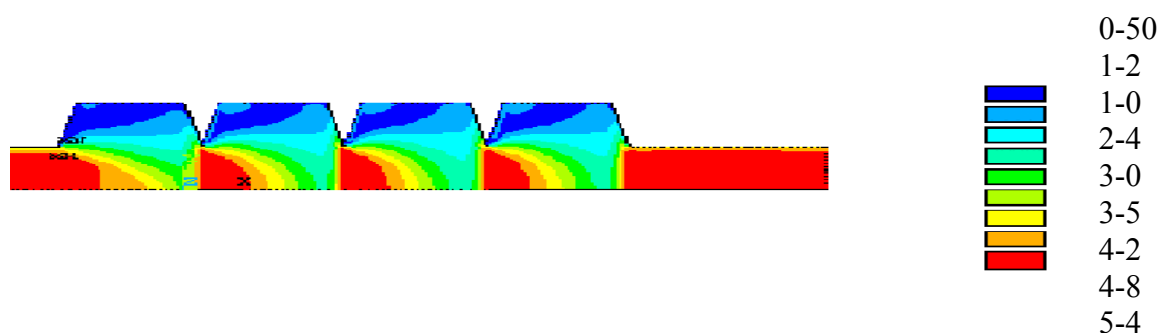


Рис. 2 – Распределение абсолютного значения скорости по объему турбулентного трубчатого аппарата диффузор – конфузорного типа

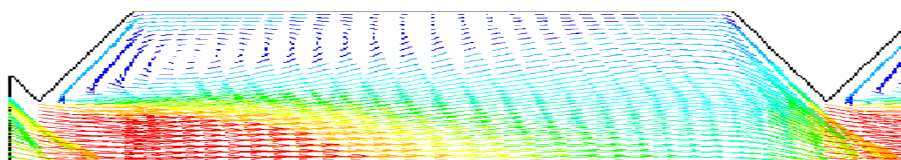


Рис. 3 – Векторное поле скоростей (м/с) в трубчатом турбулентном аппарате диффузор - конфузорного типа

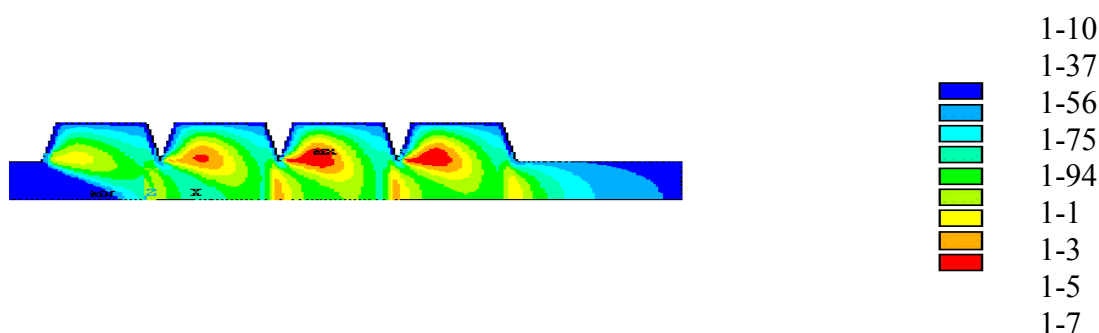


Рис.4 – Распределение удельной кинетической энергии турбулентности по объему турбулентного трубчатого аппарата диффузор-конфузорного типа

В результате проведенных исследований были получены оптимальные соотношения между основными геометрическими размерами: $D = 1,6d$, $L = 1,7D$.

Отмечается, что эти значения мало изменяются при углах наклона образующей в области горловин аппарата в пределах $30^\circ < \alpha < 85^\circ$.

В работах Ю. М. Данилова и И. М. Ильиной [11,12,13] диапазон исследованных форм образующей в окрестности горловины был расширен. Было установлено, что наибольшей эффективностью обладают МТТА с турбулизаторами в виде плоских круглых диафрагм.

Подводя итог обзору информации о состоянии исследований турбулентных течений в малогабаритных трубчатых аппаратах (МТТА), можно сделать следующие выводы:

1. Турбулизация потока в малогабаритных трубчатых аппаратах является эффективным средством интенсификации процессов, происходящих в нем.
2. Современные средства экспериментального исследования гидродинамических, теплофизических и массообменных процессов в малогабаритных аппаратах не могут решить все проблемы исследования этих процессов.
3. С помощью созданных к настоящему времени вычислительных методов и средств можно с достаточно высокой степенью достоверности определить все основные свойства таких аппаратов.
4. Задача разработки новых вычислительных алгоритмов, позволяющих сократить объемы вычислений, не утратила своей актуальности.

5. Малогабаритные трубчатые турбулентные аппараты, используемые в химической технологии, исследованы пока ещё недостаточно в смысле выяснения влияния схемы организации гидродинамики смешения, формы турбулизаторов, физических свойств компонентов и режимов течения на их характеристики.

Список литературы

1. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука. ГРФМЛ, 1983, - 616с.
2. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галёркина. М.: «Мир», 1988, - 352с.
3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1984, - 152с.
4. Патанкар С., Сполдинг Д. Тепло и массообмен в пограничных слоях М.: Энергия. 1971, - 127с.
5. Бреббия К.И. и др. Методы граничных элементов М.: Мир, 1987, - 520с.
6. Григорьев М.М., Фафурин А.В. Метод граничных элементов для течений жидкости при высоких числах Рейнольдса. ИВУЗ «Авиац. техника», №4, 1996, - 33с.
7. Данилов Ю.М. Инвариантные операторы для численного решения краевых задач гидродинамики. Казань: КГТУ, 1999, - 140 с.
8. Данилов Ю.М. Численное решение стационарных уравнений гидродинамики в дозвуковой области течения. // ИВУЗ. Авиац. техника. №3, 1980, 42с.
9. Orlandi P. Vorticity – velocity formulation for High re Flows // Computers & Fluids. vol.15. №2, 1987, - 137 p.
10. Гильманов А.Н. Методы адаптивных сеток в задачах газовой динамики. РАН. Каз. науч. центр, М.: Физматлит. 2000, - 247 с.
11. Данилов Ю.М., Ильина И.М., Ситдикова И.П. Численное решение трехмерных задач гидродинамики. Материалы научно-технической конференции «АлНИ- 2002». - Альметьевск, 2003, - 147с.
12. Данилов Ю.М., Ильина И.М., Ситдикова И.П., Бергман А.Н. Решение трехмерных задач о течении вязких несжимаемых жидкостей в каналах прямоугольной формы. «Естественные и технические науки», Ж. №3, 2003г.
13. Данилов Ю.М., Дьяконов Г.С., Мухаметзянова А.Г., Бергман А.Н., Ильина И.М. Оптимизация проточной части трубчатых турбулентных реакторов. Вестник КГТУ., г. Казань, 2003г.

05.13.18

С.В. Прытков, М.О. Лапшов

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»,
Институт электроники и светотехники,
кафедра светотехники,
Саранск, sergeyvladi88@gmail.com

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА РАСЧЁТА
КОРРЕЛИРОВАННОЙ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРА ЭТАЛОННОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА
ПРИ ОЦЕНКЕ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ**

В работе предлагается алгоритм для исследования погрешности методов расчёта КЦТ, основанный на способе построения линий постоянной КЦТ заданной длины. Соответствующие данным линиям температуры принимаются за истинные, а лежащие на них цветности используются в качестве входных данных для исследуемого метода. В работе предлагается подход, когда сначала определяется распределение погрешности во всей области определения КЦТ с последующей билинейной интерполяцией для нужных цветностей.

Ключевые слова: *спектр излучения, коррелированная цветовая температура, цветопередача, МКО ТМ-30, координаты цветности, погрешность метода.*

В таких метриках цветопередачи как CRI (Ra) и ТМ-30-15 одним из этапов расчёта является определение коррелированной цветовой температуры (КЦТ) испытуемого источника света, определяющей в итоге спектр эталонного источника. К настоящему времени разработано множество методов расчёта коррелированной цветовой температуры (КЦТ). При этом информация об их точности носит разрозненный фрагментарный характер, поэтому весьма затруднительна разработка рекомендаций по применению методов расчета КЦТ для тех или иных излучателей. В данной работе предлагается универсальный подход для оценки погрешности методов расчёта, когда сначала определяется распределение погрешности во всей области определения КЦТ с последующей билинейной интерполяцией для нужных цветностей.

При оценке погрешности методов за истинные значения температуры следует использовать температуры, советуемые изотермам, а лежащие на них цветности — в качестве входных данных для исследуемого метода. Однако при таком подходе возникает вопрос какую область должны перекрывать линии постоянной КЦТ. С одной стороны, есть примечание к определению КЦТ устанавливающее, что данное понятие не может применяться, если расстояние между цветностью испытуемого источника и линией чёрного тела больше $D_{uv} = 0,5$ на равноконтрастной диаграмме МКО 1960. С другой стороны, цветности многих источников света как искусственных, так и естественных, сосредоточены в гораздо более узкой области. Это становится очевидно, если нанести четырёхугольники допустимых отклонений из стандартов ANSI C78.377 [5] и ГОСТ Р 54350-2015 [2] на диаграмму с изотемпературными линиями. Поэтому мы предлагаем оценивать погрешность методов расчёта КЦТ в два этапа: получить распределение погрешности методов расчёта КЦТ во всей ее области определения, а погрешность для конкретных цветностей определять последующей билинейной интерполяцией на найденном распределении.

Итак, линию ЧТ можно рассматривать как параметрически заданную кривую, поскольку её координаты $u(T)$, $v(T)$ определяются температурой. Тогда угловые коэффициенты нормалей можно найти по формуле:

$$-\frac{du}{dT} \cdot \frac{dT}{dv} = -du / dv \quad (1)$$

На основе предложенного способа построения изотемпературных линий [1] был разработан следующий алгоритм оценки погрешности методов расчёта:

1. В области определения КЦТ задается сетка, узлы которой (T_k, Duv_l) удовлетворяют условию

$$T_k = k\Delta T, Duv_l = l\Delta Duv, \quad (2)$$

где T_k — цветовая температура чёрного тела, Duv — расстояние между линией чёрного тела и исследуемой цветностью, ΔT и ΔDuv — шаги приращения, $k = 0 \dots N_T$, $l = 0 \dots N_{Duv}$.

2. По формулам в узлах (T_k, Duv_l) находятся координаты цветности линий постоянной КЦТ

$$u(T_k, Duv_l), v(T_k, Duv_l) \quad (3)$$

3. В узлах (T_k, Duv_l) вычисляется КЦТ исследуемым методом

$$T_{method}(T_k, Duv_l) = f_{method}(u(T_k, Duv_l), v(T_k, Duv_l)) \quad (4)$$

Для методов, у которых в качестве переменных используются координаты цветности (x, y) , последние необходимо отобразить в координаты цветности (u, v) .

4. В узлах (T_k, Duv_l) находится абсолютная или относительная погрешности

$$E(T_k, Duv_l) = T_{method}(T_k, Duv_l) - T_k, \quad (5)$$

$$E(T_k, Duv_l) = (T_{method}(T_k, Duv_l) - T_k) / T_k \cdot 100 \quad (6)$$

5. Для определения погрешности КЦТ в точках, не входящих в набор (T_k, Duv_l) , осуществляется билинейная интерполяция.

Разработанный алгоритм был использован для исследования погрешности методов Робертсона [2], Мак Ками [3], Хавьера Эрнандеса, Йоши Оно (метода треугольника, метода параболы и комбинированного метода). приведено распределение абсолютной погрешности в диапазоне 2000 К – 7000 К. В таблице приведены значения абсолютной погрешности методов в данных вершинах, включая центральные точки

Таблица 1 — Абсолютная погрешность методов в диапазоне 2000-7000 К, вычисленная для вершин и центральной точки четырёхугольников допустимых отклонений ANSI 78.377

T, K	Duv	P	Э	М	ЙО11	ЙО2	ЙО3
2725	0	0,09	85,65	2,07	0	2,2	0
2580	0,006	0,16	122,06	2,03	0,21	0,09	0,09
2870	0,006	0,02	76,73	2,5	0,03	0,02	0,02
2870	-0,006	0,11	47,75	1,43	0,07	0,03	0,03
2579	-0,006	0,02	104,67	12,37	0,19	0,07	0,07
3045	0	0,15	41,47	5,7	0,01	1,32	0,01
2870	0,006	0,02	76,73	2,5	0,03	0,02	0,02
3220	0,006	0,33	43,16	4,8	0,76	0,17	0,17
3220	-0,006	0,01	4,97	11,92	0,73	0,19	0,19
2870	-0,006	0,11	47,75	1,43	0,07	0,03	0,03
3465	0	0,26	8,79	9,83	0,01	1,71	0,01
3220	0,006	0,33	43,16	4,8	0,76	0,17	0,17
3711	0,006	0,5	19,62	3,6	0,44	0	0

3711	-0,006	0,21	25,15	16,96	0,43	0,01	0,01
3220	-0,006	0,01	4,97	11,92	0,73	0,19	0,19
3985	0,001	0,15	4,58	7,65	0,01	0,26	0,01
3710	0,007	0,51	22,98	2,62	0,58	0,02	0,02
4259	0,007	1,06	13,53	0,84	1,09	0,12	0,12
4261	-0,005	0,64	31,07	13,45	0,65	0,07	0,07
3710	-0,005	0,23	21,02	15,73	0,41	0,01	0,01
4503	0,001	0,53	8,56	4,34	0,09	0,98	0,09
4259	0,007	1,06	13,53	0,84	1,09	0,12	0,12
4746	0,007	1,54	11,51	2,86	1,63	0,3	0,3
4745	-0,005	1,18	30,19	9,32	1,24	0,31	0,31
4261	-0,005	0,64	31,07	13,45	0,65	0,07	0,07
5028	0,002	0,67	3,74	0,66	0,27	0,4	0,4
4746	0,008	1,57	14,68	3,78	1,91	0,29	0,29
5310	0,008	2,12	14,17	3,55	0,86	0,02	0,02
5312	-0,004	1,91	20,45	3,67	0,35	0,03	0,03
4745	-0,004	1,21	26,33	8,18	1	0,31	0,31
5667	0,002	1,48	0,27	0,65	0,33	0,4	0,4
5310	0,008	2,12	14,17	3,55	0,86	0,02	0,02
6019	0,008	2,36	13,08	0,82	1,79	0,25	0,25
6022	-0,004	2,33	11,03	0,95	1,1	0,33	0,33
5312	-0,004	1,91	20,45	3,67	0,35	0,03	0,03
6534	0,003	2,26	5,11	1,11	0,71	0,1	0,1
6022	0,009	2,37	14,94	0,8	2,26	0,31	0,31
7044	0,009	2,24	9,31	1,87	2,65	0,32	0,32
7045	-0,003	2,39	1,88	8	0,79	0,29	0,29
6020	-0,003	2,33	8,82	0,93	0,79	0,34	0,34

В таблице Р соответствует методу Робертсона, М — методу Мак Ками, Э — методу Хавьера Эрнандеса, ЙО1 — методу треугольника Йоши Оно, ЙО2 — методу параболы Йоши Оно, ЙО3 — комбинированному методу Йоши Оно.

Анализ данных таблицы позволяет сделать следующие выводы по погрешности методов расчёта КЦТ в области, занимаемой четырёхугольниками допустимых отклонений ANSI 78.377:

1. Метод Мак Ками в интервале 2000-7000 К имеет максимальную погрешность 16,96 К. Большие погрешности наблюдаются при отрицательных значениях D_{uv} .

2. Метод Хавьера Эрнандеса в интервале 2000-7000 К имеет максимальную погрешность 122,06 К..

3. Метод Робертсона в интервале 2000-7000 К имеет максимальную погрешность 2,39 К. Рост погрешности наблюдается с ростом КЦТ.

4. Среди методов Йоши Оно, комбинированный является наиболее точным: в интервале 2000-7000 К он имеет максимальную абсолютную погрешность 0,34 К. Тогда как метод треугольника имеет максимальную погрешность 2,65 К, а параболы – 2,2 К

Резюмируя вышеизложенное, следует сказать о том, что численные методы Робертсона и Йоши Оно точнее и более универсальны по сравнению с рассмотренными аналитическими решениями. Несмотря на то, что метод Робертсона был предложен в 1968 г., он незначительно уступает решениям Йоши Оно, предложенным в 2014 г.

Список литературы

1. *Прытков С.В.* О расчёте линий постоянной коррелированной цветовой температуры / С.В. Прытков // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики/ под ред. О.Е. Железниковой (отв. ред.), А.А. Ашрятова (зам. отв. ред.), А.М. Кокинова [и др.]. – Саранск: Афанасьев В. С., 2015. – С. 191-196.
2. *Robertson A.R.* Computation of Correlated Color Temperature and Distribution Temperature / A.R. Robertson // J. Opt. Soc. Am. – 1968. – Vol. 58. – № 11. – P. 1528-1535.
3. *McCamy C.S.* Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates / C.S. McCamy // Color Research & Application. – 1992. – Vol. 17. – № 2. – P. 142-144.
4. *Hernández-Andrés J.* Calculating correlated color temperatures across the entire gamut of daylight and skylight chromaticities. / J. Hernández-Andrés, R.L. Lee, J. Romero // Applied optics. – 1999. – Vol. 38. – № 27. – P. 5703-5709.

05.13.18

С.В. Прытков, Н.М. Посулихин

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»,
Институт электроники и светотехники,
кафедра светотехники,
Саранск, sergeyvladi88@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЁТА КОРРЕЛИРОВАННОЙ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ НЕБА

В работе предлагается алгоритм для исследования погрешности методов расчёта коррелированной цветовой температуры (КЦТ), основанный на способе построения линий постоянной КЦТ заданной длины. Для выяснения применимости методов для расчёта КЦТ неба был выполнен расчёт распределения относительной погрешности до 100000 К. Эти данные необходимы для уточнения модели неба, чтобы минимизировать погрешность при моделировании естественного освещения.

Ключевые слова: *коррелированная цветовая температура, линия чёрного тела, линия постоянной коррелированной цветовой температуры, погрешность метода расчёта, координаты цветности, метод Мак Ками, метод Хавьера Эрнандеса, метод Робертсона, метод Йоши Оно.*

В 1963 г вышла в свет статья Келли под названием «Lines of Constant Correlated Color Temperature Based on MacAdam's (u, v) Uniform Chromaticity Transformation of the CIE Diagram» [1], в которой были приведены графики линий постоянной КЦТ и описан способ их получения. Графики оказались удобными для нахождения КЦТ и впоследствии на их основе Алан Робертсон в 1968 году разработал численный метод расчёта КЦТ [2], ставший широко распространённым и не потерявший актуальности и в наше время, что подтверждает рекомендация МКО [3]. Кроме того, как будет показано далее, данные графики можно использовать для оценки погрешности методов расчёта КЦТ.

После работы Робертсона было предложено множество алгоритмов и уравнений для определения КЦТ. В [4], посвящённой расчёту КЦТ неба, приводится краткий обзор и исследуется погрешность существующих на момент публикации (1999 г.) методов: Яноса Шанда (1978 г.) [5], Мак Ками (1992 г.) [6], М. Кристека (1985) [7], Хавьера Эрнандеса (1999) [4]. Авторы производили оценку погрешности методов на распределении цветности неба. Экспериментальные данные аккумулировались на протяжении трёх лет при различных погодных условиях, времени суток, высоте над уровнем моря. География эксперимента включала семь локаций, расположенных на территории США и Испании. Способ определения погрешности был следующим. Для каждой цветности из полученного распределения вычислялась КЦТ исследуемым методом и методом двоичного поиска. За истинную принималась КЦТ, полученная последним способом. Суть метода двоичного поиска заключается в исключении температур, для которых расстояние на равноконтрастном графике МКО 1960 г. между соответствующей цветностью чёрного тела (ЧТ) и заданной цветностью больше минимального для данной итерации. После каждой итерации диапазон температур, в котором осуществляется поиск, сокращается в два раза. В результате происходит последовательное приближение к температуре чёрного тела, цветность которого наиболее близка к заданной. Подробности данного алгоритма можно найти в [4]. За время, прошедшее с публикации [6], было предложено несколько новых методов, в том числе методы Йоши Оно (2014) [8]. В связи с чем, нам представляется крайне интересным сравнительный анализ погрешности новых способов расчёта КЦТ с более ранними решениями. В данной работе мы исследуем распределение погрешности методов Робертсона, Мак Ками, Хавьера Эрнандеса, Йоши Оно.

Существуют два способа построения линий постоянной КЦТ: способ, предложенный Келли в [1], через нахождение угловых коэффициентов

$-du/dv$ нормалей к линии ЧТ и способ, предложенный нами [9], через нахождение производных du/dT , dv/dT функций координат цветности от температуры ЧТ. Детальнее способ построения линий постоянной цветовой температуры изложен в [9].

На основе метода построения через нахождение производных du/dT , dv/dT функций координат цветности от температуры ЧТ был разработан алгоритм оценки погрешности методов расчёта КЦТ:

Расчет точек, лежащих на линии постоянной КЦТ, с помощью производных du/dT , dv/dT осуществляется следующим образом:

Линию черного тела можно рассматривать как параметрически заданную кривую, поскольку ее координаты $u(T)$, $v(T)$ определяются температурой. Тогда для нахождения координат цветности u , v изотерм можно воспользоваться известными формулами дифференциальной геометрии:

$$u_l = \pm u_0 + \frac{lv'}{\sqrt{u'^2 + v'^2}}; v_l = \mp v_0 + \frac{lu'}{\sqrt{u'^2 + v'^2}} \quad (1)$$

где u_l , v_l — координаты цветности точки, лежащей на изотерме на расстоянии l от линии черного тела; u_0 , v_0 — координаты цветности точки пересечения изотермы с линией черного тела; $u' = du/dT$, $v' = dv/dT$ — частные производные координат цветности по температуре; l — расстояние между линией черного тела и вычисляемой цветностью.

Знаки $\pm$ и $\mp$ говорят о том, что одновременно находятся координаты по обе стороны от линии черного тела, равноудаленные на расстояние l .

В целом расчет линий постоянной КЦТ разбивается на следующие этапы:

1. Устанавливается зависимости $u(T)$, $v(T)$. Здесь u , v — координаты цветности равноконтрастного графика МКО 1960, T — температура ЧТ.

2. Формируется ряд температур ЧТ $T_1 > T_2 > \dots > T_n$ (или $T_1 < T_2 < \dots < T_n$) $i = 1, 2, \dots, n$.

3. Находятся производные $u' = \frac{du}{dT}$, $v' = \frac{dv}{dT}$ в точках T_i :

4. Для T_i рассчитываются координаты точек, лежащих на линии постоянной КЦТ и равноудаленных от ЛЧТ на расстоянии l .

Данный алгоритм и методы оценки погрешности были реализованы с помощью языка python с использованием библиотек numpy, scipy.

На рис. 1 приведено распределение относительной погрешности в диапазоне до 100000 К. Для ориентира на данное изображение также нанесены точки, наиболее удалённые от линии чёрного тела, соответствующие цветности неба в различное время суток [4].

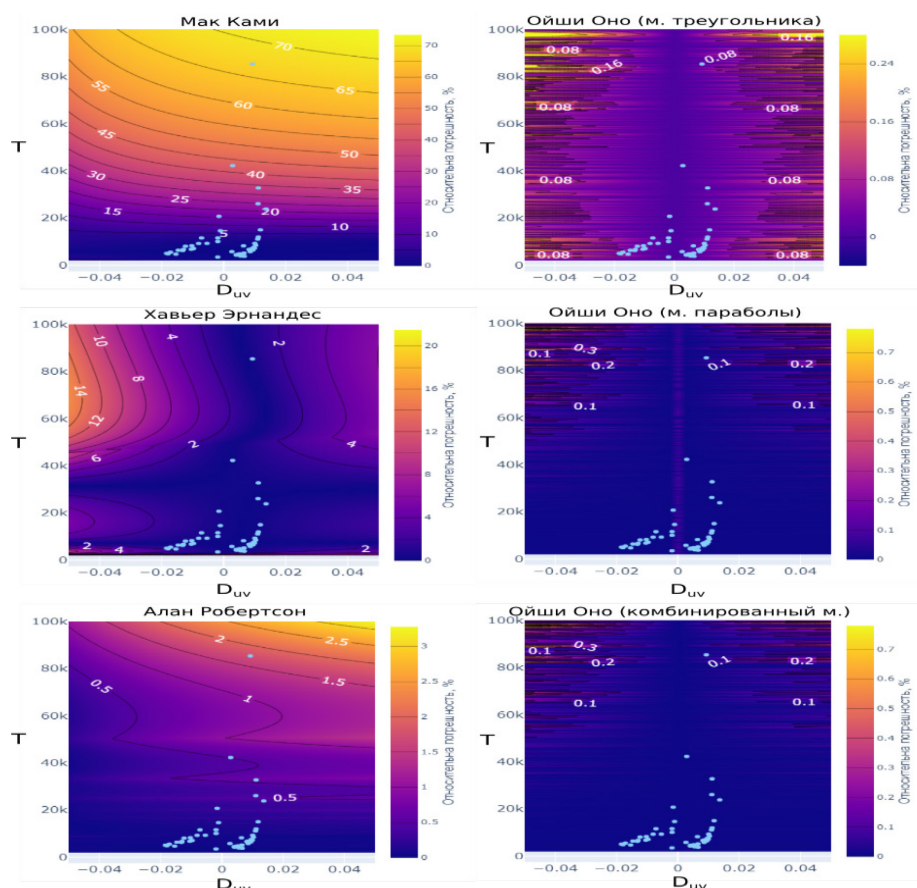


Рис. 1 – Распределение относительной погрешности в диапазоне до 100000 К:
голубые точки соответствуют цветности неба

Способ, предложенный Келли в [1], через нахождение угловых коэффициентов $-du/dv$ нормалей к линии ЧТ, не позволяет рассчитать изотемпературную линию заданной длины. Способ, предложенный нами [9], через нахождение производных функций координат цветности от температуры ЧТ du/dT , dv/dT , обладает тем преимуществом, что он позволяет рассчитывать линии постоянной КЦТ заданной длины. На его основе был разработан универсальный алгоритм для исследования распределения погрешности методов расчёта во всей области определения КЦТ. Погрешность для конкретных цветностей предлагается определять билинейной интерполяцией на найденном распределении [10].

Что касается поведения методов в более широком диапазоне температур на распределении цветности неба, то, анализируя рис.2, можно заключить, что метод Мак Ками не пригоден для расчёта КЦТ неба. Это не удивительно, учитывая, что диапазон температур, для которых он был разработан составляет 2000 – 12500 К. Его формула была выведена, исходя из предположения о существовании одного центра пересечения изотемпературных линий. В методе Хавьера Эрнандеса весь диапазон температур делится на два поддиапазона, в каждом из которых есть свой центр пересечения изотемпературных линий. Это позволило разработать достаточно точную в широком интервале температур формулу, однако у неё есть определённые проблемы для температур меньше 3000 К.

Результаты исследования могут быть полезны разработчикам стандартов и методик выполнения измерений, разработчикам программного обеспечения измерительного оборудования.

Список литературы

1. Kelly K.L. Lines of Constant Correlated Color Temperature Based on MacAdam's (u,v) Uniform Chromaticity Transformation of the CIE Diagram / K.L. Kelly // Journal Of The Optical Society Of America. – 1963. – Vol. 53. – № 8. – P. 999-1002.
2. Robertson A.R. Computation of Correlated Color Temperature and Distribution Temperature / A.R. Robertson // J. Opt. Soc. Am. – 1968. – Vol. 58. – № 11. – P. 1528-1535.
3. CIE TC 1-48. CIE 015:2004 Colorimetry, 3rd Edition / CIE TC 1-48. – 2004. – 1-82 p.
4. Hernández-Andrés J. Calculating correlated color temperatures across the entire gamut of daylight and skylight chromaticities. / J. Hernández-Andrés, R.L. Lee, J. Romero // Applied optics. – 1999. – Vol. 38. – № 27. – P. 5703-5709.
5. Schanda J. Calculating correlated color temperature with a desktop programmable calculator / J. Schanda, M. Mészáros, G. Czibula // Color Research & Application. – 1978. – Vol. 3. – P. 65-69.
6. McCamy C.S. Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates / C.S. McCamy // Color Research & Application. – 1992. – Vol. 17. – № 2. – P. 142-144.
7. Krystek M. An algorithm to calculate correlated color temperature / M. Krystek // Color Research & Application. – 1985. – Vol. 10. – P. 38-40.
8. Yoshi O. Practical Use and Calculation of CCT and Duv / O. Yoshi // LEUKOS. – 2014. – Vol. 10. – № 1. – P. 47-55.
9. Прытков С.В. О расчёте линий постоянной коррелированной цветовой температуры / С.В. Прытков // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума / ред. О.Е. Железникова (отв. ред.), А.А. Ашрятов (зам. отв. ред.), А.М. Кокинов [и др.]. – Саранск: Афанасьев В. С., 2015. – С. 191-196.
10. Бахвалов Н.С. Численные методы: учебное пособие для студентов физико-математических специальностей высших учебных заведений : Классический университетский учебник / Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2012. – 636 с.

05.13.18

**К.Э. Рыскин, С.А. Федосин канд. техн. наук,
Н.П. Плотникова канд. техн. наук, Ю.С. Вечканова**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, valiant1994@mail.ru, fedosinsa@mrsu.ru, linsierra@yandex.ru

ПОСТРОЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНСАМБЛЕЙ

В статье рассматривается подход построения иерархического классификатора с использованием дополнительных бинарных классификаторов в каждом узле для проверки гипотезы основного. Авторами рассматриваются два метода верификации результата: проверка по предсказанному классу и проверка по всем классам. В статье приводятся сравнительные результаты описанных выше подходов.

Ключевые слова: машинное обучение, градиентный бустинг, иерархическая классификация, классы, объекты, CatBoost, ансамбли.

Введение

Таксономическая классификация – это процесс систематизации (группировки по классам) сложноорганизованных иерархически соотносящихся сущностей (объектов). Иерархическая организация классов встречается во многих сферах, например: информация о продуктах в коммерческой индустрии, нормативно-справочная информация в автоматизированных системах чаще всего организована в виде многоуровневых иерархических каталогов. На каждом уровне иерархической организации классов могут присутствовать один, либо более дочерних элементов. В этом случае подзадачей иерархической классификации становится задача мультиклассификации. Задача мультиклассификации – это отнесение элемента к какому-либо заранее определенному классу, является одной из основных задач машинного обучения и обработки данных. В рамках данной статьи авторами в качестве иерархического классификатора рассматривается нисходящий метод построения древовидного классификатора [1], а в качестве мультиклассификатора используется решение поставляемой библиотекой CatBoost с использованием градиентного бустинга. Так же авторами рассматривается способ построения ансамбля классификаторов, для выявления «сомнительных» данных, на которых классификатор мог допустить ошибку.

Обзор литературы

В последних работах, посвященных иерархической классификации различной информации с использованием методов машинного обучения рассматриваются особенности основных этапов – предшествующая обработка информации (разметка датасета), построение иерархического классификатора, оценка качества классификации на основе предлагаемых метрик.

Рассмотрим основные предлагаемые подходы для указанных этапов. Один из них - построение классификатора с использованием big-bang [2], суть которого заключается в построении общего классификатора на основе всех категорий, этот подход может использовать только информацию, передаваемую категориальной структурой на этапе обучения, но не на этапе классификации. Так же широко освещаются подходы с построением нисходящих классификаторов [1,2-8], но в одних случаях для классификации используется SVM [1,3,5,7,8], в других нейронные сети [6], в третьих кластеризация [1,4,9]. Так же существуют подходы с использованием метасемплирования для обучения дополнительного классификатора [1]. Сообществом рассматриваются подходы с построением восходящего иерархического классификатора основанный на построении бинарных классификаторов для листовых классов.

В данной работе авторами рассматривается уже освященный подход построения иерархического нисходящего классификатора, так же авторами предлагается способ верификации результата предсказания основного классификатора на каждом уровне, для раннего выявления ошибок классификации, в данной работе в отличие от рассмотренных выше используется градиентный бустинг на основе деревьев решений с использованием библиотеки CatBoost.

Иерархический классификатор

Построение иерархического классификатора рассмотрим на примере задачи классификации нормативно-справочной информации (слабоструктурированного текста на естественном языке). В процессе её решения задачи необходимо отнести некоторое наименование к конечному, листовому классу.

На корневом уровне категориальной иерархии, наименование может быть отнесено к одной из дочерних категорий, используя мультиклассификатор. Классификацию можно повторять до тех пор, пока наименование не будет отнесено к листовому классу. Несколько подобных методов иерархической классификации рассмотрены в [3-4]. В большинстве методы иерархической классификации представлены в древовидной структуре [5].

Если попытаться обучить мультиклассификатор на полном наименовании классов (на полной иерархии), то для этого потребуется большое количество ресурсов, ввиду того, что количество уникальных классов может оказаться достаточно большим из-за чего возникает необходимость использовать подход с построением меньших (может быть подчиненных?) классификаторов для решения отдельных подзадач классификации.

Метод построения иерархического классификатора заключается в следующем:

1. Изначально строится классификатор на основе корневых классов.
2. Для каждого корневого класса выбираются его дочерние классы и на их основе строятся классификаторы второго уровня.
3. Процедура повторяется до тех пор, пока класс не окажется листовым.

Алгоритм классификации заключается в спуске по дереву классификаторов, до тех пор, пока классификатор не окажется листовым. Например, если наименование было отнесено корневым классификатором к классу, на основе которого был построен классификатор внутреннего уровня, то после нескольких итераций обработки данных наименование будет отнесено к какому-либо листовому классификатору.

Ансамбль классификаторов

Использовании мультиклассификатора, построенного на корневых классах, от класса к классу увеличивает ошибку классификация только преумножает их, и результирующая точность может оказаться крайне мала. Найти и исправить ошибки классификации достаточно трудозатратно, в качестве способа уменьшения количества неправильно классифицированных наименований авторами предлагается способ построения ансамбля классификаторов, состоящего из основного мультиклассификатора и проверочных бинарных классификаторов.

Суть этого подхода заключается в следующем: после классификации элемента основным классификатором его результат проверяется с помощью бинарных классификаторов и если результаты отличаются, то это наименование помечается как не классифицированное. Заметим, что существует несколько способов проверки гипотезы основного классификатора, авторами рассматривается 2 подхода:

1. Проверка гипотезы с использованием бинарного классификатора соответствующего предсказанному классу;
2. Проверка гипотезы с помощью всех вспомогательных бинарных классификаторов.

В исходном наборе данных содержатся: 458986 наименований 37 корневых класса и 9713 листовых классов. Построим зависимости точности мультиклассификатора на корневых классах от минимального количества элементов в листовых, т. е. листовые классы, количество элементов в которых меньше определенного количества будут удалены из рассматриваемой выборки Рис. 1.

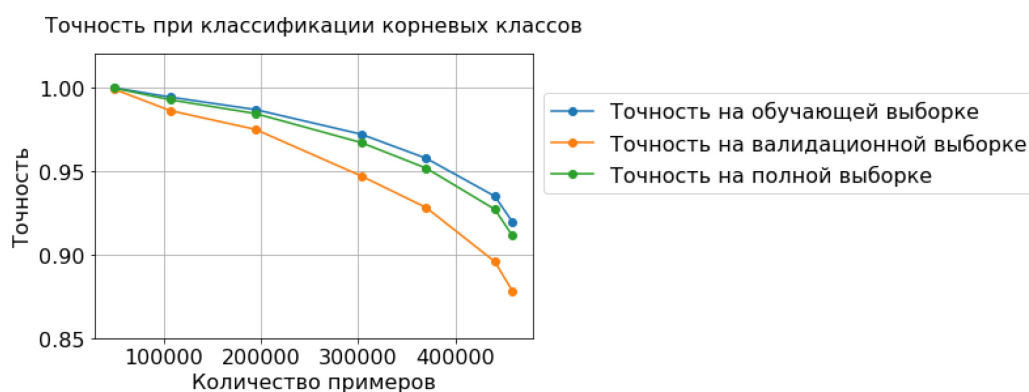


Рис. 1 – Точность классификации корневых классов

Точки на графике соответствуют отсеиванию листовых классов, количество элементов в которых меньше 1000, 500, 250, 100, 50, 10, 0 соответственно. В соответствии с описанным подходом построим зависимости для ансамбля классификаторов с упомянутом выше подходом Рис 2.

Доля классифицированных и отмеченных данных

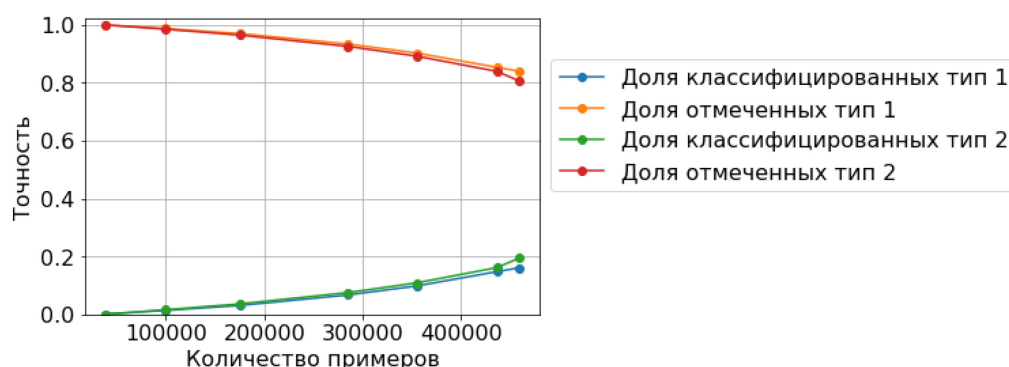


Рис. 2 – Результат классификации корневых классов

Заметим, что в данном примере отсутствуют ошибки классификации, что не соответствует общему случаю, поэтому данная графа отсутствует на графике. Опишем подробнее типы использования ансамблей бинарных классификаторов:

1. Тип 1: После предсказания основным мультиклассификатором, класса, к которому относится переданное наименование выбирается бинарный классификатор соответственного класса, и если его гипотеза совпадает с результатом основного классификатора, то наименование, в случае если результат соответствует реальному классу, помечается как классифицированное, иначе как ошибка. В случае, когда гипотезы классификаторов различаются, то наименование относится к не идентифицированным.

2. Тип 2: Первые шаги схожи, с типом 1, но в отличие от последнего, переданные на вход данные проверяются оставшимися бинарными классификаторами, и в случае, если хотя бы один присвоит данным класс, то данные будут восприняты как не идентифицированные.

Иерархический классификатор с использованием ансамблей

В рассматриваемом подходе авторами предлагается совместное использование вышеописанного способа построения ансамбля классификаторов для решения задачи иерархической классификации. Следует заметить, что отнесение данных к неклассифицированным может происходить на любом уровне иерархического классификатора, это означает, что процедура классификации единицы данных может быть остановлена на произвольном уровне.

Рассмотрим подробнее построение описанных выше классификаторов. При построении модели в качестве входных параметров был определен один текстовый признак – наименование. В процессе обучения основных мульти-классификаторов используется метрика Multiclass (1)[10].

$$\frac{\sum_{i=1}^N w_i \log\left(\frac{e^{a_{it_i}}}{\sum_{j=0}^{M-1} e^{a_{ij}}}\right)}{\sum_{i=1}^N w_i}, t \in \{0, \dots, M-1\} \quad (1)$$

Где M – число классов, N – общее число объектов, w_i – вес i -ого объекта, t_i – значение метки i -ого объекта из входных данных, a_{it_i} – значение, рассчитанное с использованием полученной модели для объекта-победителя для парных показателей. Для бинарных классификаторов используется метрика logloss (2)[10].

$$\frac{-\sum_{i=1}^N w_i (c_i \log(p_i) + (1-c_i) \log(1-p_i))}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (2)$$

Где N – общее число объектов, w_i – вес i -ого объекта, c_i – класс объекта для бинарной классификации (3)

$$\begin{cases} c_i = 0, t_i \leq border \\ c_i = 1, t_i < border \end{cases} \quad (3)$$

t_i – значение метки i -ого объекта из входных данных, p_i – прогнозируемая вероятность успеха (4),

$$p_i = \frac{1}{1+e^{-a_i}} \quad (4)$$

a_i – результат применения модели к i -му объекту.

Рассмотрим результат работы иерархического классификатора, при использовании первого способа верификации Рис. 3.

Результат работы при 1-ом типе верификации

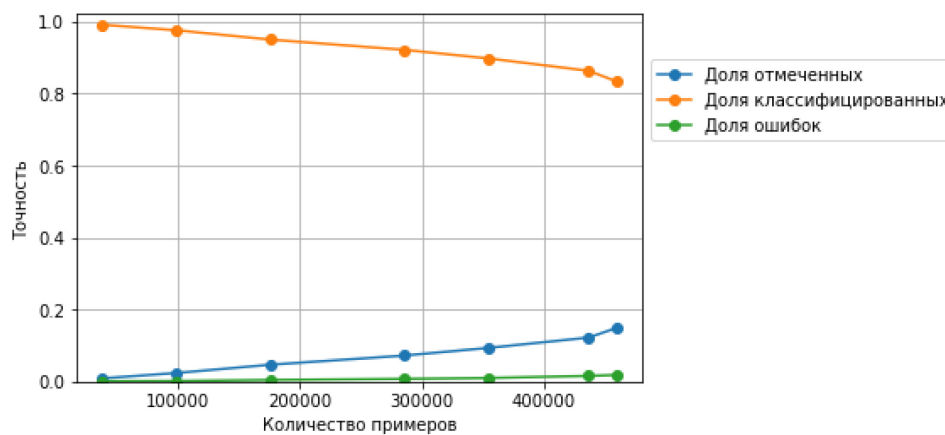


Рис. 3 – Результат работы при использовании первого типа классификации

Как видно из графика помимо помеченных и классифицированных данных присутствуют ошибки классификации, в отличие от опыта с обучением ансамбля на корневых классах. Рассмотрим результат при использовании второго типа верификации Рис. 4.

Результат работы при 2-ом типе верификации

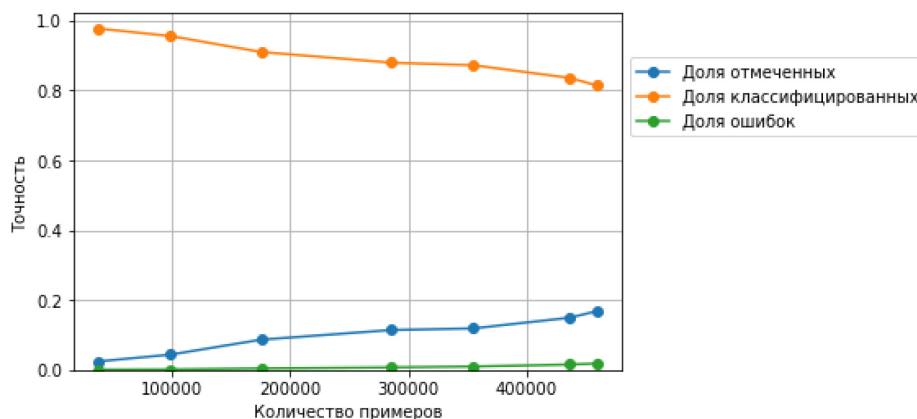


Рис. 4 – Результат работы при использовании второго типа классификации

Как и ранее, при использовании верификации второго типа, количество «неклассифицированных» данных увеличилось, а число ошибочных данных уменьшилось. В заключение заметим, что в результате работы иерархического классификатора без использования какой-либо верификации количество неправильно классифицированных данных заметно увеличивается и занимает чуть более половины от количества «неклассифицированных» данных.

Заключение

В данной статье авторами был рассмотрен способ уменьшения ошибки при классификации иерархической информации, путем введения дополнительной проверки при отнесении элемента к классу предсказанным основным классификатором. Авторы указывают, что таким способом можно пометить некоторую часть до этого неправильно классифицированных данных, как «сомнительные». В дальнейшем авторами планируется расширить способы подтверждения гипотезы основного классификатора, для увеличения общей точности классификации.

Список литературы

1. *Xiao-Lin Wang; Hai Zhao; Bao-Liang Lu* A Meta-Top-Down Method for Large-Scale Hierarchical Classification // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Volume: 26, Issue: 3, 2014, P. 500 – 513.
2. *Soft Defiyanti; Edi Winarko; Sigit Priyanta* A Survey of Hierarchical Classification Algorithms with Big-Bang Approach // *IEEE Conf (ICST) Yogyakarta, Indonesia, Indonesia 2019*.
3. *Dumais S. and H. Chen*. Hierarchical classification of Web content // *The 23rd ACM Int. Conf. on Research and Development in Information Retrieval*, Athens, GR, 2000, P. 256–263.
4. *Wang K., Zhou S., and He Y*. Hierarchical classification of real life documents // *The 1st SIAM Int. Conf. on Data Mining*, Chicago, 2001.
5. *Sun A. and Lim E.P.* Hierarchical Text Classification and Evaluation // *IEEE Int'l Conf. Data Mining (ICDM '01)*, 2001, P. 521-528.
6. *Qiang Zhang, Bo Chai, Bochuan Song, Jingpeng Zhao* A Hierarchical Fine-Tuning Based Approach for Multi-label Text Classification // *IEEE Conf (ICCCBDA) Chengdu, China, China 2020*.
7. *Natchanon Phachongkitphiphat; Peerapon Vateekul*, An Improvement of Flat Approach on Hierarchical Text Classification Using Top-Level Pruning Classifiers // *IEEE Conf Chon Buri, Thailand 2014*.
8. *Masahiro Takeda, Nobuyuki Kobayashi, Fumio Kitagawa, Hiromitsu Shiina* Classification of Comments by Tree Kernels Using the Hierarchy of Wikipedia for Tree Structures // *IEEE Conf, Kumamoto, Japan 2016*.
9. *Sowmya B J, Chetan, K.G. Srinivasa* Large scale multi-label text classification of a hierarchical dataset using Rocchio algorithm // *IEEE Conf (CSITSS) Bengaluru, India, 2016*.
10. Документация CatBoost [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://catboost.ai/> (дата обращения 03.02.2021).

05.13.18

^{1,2}Л.С. Сабитов, ³Л.Ш. Ахтямова, ³Б.М. Языев, ³С.Б. Языев, ²И.К. Киямов¹Казанский государственный энергетический университет,
Казань,²Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань,³Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАШНИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ВИДЕ УСЕЧЕННОЙ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Предложена методика оптимизации конструкции башен ветроэнергетических установок (ВЭУ) в виде усеченных конических оболочек со ступенчатым изменением толщины стенки. В качестве критериев оптимизации выбраны потенциальная энергия деформации, максимальное перемещение конструкции и первая частота собственных колебаний. Решение выполняется с использованием методов нелинейной оптимизации в сочетании с методом конечных элементов в среде Matlab.

Ключевые слова: оптимизация, коническая оболочка, переменная толщина, метод конечных элементов.

Постановка задачи.

В настоящей статье рассматривается методика оптимизации оболочечных конструкций в форме усеченного конуса со ступенчато меняющейся толщиной h . Такие конструкции выступают в качестве башен ВЭУ. При решении задачи оптимизации нагрузка, действующая на башню, представляется в виде сосредоточенной единичной силы на верхнем конце (рис. 1). Такая нагрузка моделирует расположенную в верхней точке ветроэнергетическую установку. Опираение башни в основании принимается шарнирно неподвижное.

В качестве целевой функции выступают следующие величины:

1. Потенциальная энергия деформации (ПЭД) конструкции W ;
2. Максимальное перемещение конструкции $v_{\max}$.
3. Первая частота собственных колебаний конструкции ω .

Выбор в качестве целевой функции ПЭД обосновывается тем, что она представляет собой интегральную меру, определяющую уровень напряженно-деформированного состояния [1]. Чем ниже величина ПЭД, тем лучше сопротивляемость системы внешним воздействиям [2].

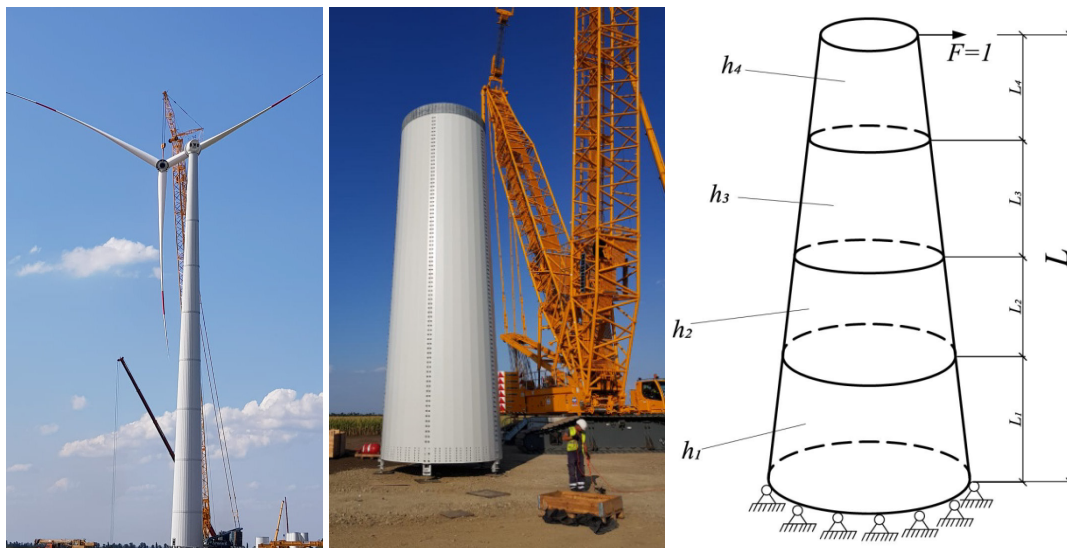


Рис. 1 – Расчетная схема конструкции башни ВЭУ

Выбор в качестве критерия оптимизации максимального перемещения конструкции дополнительных объяснений не требует. Первая частота собственных колебаний выбрана в качестве целевой функции, т.к. она показывает способность конструкции сопротивляться возникновению явления механического резонанса: чем она выше, тем сложнее вызвать резонанс при вынужденных колебаниях.

Конструкция состоит из n ступеней с высотами L_i и толщинами стенки h_i . Требуется найти такие значения L_i и h_i , чтобы обеспечивалось оптимальное значение целевой функции. Оптимуму для потенциальной энергии деформации и перемещения соответствует минимум, а для первой частоты – максимум. Объем материала конструкции при этом должен быть постоянным и равным заданному значению. Кроме ограничения на постоянство объема еще

$$\sum_{i=1}^n L_i = L.$$

одно очевидное в данной задаче ограничение:

Методика решения задачи.

Поставленная задача относится к классу задач нелинейной оптимизации. Решение ее выполняется в программном комплексе Matlab при помощи пакета *Optimization Toolbox*. В качестве метода оптимизации используется метод внутренней точки [3]. Для вычисления целевых функций была подготовлена программа, основанная на методе конечных элементов. Конструкция моделируется плоскими треугольными оболочечными конечными элементами с 6 степенями свободы в узле. В основу положены соотношения, приведенные в работе [4]. После решения системы уравнений МКЭ потенциальная энергия деформации определяется по формуле:

$$W = \frac{1}{2} \{U\}^T [K] \{U\},$$

где $[K]$ – матрица жесткости, $\{U\}$ – вектор узловых перемещений.

Первая частота собственных колебаний определяется из уравнения:

$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0,$$

где $[M]$ – матрица масс.

Результаты и обсуждение.

Задача решалась для оболочки высотой $L = 40$ м, с радиусами $R_0 = 2,15$ м и $R_1 = 1,3$ м. В качестве начального приближения принималась конструкция постоянной толщины $h = 15$ мм. Значения целевых функций $W = 0,157$ Дж, $v_{\max} = 0,314$ мм, $\omega = 18,4$ с⁻¹. Рассмотрим сначала решение при числе ступеней $n = 2$. Нижние (lb) и верхние границы (ub) для варьируемых параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нижние и верхние границы варьируемых параметров при $n = 2$

Параметр	L_i , м	h_i , мм	h_2 , мм
lb	10	5	5
ub	35	40	40

Результаты решения задачи оптимизации сведены в табл. 2. При использовании критериев минимума ПЭД и минимума перемещения получены одинаковые оптимальные значения варьируемых параметров. Аналогичный результат был получен ранее в работах [5,6] при оптимизации железобетонных плит. По сравнению с конструкцией постоянной толщины потенциальная энергия деформации и максимальное перемещение снижаются примерно на 7%. Также на 29% повышается первая частота собственных колебаний.

Вариант, соответствующий максимуму первой частоты, с точки зрения потенциальной энергии деформации и максимального перемещения оказался хуже, чем начальное приближение. Максимум первой частоты достигается на нижней границе параметра h_2 .

Таблица 2 – Оптимальные параметры конической оболочки с двумя участками и соответствующие им значения целевых функций

Критерий	L_1 , м	h_1 , мм	h_2 , мм	W, Дж	$v_{\max}$, мм	ω , с ⁻¹
Минимум ПЭД, минимум перемещения	29,1	17,2	7,3	0,146	0,293	23,8
Максимум первой частоты	19,46	23,2	5	0,185	0,371	32,1

Рассмотрим далее решение при числе ступеней $n = 3$. Число варьируемых параметров увеличивается с 3 до 5. Нижние и верхние границы для переменных L_1 , L_2 , h_1 , h_2 , h_3 приведены в табл. 3. Найденные на основе трех критериев оптимальные значения параметров L_1 , L_2 , h_1 , h_2 , h_3 приведены в табл. 4.

Таблица 3 – Нижние и верхние границы переменных

Параметр	L_1 , м	L_2 , м	h_1 , мм	h_2 , мм	h_3 , мм
lb	1	1	5	5	5
ub	35	35	40	40	40

Таблица 4 – Оптимальные параметры конической оболочки и соответствующие им значения целевых функций при делении конструкции на 3 участка

Критерий	L_1 , м	L_2 , м	h_1 , мм	h_2 , мм	h_3 , мм	W, Дж	$v_{\max}$, мм	ω , с ⁻¹
Минимум ПЭД, минимум перемещения	19,04	10,18	18,7	13,8	7,3	0,144	0,288	25,3
Максимум первой частоты	21,33	10,92	18,4	12,5	6,1	0,144	0,287	25,4
	14,67	7,58	25,4	11,9	5	0,175	0,351	33,1

Решения, полученные по критерию минимума ПЭД и минимума перемещения, немного отличаются, но обеспечивают практически одинаковые значения функций W и $v_{\max}$. По сравнению с конструкцией постоянной толщины в результате оптимизации потенциальная энергия деформации и максимальное перемещение снижаются на 8,3% и 8,6% соответственно.

Выводы.

Разработана методика оптимизации башен ВЭУ в виде усеченных конических оболочек со ступенчатым изменением толщины на основе критериев минимума потенциальной энергии деформации, минимума перемещения и максимума первой частоты колебаний. Найденны оптимальные соотношения между размерами ступеней и толщинами стенки. Установлено, что критерии минимума ПЭД и минимума перемещения приводят к практически одинаковым результатам. При увеличении числа ступеней можно добиться улучшения значений целевых функций.

Список литературы

1. *Васильков Г.В.* Эволюционные задачи строительной механики: синергетическая парадигма. Ростов н/Д: ИнфоСервис, 2003. 179 с.
2. *Васильков Г.В.* Теория адаптивной эволюции механических систем / Г.В. Васильков. Ростов н/Д: Терра-Принт, 2007. 248 с.
3. *Byrd R.H., Hribar M.E., Nocedal J.* An interior point algorithm for large-scale nonlinear programming //SIAM Journal on Optimization. 1999. Т. 9. №. 4. С. 877-900.
4. *Чепурненко А.С., Сайбель А.В., Савченко А.А.* Конечно-элементное моделирование ползучести пластин произвольной формы // Инженерный вестник Дона. 2017. №1. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3998>
5. *Ефименко Е.А., Беккиев М.Ю., Маилян Д.Р., Чепурненко А.С.* Определение оптимального расположения опор в плите перекрытия промышленного здания с использованием стохастических методов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020. № 1. С. 138-146.
6. *Efimenko E.A., Chepurnenko A.S., Mailyan D.R., Saibel A.V.* The industrial buildings reinforced concrete floor slabs with rational choice of the column pitch // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 896. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/896/1/012004/pdf>
7. *Гатиятов И.З., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л.* Анализ результатов, полученных при механических испытаниях фрагментов опор электрического транспорта. В сборнике: Эффективные строительные конструкции: теория и практика сборник статей XIV Международной научно-технической конференции. Под редакцией Н.Н. Ласькова. 2014. С. 42-45.
8. *Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Богданович А.У.* Напряженно-деформированное состояние слабokonичного стержня переменного сечения Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 7 (90). С. 71-77.
9. *Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Хамидуллин И.Н.* СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ОПОРЫ МНОГОГРАННОГО СЕЧЕНИЯ Патент на изобретение RU 2556603 С1, 10.07.2015. Заявка № 2014121172/03 от 26.05.2014.

05.13.18

К.М. Соин, А.Н. Федосова канд. техн. наук

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
Москва, soin99@mail.ru, mgsu-misi@list.ru

РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФАСАДЫ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

В работе представлены результаты численного моделирования ветровой воздействия для задачи обтекания исследуемого объекта. Для построения валидной математической модели использовались параметры модели и характеристики потока, сформированные в результате эксперимента. Эксперимент проводился на базе УНПЛ ААИСК в большой градиентной аэродинамической трубе (БИГАТ).

Ключевые слова: *архитектурно-строительная аэродинамика, численное моделирование ветровых нагрузок, высотные и уникальные здания, аэродинамические коэффициенты.*

При проектировании жилых комплексов, уникальных зданий и сооружений, в том числе и высотных зданий различных форм, высота которых достигает больше 75 метров, возникает ряд особенностей. Одной из таких проблем является учёт ветровой нагрузки, распределённой по фасадам здания.

В связи с тем, что архитектурная составляющая проектов имеет достаточно обширный спектр возможностей, к ним можно отнести различного рода формы как самих зданий, так и навесных конструкций, которые, за частую, являются столь не однотипными.

Действующие нормативно-регламентированные методики не содержат рекомендаций по назначению аэродинамических коэффициентов давления для сложных по форме высотных зданий, которые определяют ветровую нагрузку. Поэтому аэродинамические коэффициенты устанавливаются на основе результатов: физического(экспериментального) моделирования; математического(численного) моделирования на основе численных схем трёхмерных уравнений движения жидкости и газа [1]. Как правило, используется методика расчётно-экспериментального моделирования, которая формируется на основе ГОСТа [2].

Физический эксперимент показал, что при углах атаки в 60,90 и 270 градусов на поворотном столе результаты оказались самыми неблагоприятными с точки зрения взаимодействия ветрового потока с обтекаемым объектом. Для этих углов дополнительно будет произведено численное моделирование в трехмерной нестационарной постановке.

Рассматривается трёхмерная задача обтекания модели жилого комплекса в масштабе 1:150. Геометрическая модель объекта состоит из трёх корпусов без стилобатной части (пристройки). Моделирование происходило по методике “виртуальная аэродинамическая труба” в стационарной и нестационарной постановке. Это означает, что стенки расчётной области не оказывают влияния на структуру потока. В данной работе рассматривается угол атаки 270 градусов.

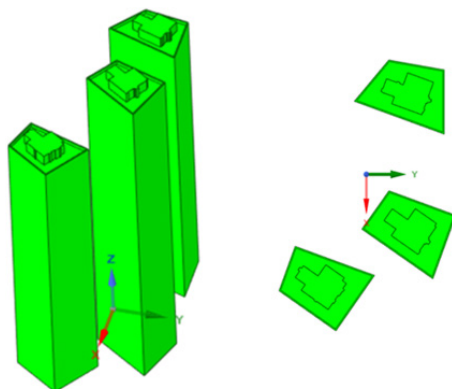


Рис. 1 – Геометрическая модель объекта

Для исследования ветрового воздействия с помощью численного моделирования одной из важных задач является качественное проектирование расчётной сетки. На сегодняшний день существует большое количество программных комплексов, с помощью которых возможно выполнить построение сетки. В данной работе использовался встроенный модуль ANSYS Fluent with meshing, который позволяет строить гибридные сетки на основе технологии Mosaic. Одной из особенностей этой методики можно отметить высокое качество разрешения сетки по критериям Orthogonal Quality и Skewness с минимизацией количества элементов.

Моделирование пограничного слоя осуществляем по границам расчетной области, где присутствует трение воздуха о поверхность. Для задания высоты первой ячейки пограничного слоя используем значение y^+ в диапазоне от 1 до 5, которая составила 0.0004 [m] с нарастанием равным 1.2 (height ratio), при этом общее количество ячеек составило около 3 млн. ячеек. Моделирование пограничного слоя нужно для корректного формирования градиента скоростей в непосредственной близости от непроницаемых стенок. Качество сетки составило минимальное значение Orthogonal Quality равно 0.25 и максимальное значение Skewness равно 0.55, что соответствует требованию для модели турбулентности [3].

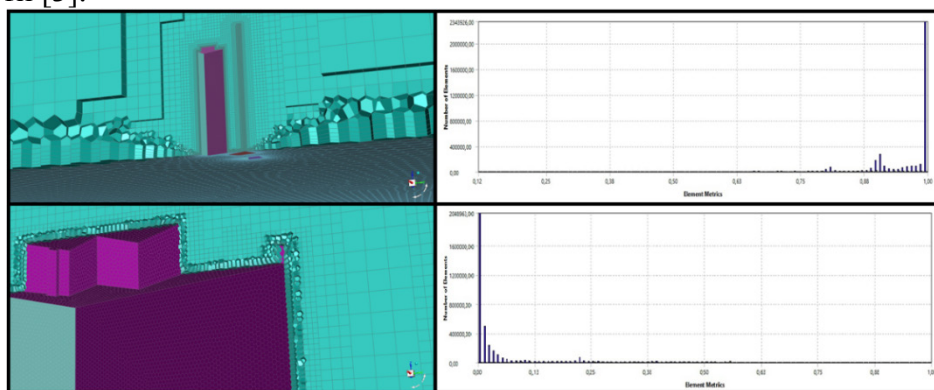


Рис. 2 – Расчётная сетка и критерии качества Orthogonal Quality (верхняя правая), Skewness (нижняя правая)

Расчёты выполнены в программном комплексе ANSYS Fluent. Решение уравнений Навье-Стокса воспроизводилось по давлению в стационарной и нестационарной постановке. Использовалась внутренняя схема, основанная на алгоритме PISO, с дискретизацией второго порядка. В нестационарной постановке использовалась схема второго порядка по времени.

На вход в домен, которому присвоено имя INLET задаётся тип граничных условий velocity-inlet, при этом задаются параметры турбулентности, в нашем случае – это Intensivety and Length Scale (интенсивность турбулентности и масштаб вихрей). Параметр вихревого масштаба высчитывается по эмпирической формуле: $\Lambda = 0.08 \cdot D_h = 0.08 \cdot \frac{2ab}{a+b} = 0.495$. На

стенках расчётной области, где присутствует трение: задается тип граничных условий WALL(NO SLIP WALL), то есть стенка без проскальзывания, на границах, где трение отсутствует, задается тип SYMMETRY. На выходе из домена задаются граничные условия типа PRESSURE-OUTLET.

Снизу представлены результаты численного моделирования в двух постановках, в которых статический расчет является начальным приближением (рис. 3). Стоит отметить, что результаты численного моделирования хорошо согласуются с экспериментом, в связи с этим появляется возможность исследовать объект на возникновение пиковых значений ветровой нагрузки, которые можно определить только средствами вычислительных методов математического моделирования в нестационарной постановке. Поля пиковых значений ветровой нагрузки строились согласно расчётным формулам, указанным в СП [1] (рис. 4).

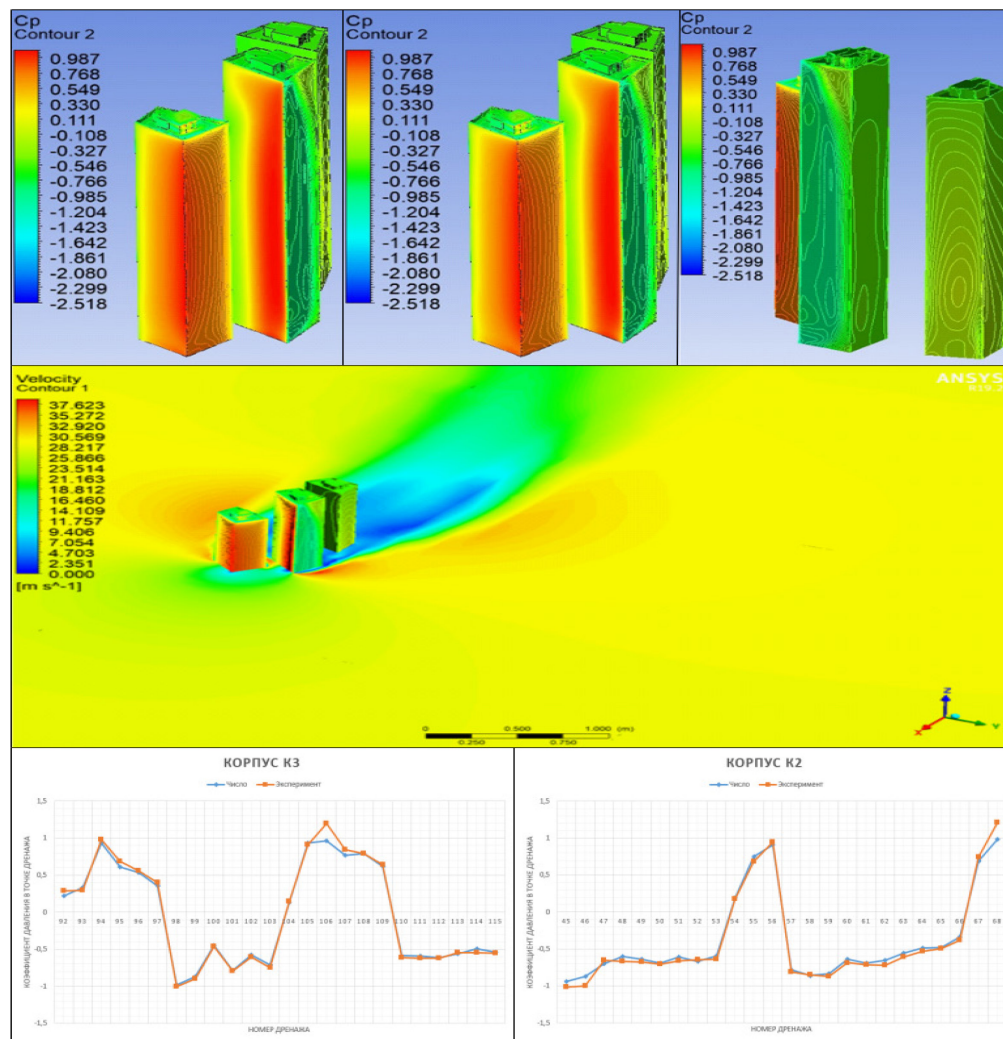


Рис. 3 – Результаты статического расчета и верификация с экспериментом.

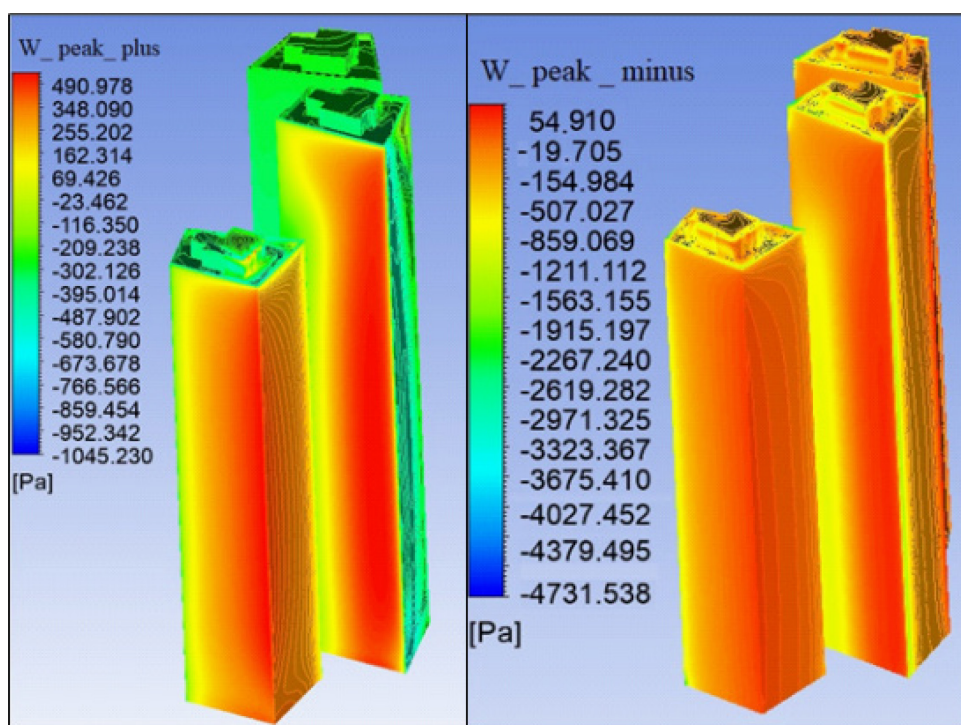


Рис. 4 – Пиковые значения ветровой нагрузки максимальные(слева) и минимальные (справа)

Список литературы

1. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
2. ГОСТ Р 56728 – 2015 “Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции”
3. ANSYS Fluent Theory Guide, 2013
4. Поддаева О.И., Федосова А.Н., Дубинский С.И. “Численное моделирование ветровой аэродинамики высотного здания”, 2014
5. Поддаева О.И., Кубенин А.С., Чурин П.С. “Архитектурно-строительная аэродинамика”, 2015
6. Чурин П.С., Федосова А.Н., Егорычев О.О., “Экспериментальная аэродинамика”, 2020

05.13.18

О.В. Хвойнов, Д.И. Новиков, А.А. Березин, В.Н. Хохлов

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, okhvoinov@bk.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

В работе представлены результаты создания программного кода для исследования основных характеристик гамма излучения. Основной целью является изучение применимости аналогового метода Монте-Карло к расчету стандартизированных баз данных. Были проанализированы первые расчеты фактора накопления для гомогенной среды.

Ключевые слова: численное моделирование, фактор накопления, метод Монте-Карло.

Введение.

Радиационная защита является неотъемлемой частью любого объекта, связанного с ионизирующим излучением. Она используется для обеспечения безопасной эксплуатации ядерных реакторов, а также в обращении с отработавшим топливом. Кроме этого, правила техники безопасности регламентируют наличие защитных барьеров в таких сферах как промышленность, научные исследования, лечение и диагностики различных заболеваний.

Развитие и совершенствование научной и практической баз прикладных сфер, связанных с решением проблемы радиационной безопасности, а также развитие компьютерных технологий, привело как к значительному усовершенствованию методов проектирования защитных барьеров, так и к усложнению расчетных алгоритмов. К последним относятся различные методики решения уравнения Больцмана: метод сферических гармоник, метод дискретных ординат, метод Монте-Карло.

Не смотря на неоспоримые преимущества в точности этих методов, кроме них на практике применяются упрощенные методики расчета барьеров безопасности, которые опираются на основные параметры, характеризующие излучение, например, фактор накопления. Широкое распространение упрощенные методики получили в Японии и США. Данные методики реализовались в программных кодах: QAD [1], G33 [2], и SKYSHINE [3].

Обширные работы в направлении изучения основных характеристик излучения велись в США группой ANS-6.4.3[4], которая была создана с целью наработки точного и всеобъемлющего набора данных. В Японии исследования велись под руководством комитета AESJ с 1995 по 2000 года. Результаты исследований были представлены на Девятой Международной Конференции по радиационной защите (ICRS-9) [5-8]. В данных работах были представлены данные по факторам накопления для основных материалов, используемых в ядерной энергетике для широкого спектра энергий.

Тем не менее бурное развитие и распространение ядерной энергетике оставляет вопрос, связанный со стандартизацией данных и сведение их в базы данных, открытым. Например, в 2007 году Международная комиссия по радиологической защите (ICRS) опубликовала новые рекомендации [9], исходя из которых в 2012 году были представлены обновленные взвешивающие коэффициенты излучения и взвешивающие коэффициенты для биологической ткани, которые необходимы для расчета эффективной дозы [10]. Данные изменения влекут за собой необходимость в обновлении базы данных для упрощенных методик расчета, то есть в пересчете стандартных характеристик излучения, например, фактор накопления для поглощенной дозы.

Учитывая все вышесказанное была предпринята попытка создания программного кода для расчета основных характеристик гамма излучения.

Преимущества данного решения, перед сторонними расчетными программами, обусловлены наличием исходного кода программы:

- наличие исходного кода программы подразумевает высокую модульность. Это позволяет, с помощью объектно-ориентированного функционала языка, формировать новые сегменты программного кода, которые будут дополнять исходный код, тем самым расширяя его возможности. Кроме этого модульность дает возможность исключать некоторые не используемые сегменты кода, тем самым улучшая производительность.
- исходный код позволяет выстраивать связь с доступными сторонними программами для вывода и визуализации данных.

Данные преимущества позволят реализовать компьютерную лабораторию с визуализацией распространения фотонов в веществе и получения численных результатов взаимодействия.

Методика расчета.

Для решения поставленных прикладных задач было решено использовать аналоговый метод Монте-Карло, поскольку данный метод имеет ряд преимуществ.

Во-первых, написание такого кода существенно упрощается, поскольку моделирование физических процессов распространения излучения в среде и накопление некоторой статистической информации происходит без использования математического аппарата теории переноса.

Во-вторых, отказ от упрощающих приближений, а значит достоверность результата определяется точностью теоретического описания и экспериментальных данных взаимодействия излучения с веществом. Достижение точности экспериментальных данных обеспечивается с помощью библиотеки данных EPICS2014.

Сам процесс расчета представляет собой реализацию цепи Маркова в виде математической системы связанных между собой сегментов траектории частицы. Это определяет аналоговый процесс блуждания частиц в пространстве. На рисунке 1 представлена блок схема программы отображающая последовательность моделирования сегментов траектории частицы.

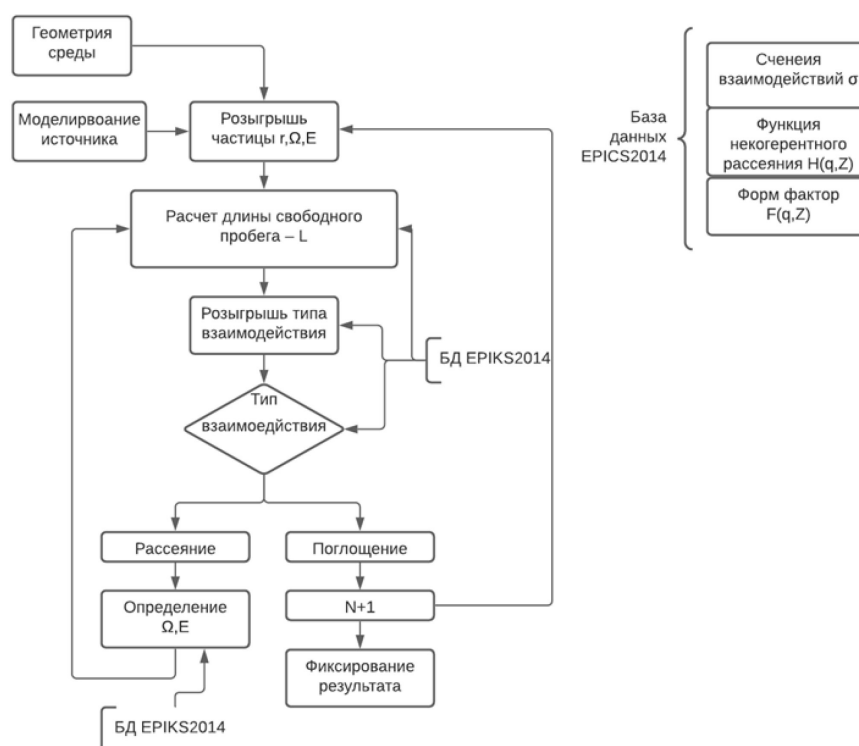


Рис. 1 – Блок схема программного кода

Вычисление требуемой характеристики излучения получается путем накопления данных о пространственных траекториях частиц. Точность такого расчета обусловлена статистической точностью, которая в свою очередь зависит от числа построенных траекторий или количества смоделированных опытов.

Результаты.

Численная реализация процесса моделирования траекторий гамма-квантов была выполнена применительно к задаче исследования фактора накопления вещества. Рассматривалась геометрия точечного источника в бесконечной геометрии. Фактор накопления определялся как отношение общего значения заданного количества излучения в точке к значению от излучения, достигающего точки без столкновения. На рисунке 2 представлено сравнение результатов моделирования 10^9 траекторий гамма квантов с энергии 1 МэВ в свинце со стандартизированными данными, рассчитанные с помощью программного кода EGS4.

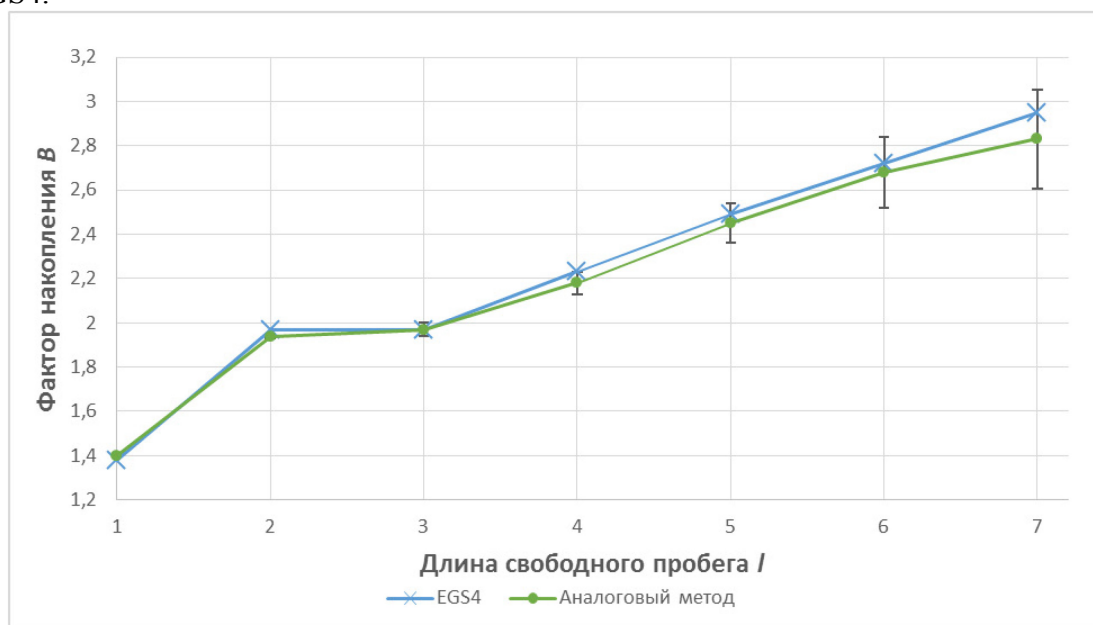


Рис. 2 – Расчет фактора накопления

Заключение.

Рисунок 2 демонстрирует совпадение результатов расчета со стандартными данными. Однако рисунок также демонстрирует проблему, связанную со статистической ошибкой, которая прогрессирует с увеличением глубины проникновения моделируемого излучения. Простое увеличение количества траекторий нивелирует данную проблему, но как показывает практика данное решение целесообразно, при имеющихся вычислительных мощностях, только при моделировании до 12-15 длин свободного пробега гамма кванта. Поэтому следующие этапы использования программного кода, подразумевают поиск методов оптимизации расчета.

Список литературы

1. *Malenfant R.E.* QAD: A series of Point-Kernel General-Purpose Shielding Program. LA-3573. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory; 1959.
2. *Masukawa F, Abe T, Hayashi K, Handa H, Nakashima H.* Development SHINE3, simple code for high-energy neutron skyshine dose evaluation. JAEA-Data/Code 2006-024. Tokai (Japan): Japan Atomic Energy Agency; 2006.
3. *Anno G.H, Witthaus J.K,* G-33, Code for computing gamma ray scattering. EAD-119, ANCOMP-196; Douglas Aircraft Co., Inc. (US); 1964.
4. *Trubey D.K.* New gamma-ray buildup factor data for point Kernel calculations: ANS-6.4.3. Standard Reference Data, NEUREG/CR-5740 ORNL/RSIC-49/R1. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1991.
5. *Hirayama H.* Activities concerning a Re-evaluation of gamma-ray buildup factors in Japan. J Nucl Sci Technol. 2000;(Suppl. 1):79–483.
6. *Shimizu A.* Development of angular eigenvalue method for deep penetration problems of gamma-rays. J Nucl Sci Technol. 2000;37(Suppl. 1):454–458.
7. *Harima Y., Sakamoto Y., Kurosawa N., Hirayama H.* An improved approximation formula of gamma-ray buildup factors for a point isotropic source in twolayer shields. J Nucl Sci Technol. 2000;37(Suppl. 1): 488–492.
8. *Miura T., Hirao Y., Sato O., Ishida T.* A simple method of calculating radiation streaming through cylindrical ducts in a concrete shield. J Nucl Sci Technol. 2000;37(Suppl. 1):660–664.
9. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. 2007. (ICRP Publication; no. 103)
10. Compendium of dose coefficients based on ICRP publication 60. 2012. (ICRP Publication; no. 119).

05.13.18

П.С. Чурин канд. техн. наук, М.А. Семенов

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
кафедра физики и строительной аэродинамики,
Москва, ChurinPS@mgsu.ru

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИ ПОДОБНОЙ МОДЕЛИ ВЫСОТНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В работе представлены результаты расчета и разработки динамически подобной модели сооружения для проведения численного моделирования ветрового воздействия в специализированном программном комплексе, а также проведения верификационного экспериментального исследования в аэродинамической трубе. Сооружением является дымовая железобетонная труба высотой 144 м, расположенная на участке местности с равнинным рельефом и без окружающей застройки.

Ключевые слова: ветровая нагрузка, математическое моделирование, эксперимент, динамически подобная модель, аэродинамика, аэродинамическая труба.

Роль ветровой нагрузки в проектировании высотных зданий, а также методы уменьшения её влияния на износ конструкции, являются ключевыми моментами, определяющими общий уровень безопасности строения. Классические методы численного и экспериментального моделирования, как правило рассматривают данную задачу в статической постановке, достаточной для определения как средней ветровой нагрузки, так и пиковой, необходимой для расчета фасадных систем. При этом необходимо отметить, что для ряда сооружений актуальным является вопрос динамического взаимодействия конструкции с ветровым потоком, оказывающий существенное влияние как на усталостную прочность конструкции, так и на комфортность пребывания человека. К таким сооружениям относятся так называемые «гибкие» конструкции восприимчивые к динамическим нагрузкам.

Существует несколько основных подходов к решению данной задачи: аналитические методы, описанные в ряде нормативных документов, экспериментальное моделирование на динамически подобных моделях в аэродинамических трубах и наконец наиболее современный способ – численное моделирование в специализированных программных комплексах гидрогазодинамики (CFD).

Все перечисленные методы имеют свои достоинства и недостатки. Аналитический метод не учитывает большого числа факторов, влияющих на ветровое воздействие, таких как влияние окружающей застройки и др., экспериментальное моделирование является наиболее достоверным, но требует существенных трудозатрат, связанных с необходимостью изготовления динамически подобной модели, методики численного моделирования ветрового воздействия в связанной динамической постановке в настоящее время развиты крайне слабо, подобные исследования проводятся лишь в нескольких исследовательских центрах по всему миру и требуют обязательной верификации с данными эксперимента. Соответственно оптимальным подходом является комплексное расчетно-экспериментальное моделирование.

Первым шагом к проведению комплексного расчетно-экспериментального исследования является анализ проектной документации по исследуемому объекту и выбор характеристик динамически подобной модели. В соответствии с нормативными документами модель, исследуемая в программном комплексе должна по своим характеристикам соответствовать экспериментальной модели для возможности анализа полученных результатов и верификации используемой вычислительной технологии.

Подбор характеристик материалов для изготовления экспериментальной модели осуществляется на основании условия подобия Коши, а также подхода моделирования подобия аэроупругости на примере крыла самолета описанным Шаповаловым Л.А [1].

В качестве исследуемого объекта выбрана дымовая труба из железобетона, классе бетона В50 (рис. 1). Упрощенная расчётная модель представляет собой полнотелый объект со стержнем внутри, в масштабе 1:150 (рис. 2). Для изготовления экспериментальной модели применялся пенопласт с малой плотностью (не более 15 кг/м³), что позволило сформировать внешний контур исследуемого объекта с минимальным влиянием на упругие и жесткостные характеристики. Для соблюдения подобия по данным характеристикам подбирается материал и габариты стержня:

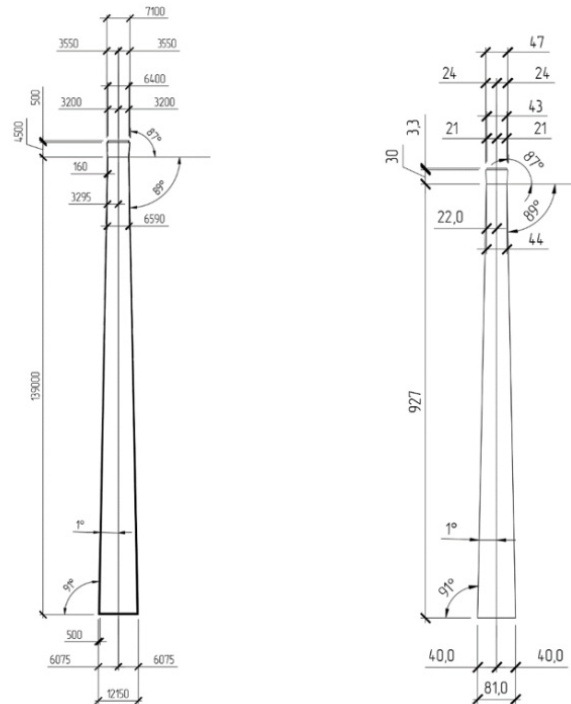


Рис. 1 – Геометрические характеристики оригинала и модели
Из условия подобия Коши:

$$\left(\frac{\rho V^2}{E} \right)_1 = \left(\frac{\rho V^2}{E} \right)_2, \quad (1)$$

Где: V — скорость потока (м/с²);

E — модуль упругости материала (МПа).

Начальный модуль упругости бетона класса В50 $E_1=38000$ Мпа. Далее проводится расчёт таблицы параметров подбора, допустимых для модели:

$$\begin{aligned} \frac{\omega_0}{l_0} = 1, \quad \theta_0 = 1, \quad \frac{\omega_0 l_0}{V_0} = 1, \quad \frac{m_0}{\rho_0 l_0^2} = 1, \quad \frac{(J_m)_0}{\rho_0 l_0^4} = 1, \\ \frac{\rho_0 l_0^4 V_0^2}{(EJ_x)_0} = 1, \quad \frac{(EJ_x)_0}{(GJ_k)_0} = 1, \quad \frac{z_0}{l_0} = 1, \quad \frac{\tau_0 V_0}{l_0} = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

где ω, θ — прогиб и угол поворота сечения модели; z, τ — осевая координата и время; b — ширина модели; x_0, σ — расстояние от оси жесткости сечения до передней кромки крыла и до центра масс; EJ_x, GJ_k, m, J_m — жесткости на изгиб и кручение, погонная масса и массовый момент инерции; V, ρ — скорость и плотность потока; α, C_y — угол атаки профиля и коэффициент подъемной силы.

Переменные с подстрочным индексом «0» обозначают безразмерный масштабный коэффициент.

Далее подбираются характеристики стержня, исходя из размеров сечения и характеристик на высоте $z=86,4$ м. В случае с моделью примем, что геометрический модуль упругости зависит только от материала стержня, так как у пенопласта с плотностью 15 кг/м^3 модуль упругости близок к нулю.

Таблица 1 – Выбор характеристик и материалов модели

Характеристика	Натурный объект	Модель
$D_1, \text{м}$	8,56	$18 \cdot 10^{-3}$
$J_{x1}, \text{м}^4$	62,87	$5,15 \cdot 10^{-9}$
$E_1, \text{МПа}$	38000	200000
$V_1, \text{м/с}$	20	9

Соответствующие значения масштабных коэффициентов $(EJ)_0=2.32 \cdot 10^{-9}$, $I_0=150$, $\rho_0=1$ (плотность среды не изменяется [2]), $\rho_0 V_0^2 I_0^4 / (EJ)_0=1,08$, $V_0=2.22$. Исходя из данных таблицы 1, можно сделать вывод, для модели подобной жесткости подходит металлический стержень диаметром 18-20 мм из материала сталь 3.

На основании результатов данного аналитического расчета создана физическая модель для проведения экспериментальных исследований в аэродинамической трубе, и математическая модель для проведения численного моделирования (рис.2).

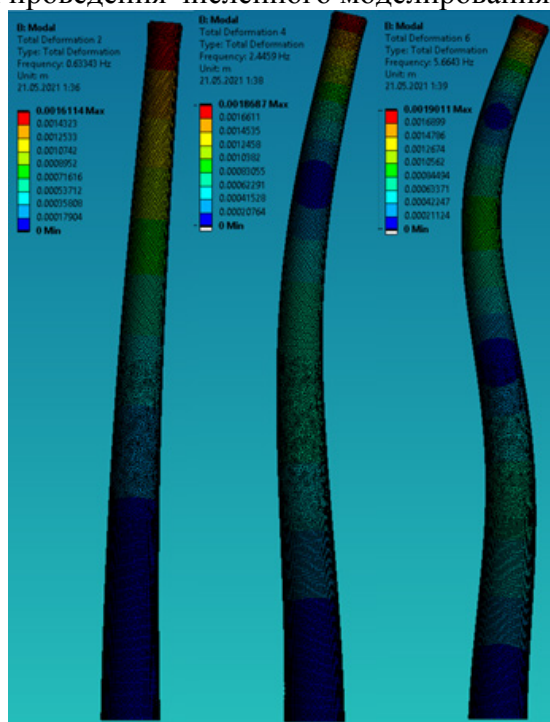


Рис. 2 – Математическая модель исследуемого объекта

В целом процесс разработки и создания динамически подобных моделей для проведения моделирования ветрового воздействия является наиболее трудоемкой частью исследования. С использованием созданных моделей будут проведены комплексные расчетно-экспериментальные исследования и проанализирована сходимость результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых в рамках научных исследований МК-1403.2020.8

Список литературы

1. Шаповалов Л.А. Моделирование в задачах механики элементов конструкций. Машиностроение. 1990 г. Стр. 195
2. Казакевич М. И. Ветровая безопасность конструкций. Теория и практика. – 2015.
3. Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Афанасьева И.Н. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства. Учебное пособие. Издательство АСВ. 2017г. — 720 стр.

05.13.19

¹Е.В. Мещерина, ²О.А. Пихтилькова, ¹А.Н. Благовисная, ¹Л.Б. Усова, ¹Д.У. Шакирова

¹Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра геометрии и компьютерных наук,
Оренбург,

²Российский технологический университет МИРЭА,
кафедра высшей математики-2,
Москва, matmet@bk.ru

О ГЕНЕРАТОРАХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ МАТРИЦ НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ

В работе рассмотрены варианты построения последовательностей матриц, элементами которых являются элементы простых конечных полей. Алгоритмы получения последовательностей основаны на идеях линейных конгруэнтных генераторов и мультипликативных генераторов Фибоначчи с запаздыванием. Представлены результаты изучения построенных генераторов на предмет получения последовательностей с большим периодом, что является одной из ключевых характеристик псевдослучайных генераторов, применяемых в математических моделях защиты информации.

Ключевые слова: *псевдослучайные последовательности, генераторы последовательностей, криптография.*

Последовательность чисел, которая близка по своим свойствам к случайным, но получена согласно какому-то алгоритму, называют псевдослучайной. Задачи, связанные с поиском и построением генераторов псевдослучайных последовательностей, являются актуальными, так как такие последовательности находят применение в различных областях знания, в том числе в области защиты информации. В публикациях, посвященных псевдослучайным последовательностям, отражаются такие направления исследований, как разработка новых алгоритмов и методов построения последовательностей с необходимыми свойствами случайности, изучение свойств генераторов псевдослучайных последовательностей, разработка и совершенствование методов изучения генераторов и вырабатываемых с их помощью последовательностей [1]. Особое внимание уделяется математическим методам и объектам, на основе которых разрабатываются генераторы. Для построения генераторов псевдослучайных последовательностей используются различные математические объекты. Наиболее исследованы генераторы псевдослучайных последовательностей, состоящих из бит, а также последовательности, элементами которых являются целые числа [2]. Современные разработки направлены в сторону иных математических объектов, изучение которых нацелено на поиск способов улучшения широко известных генераторов. Например, в качестве таких объектов рассматриваются точки эллиптических кривых [3-4], элементы групп подстановок [5], элементы колец Галуа [6] и другие. В нашей работе в качестве элементов последовательностей выбраны матрицы над простыми конечными полями, которые мы рассматриваем в качестве матричных алгебр Ли. Наш выбор обусловлен тем, что изучение алгебраических неассоциативных структур и их приложений является актуальным и востребованным направлением исследований. В частности, особое внимание неассоциативным структурам уделяется при разработке различных схем и алгоритмов в теории кодирования и криптологии [7, 8].

Важнейшей характеристикой генераторов псевдослучайных последовательностей, применяемых в криптографических конструкциях, является период вырабатываемой генератором последовательности. Для периодической последовательности u период $T(u)$

определяется как наименьшее натуральное число $t \in \mathbb{N}$, для которого существует $\lambda \in \mathbb{N}_0$, такое, что $\forall i \geq \lambda: u(i+t) = u(i)$ [9, С. 528]. Чем больше значение периода, тем больше преимуществ дают последовательности в практических приложениях. Мы рассматриваем вычислительные результаты оценок периодов последовательностей, вырабатываемых генераторами матриц над конечным полем.

Одними из традиционных генераторов псевдослучайных последовательностей чисел являются генераторы, основанные на линейных конгруэнтных методах, а также использующие идею построения последовательностей Фибоначчи. Для реализации и исследования выбраны линейный конгруэнтный генератор и мультипликативный генератор Фибоначчи с запаздыванием, описание которых для последовательностей целых чисел можно найти, например, в книге [1].

Для последовательностей целых чисел линейный конгруэнтный генератор описывается уравнением следующего вида:

$$x_{i+1} = ax_i + b \pmod{m},$$

где m – модуль, положительное целое число, большее 1; a, b – константы; x_0 – начальное значение; $a, b, x_i \in Z_m$. Максимальный период последовательности, вырабатываемой таким генератором, равен m и получение такой последовательности зависит от выбранных параметров a, b и x_0 [1, С. 28].

По аналогии с числовым линейным конгруэнтным генератором, определим линейный конгруэнтный генератор, вырабатывающий квадратные матрицы, элементами которых являются элементы простого конечного поля. Определим генератор рекуррентным соотношением вида

$$U_{i+1} = [A, U_i] + B,$$

где A, B – постоянные квадратные матрицы порядка n , U_0 – начальная квадратная матрица порядка n . Элементами матриц являются элементы простого конечного поля $GF(p)$. В качестве умножения матриц выбрана скобка Ли.

Для последовательностей целых чисел мультипликативный генератор Фибоначчи с запаздыванием описывается уравнением следующего вида:

$$x_n = x_{n-p} \cdot x_{n-q} \pmod{m},$$

где m – чётное целое положительное число, p, q – целые, $p < q$; $x_0, \dots, x_{q-1}$ – нечётные целые числа, сравнимые с 1 по модулю 4. Такие генераторы могут вырабатывать последовательности, максимально возможный период которых равен $2^{\log_2 m - 3}(2^q - 1)$ [1, С. 35].

Мультипликативный генератор Фибоначчи с запаздыванием, вырабатывающий квадратные матрицы с элементами из простого конечного поля, определим с помощью рекуррентного соотношения вида

$$U_i = [U_{i-r}, U_{i-q}] = U_{i-r}U_{i-q} - U_{i-q}U_{i-r},$$

где r, q – целые числа, $U_0, U_1, \dots, U_i, \dots$ – квадратные матрицы порядка n . Элементами матриц являются элементы простого конечного поля $GF(p)$. Каковы аналогичные числовым ограничения на начальные матрицы, авторам работы пока не известно.

Определённые таким образом генераторы реализованы двумя способами:

- в среде Visual Studio Community Edition 2019 на языке C# с использованием технологии WPF создано программное средство «Генераторы последовательностей элементов матричных алгебр Ли» [10];

- в системе компьютерной алгебры Sage написаны программы, позволяющие получать последовательности по описанным рекуррентным соотношениям и находить соответствующие им периоды.

Результат работы программ – последовательность и значение её периода.

Для определения максимально возможного периода, который может получиться при генерации последовательностей можно применить тотальный перебор всех начальных данных и соответствующих им последовательностей с периодами и выбрать наибольший из получающихся периодов. Однако данный подход сопряжен с определёнными

вычислительными трудностями. Для генерации всех последовательностей матриц порядка n над простым полем характеристики p необходимо сгенерировать и проверить p^{3n^2} последовательностей для аналога линейного конгруэнтного генератора и p^{2n^2} последовательностей для аналога мультипликативного генератора Фибоначчи. Поэтому нами выбран другой путь, связанный с поиском возможных максимальных периодов. Вычислительный эксперимент заключался в случайной генерации комбинаций матриц-коэффициентов и начальных условий, получения на их основе последовательности, поиске периодов получившихся последовательностей и дальнейшем выборе максимального из получающихся значений периодов. Последовательности генерировались с помощью программного средства «Генераторы последовательностей элементов матричных алгебр Ли» и системы Sage.

Результаты поиска таких периодов представлены в таблице 1, где введены следующие обозначения:

- p – характеристика поля $GF(p)$;
- n – порядок матриц (в скобках указывается количество сгенерированных последовательностей и найденных периодов, из которых выбиралось максимальное значение);
- ЛКГ – линейный конгруэнтный генератор;
- МГФ – мультипликативный генератор с запаздыванием с $r=2, q=1$.

В ячейках таблицы 1 представлены максимальные значения периодов, которые удалось достичь при случайной генерации последовательностей. Выбор максимально возможного периода происходил как наибольшего из полученных периодов.

В таблице 2 указано процентное соотношение найденных последовательностей с наибольшим периодом по отношению к числу всех сгенерированных последовательностей с заданными параметрами p и n , где p – характеристика поля $GF(p)$, а n – порядок матриц (в скобках указывается количество сгенерированных последовательностей и найденных периодов, из которых выбиралось максимальное значение).

Таблица 1 – Результаты поиска максимально возможных значений периодов последовательностей

p	$n=2$ (2000)		$n=3$ (2000)		$n=4$ (2000)		$n=5$ (1000)		$n=6$ (1000)	
	ЛКГ	МГФ	ЛКГ	МГФ	ЛКГ	МГФ	ЛКГ	МГФ	ЛКГ	МГФ
2	2	1	7	24	15	54	126	108	126	1008
3	6	6	26	6	80	180	2184	1452	2184	8712
5	10	12	124	120	624	3720	15624	93744	15624	22320
7	14	24	342	168	2400	7200	117648	470568	117648	57600
11	22	60	1330	960	14640	31920	1771560	63840	1771560	79800
13	26	24	2196	1464	28560	114192	4826808	13104	4826808	8736

Таблица 2 – Доля последовательностей с максимальным периодом (%)

p	$n=2$ (2000)		$n=3$ (2000)		$n=4$ (2000)		$n=5$ (1000)		$n=6$ (1000)	
	ЛКГ	МГФ	ЛКГ	МГФ	ЛКГ	МГФ	ЛКГ	МГФ	ЛКГ	МГФ
2	39.1	100	9.4	8.2	4.75	6.45	1.7	0.2	2.8	0.2
3	20.3	30.2	12.2	33.3	9	0.8	1.8	0.1	1.5	0.1
5	15.15	46.54	12.9	4.55	15.05	0.1	6.5	0.1	11	0.1
7	12.15	64.18	11.1	0.4	13.5	0.05	5	0.1	9	0.1
11	7.95	65.58	23.8	0.8	18	0.05	0.3	0.1	0.1	0.1
13	7.1	75.3	8.6	0.15	15.2	0.05	0.2	0.1	0.1	0.1

Сравнение результатов максимальных значений периодов последовательностей, вырабатываемых двумя различными генераторами, позволяет сделать вывод о том, большим потенциалом для получения последовательностей максимального периода обладают мультипликативные генераторы Фибоначчи с запаздыванием, однако доля таких последовательностей может оказаться невелика.

Данные о значениях периодов последовательностей, вырабатываемых аналогом линейного конгруэнтного генератора, позволяют предполагать некоторые закономерности и делать предположения о зависимости максимальных значений периодов от характеристики поля и порядка матрицы. Например, для квадратных матриц второго порядка максимальное значение периода получилось равным $2p$, где $p > 2$. Для квадратных матриц третьего и четвёртого порядков можно заметить, что максимальные значения периодов есть $p^n - 1$.

В заключение отметим, что полученные результаты послужат основой для проведения дальнейших исследований в области теории псевдослучайных генераторов.

Список литературы

1. Иванов М.А. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей / М.А. Иванов, И.В. Чугунков. – Москва: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 238 с.
2. L'Ecuyer, P. History of uniform random number generation / P. L'Ecuyer // Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference. – P. 202-230. https://www.researchgate.net/publication/318318619_History_of_uniform_random_number_generation
3. Тараканов В.Е. Линейные рекуррентные последовательности на эллиптических кривых и их применение в криптографии / В.Е. Тараканов // Труды по дискретной математике. – 2006. – Т. 9. – С. 340–356.
4. Червяков Н.И. Реализация ЕС-последовательностей на точках эллиптической кривой с использованием нейронных сетей / Н.И. Червяков, М.Г. Бабенко, А.С. Назаров, И.С. Крисина // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах. Материалы XIII Всероссийской конференции (Н. Новгород, 14–16 ноября 2013 г.) – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета. – 2013. – С. 274–278.
5. Бахта Н.С. Методы построения псевдослучайных последовательностей элементов групп / Н.С. Бахта, Н.А. Попова // Вестник ОмГУ. – 2014. – №2 (72). – С. 15-16.
6. Камловский О.В. Уточнение оценок для числа появлений элементов в линейных рекуррентных последовательностях над кольцами Галуа / О.В. Камловский // Фундаментальная и прикладная математика. – 2012. – 17:7. – С. 97–115.
7. Марков В.Т. Неассоциативные алгебраические структуры в криптографии и кодировании / В. Т. Марков, А. В. Михалёв, А. А. Нечаев // Фундаментальная и прикладная математика. – 2016. – Т. 21:4. С. 99-124.
8. Katyshev S.Yu. Application of non-associative structures for construction of homomorphic cryptosystems / S. Yu. Katyshev, A. V. Zyazin, A. V. Baryshnikov // Mat. Vopr. Kriptogr. – 2020. – V. 11, Is. 3. С. 31-39.
9. Глухов М.М. Алгебра: учебник / М.М. Глухов, В.П. Елизаров, А.А. Нечаев. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 608 с.
10. Благовисная А.Н. Генераторы последовательностей элементов матричных алгебр Ли / А. Н. Благовисная, А.А. Белый // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2021. – С. 1584-1587.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

А.Г. Замалиев, В.С. Минкин, Г.В. Тертышный, Р.А. Усманов
ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАИМЕНЬШИХ ЧИСЕЛ
ЗУБЬЕВ – $Z_{\min}$ В ЗУБЧАТЫХ КОЛЕСАХ

Ключевые слова: зубчатое колесо, наименьшее число зубьев, метод копирования, метод огибающей.

Рассмотрены методы определения $Z_{\min}$. Установлены параметры, влияющие на его величину. Найдены поправочные коэффициенты к расчетным формулам.

Ключевые слова:

A.G. Zamaliev, B.S. Minkin, G.V. Tertyshny, R.A. Usmanov
FEATURES OF CALCULATING THE SMALLEST
NUMBER OF TEETH- $Z_{\min}$ IN GEARS

Keywords: gear wheel, the smallest number of teeth, copy method, envelope method.

Methods for determining $Z_{\min}$ are considered. The parameters that affect its value are defined. Correction coefficients for the calculated formulas are found.

В.И. Ампилов, С.К. Верещака, И.К. Волков
ИНТЕРАКТИВНАЯ СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ПО
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕМУ ПОЛЮ КАБИНЫ И
ИНДИКАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЛЕТАТЕЛЬНОГО
АППАРАТА

Ключевые слова: летательный аппарат, автоматизированная система обучения, летный состав, инженерно-технический состав, интерактивная справочная система, индикационное оборудование.

В работе рассмотрена новая интерактивная справочная система по информационно-управляющему полю кабины и индикационному обеспечению летательного аппарата. Актуальность создания системы обусловлена модернизацией интерактивной автоматизированной системы обучения и улучшением качества обучения авиационного персонала. Система состоит из интерактивной части в виде работающих тумблеров, активного индикационного оборудования и справочной информации к ним.

V.I. Ampilov, S.K. Vereschaka, I.K. Volkov
INTERACTIVE REFERENCE SYSTEM FOR THE
INFORMATION AND CONTROL FIELD OF THE
COCKPIT AND INDICATION EQUIPMENT OF THE
AIRCRAFT

Keywords: aircraft, automated training system, flight crew, engineering staff, interactive reference system, indication equipment.

The paper considers a new interactive reference system on the information and control field of the cockpit and indication equipment of the aircraft. The relevance of creating a system is due to the modernization of the interactive automated training system and the improvement of the quality of training for flight personnel. The system consists of an interactive part in the form of working toggle switches, active indicating equipment and reference information for them.

Ф.И. Багаутдинов, Д.А. Сергеева,
А.А. Тяжелова, Л.М. Сарварова, О.А. Степушенко,
А.Н. Пикулев, А.Ф. Аглиуллин
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ РЕФРАКТОМЕТРА
НА СМАРТФОНЕ

Ключевые слова: качество питьевой воды; рефрактометр; амплитудный анализ; чрезвычайная ситуация; индивидуальные средства спасателя МЧС; смартфон.

В работе представлены результаты разработки радиопотонного рефрактометра на основе линейно-чирпированной волоконной брэгговской решетки (ЛЧВБР) с двумя фазовыми π -сдвигами (2π -ЛЧВБР), комплексированного со смартфоном для спасателей МЧС. На примере такого рефрактометра показано, что реализация измерений может осуществляться не по сдвигу длины волны решетки, а по величине фазового сдвига и соответствующему коэффициенту пропускания окна прозрачности. Обсуждены вопросы программно-аппаратного сбора и обработки информации на базе смартфона.

F.I. Bagautdinov, D.A. Sergeeva,
A.A. Tyazhelova, L.M. Sarvarova, O.A. Stepushchenko,
A.N. Pikulev, A.F. Agliullin
REFRACTOMETER INFORMATION PROCESSING ON
SMARTPHONE

Keywords: quality of drinking water; refractometer; amplitude analysis; emergency; individual means of the Ministry of Emergencies rescuer; smartphone.

The paper presents the results of the development of microwave photonics refractometer based on a linear-chirped fiber Bragg grating (LCHFBG) with two phase π -shifts (2π -LFBR), integrated with a smartphone for rescuers of the Ministry of Emergency Situations. Using such a refractometer as an example, it is shown that measurements can be carried out not by the shift of the grating wavelength, but by the magnitude of the phase shift and the corresponding coefficient of the transparency window. Issues of hardware and software for interrogation and processing of information based on a smartphone are discussed.

М.А. Бирюков
УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Ключевые слова: робототехнические системы, удаленное управление, анализ состояния пользователя.

В работе представлены результаты исследования специфики анализа биометрических показателей пользователя с ограниченными возможностями. Результаты подразумевает использовать в качестве базиса при формировании управляющих воздействий для подвижной платформы. При этом подвижная платформа обладает возможностями удаленного контроля с помощью периферийных устройств пользователя.

M.A. Biruykov
ANALYSIS OF BIOMETRICAL DATA FOR CREATING
CONTROL SIGNAL FOR MOVING PLATFORM

Keywords: robotic systems, remote control, biometric analysis. Research results of specifics of analysis of biometrical data of user with disability. Results can be implemented as basis for developing control signals for moving platform, which allows for remote control using peripheral devices.

И.Б. Гинзбург, О.Л. Смирнов, А.Ю. Степаненко
РЕШЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ERP-СИСТЕМАХ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕБ-КЛИЕНТОВ

Ключевые слова: логистика, ERP-система, веб-клиент, планирование потребности в материалах, материально-техническое снабжение, производство.

В статье рассмотрено использование ERP-систем в логистике и проблемы их применения мобильными пользователями. В качестве решения предлагается использование автономных отказоустойчивых веб-приложений. Использование таких веб-приложений позволит расширить зону комфортного эргономичного взаимодействия мобильного оператора-логиста с ERP-системой при решении различных задач, не требующих ввода больших объемов данных.

Т.В. Городжа, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов,
Р.И. Нурғалиев, А.А. Василец, Р.М. Муратов,
А.Ж. Сахабутдинов, А.Ф. Аглиуллин, Э.Ф. Хазиев
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ
ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖЕНИИ ПАЦИЕНТА В
ЭКЗОСКЕЛЕТЕ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ
ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Ключевые слова: экзоскелет; стопа; датчики давления; линейно-чирпированная волоконная брэгговская решетка; ЛЧМ-зондирование; математическая модель радиофотонного опроса датчиков.

Для решения задачи управления экзоскелетом используются три датчика давления, установленные в определенных точках стопы, с целью определения ее нормальных реакций, которые обеспечивают расчет устойчивого движения экзоскелета по ровной поверхности. В статье предложено использовать для сенсорной части системы датчики давления на основе линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток (ЛЧВБР). Применение таких решеток позволит как увеличить точность контроля положения пациента по изменению давления, оказываемого им на определенные контрольные точки стопы, так и снизить стоимость системы опроса датчиков, которая ограничивает применение классических волоконных брэгговских решеток (ВБР) в медицинской практике.

А.С. Дегина, В.В. Андреев, Ю.И. Аношкин, Н.П. Тарасова
РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО
ВАРИАНТА СОЧЕТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ
ИСПОЛНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УЧЕБНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА «НЕЙТРОННЫЙ
КОНВЕРТЕР»

Ключевые слова: поток нейтронов, нейтроны, материалы, биологическая защита, замедление нейтронов.

В работе проведено расчетное обоснование материального исполнения элементов конструкции учебно-исследовательского комплекса «Нейтронный конвертер» из сочетаний различных материалов с источниками быстрых нейтронов (ИБН-6). Рассчитаны необходимые параметры, обеспечивающие безопасность при работе с комплексом. Из всех вариантов выявлены наиболее эффективные, выгодные и перспективные по экономическим и массогабаритным параметрам.

Р.В. Едунов, Л.В. Синицына
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОВЕДЕНИЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ ПРИ
ВЫПОЛНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ
РАБОТ

Ключевые слова: светодиодное освещение, экспериментальные исследования, критическая частота слияния мельканий, эффективность.

Статья посвящена разработке методики и проведению экспериментальных исследований эффективности освещения светодиодами при выполнении производственных зрительных работ. Исследования проводились по методике показателей критической частоты слияния световых мельканий. Приведены результаты исследований.

I.B. Ginzburg, O.L. Smirnov, A.Y. Stepanenko
SOLVING LOGISTICS TASKS IN ERP SYSTEMS USING
WEB CLIENTS

Keywords: logistics, ERP system, web client, material requirement planning, purchasing, production.

The article discusses the use of ERP systems in logistics and the problems of their use by mobile users. As a solution, the use of stand-alone fault-tolerant web applications is proposed. The use of such web applications will expand the zone of comfortable ergonomic interaction of a mobile logistics operator with an ERP system when solving various tasks that do not require entering large amounts of data.

T.V. Gorodzha, R.A. Eshpai, O.G. Morozov,
R.I. Nurgaliev, A.A. Vasilets, R.M. Muratov,
A.Zh. Sakhabutdinov, A.F. Agliullin, E.F. Khaziev
MATHEMATICAL MODEL OF OBTAINING
INFORMATION ABOUT THE PATIENT'S MOTION IN
THE EXOSKELETON BASED ON LINEAR CHIRPED
FIBER BRAGG GRATINGS

Keywords: exoskeleton; foot; pressure sensors; linear chirped fiber Bragg grating; chirp probing; mathematical model of microwave photonics sensors interrogation.

To solve the problem of controlling the exoskeleton, three pressure sensors are used, installed at certain points of the foot, in order to determine its normal reactions, which ensure the calculation of the stable movement of the exoskeleton on a flat surface. The article proposes to use pressure sensors based on linear-chirped fiber Bragg gratings for the sensor part of the system. The use of such gratings will allow both to increase the accuracy of monitoring the patient's position by changing the pressure exerted by him on certain control points of the foot, and to reduce the cost of the sensor interrogation system, which limits the use of classical fiber Bragg gratings in medical practice.

A.S. Degina, V.V. Andreev, Yu.I. Anoshkin, N.P. Tarasova
CALCULATION JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL
COMBINATION OF MATERIALS FOR THE EXECUTION
OF THE MAIN ELEMENTS OF THE EDUCATIONAL AND
RESEARCH COMPLEX «NEUTRON CONVERTER»

Keywords: neutron flux, neutrons, materials, biological protection, neutron deceleration.

The paper presents a computational justification of the material design of the structural elements of the educational and research complex "Neutron Converter" from combinations of various materials with fast neutron sources (IBN-6). The necessary parameters are calculated to ensure safety when working with the complex. Of all the options, the most effective, profitable and promising in terms of economic and weight-and-size parameters were identified.

R.V. Edunov, L.V. Sinitsina
DEVELOPMENT OF A METHOD AND CONDUCTING
EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFICIENCY OF LED
LIGHTING WHEN PERFORMING INDUSTRIAL VISUAL
WORKS

Keywords: LED lighting, experimental studies, critical flicker fusion frequency, efficiency.

The article is devoted to the development of a methodology and experimental studies of the efficiency of lighting with LEDs when performing industrial visual work. The studies were carried out according to the method of indicators of the critical fusion frequency of light flashes. The research results are presented.

Е.Д. Ермоленко, Н.В. Герман,
Д.И. Новиков, В.В. Андреев, Н.П. Тарасова
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНОГО МЕТОДА

ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПУТЕМ ИНЖЕКЦИИ
ГАЗА В ПОТОК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, инжекция газа,
уменьшение толщины пограничного слоя, эжектор, закон
Бернулли

Целью работы является анализ и исследование эффективности метода интенсификации теплообмена за счет добавления газовой фазы в поток теплоносителя. В работе представлены результаты теплофизических исследований, проведенных на экспериментальном стенде, в частности, зависимость коэффициента теплопередачи от расхода газовой примеси.

Д.А. Запечалов, О.Д. Суминов,
М.В. Фролов, А.А. Добров, Ю.И. Аношкин
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПУЧКА ЗМЕЕВИКОВ МАЛОГО РАДИУСА ГИБА

Ключевые слова: теплообменник, пучки змеевиков, пористые
среды, гидравлика.

В работе представлены результаты гидравлических исследований в модели теплообменника с пучком змеевиков малого радиуса гiba. Основной целью является получение зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса, сопоставление результатов натурного и виртуального эксперимента.

В.Ю. Конышева, А.В. Шаронов
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ключевые слова: вейвлет-анализ, нелинейные динамические
системы, точки контроля.

В работе предлагается вариант решения задачи определения моментов возникновения изменений значений параметров объекта (так называемых моментов «разладки») в нелинейных динамических системах.

В.А. Курников
СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, ИСПОЛЪЗУЕМОГО ДЛЯ
ПОЖАРОТУШЕНИЯ, НА ЭТАПЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО
МАССОВО-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат,
пожаротушение, жидкий пожаротушающий состав, система
управления движением.

В работе рассматривается применение беспилотных летательных аппаратов (ЛА) для оперативного тушения пожаров на особо важных малопротяженных объектах пожаротушения (ОП) путем слива жидкого пожаротушающего состава (ПТС). При сливе ПТС происходит интенсивное изменение массово-инерционных характеристик ЛА и возникает дополнительная реактивная сила, создаваемая истекающей жидкостью. Система управления (СУ) ЛА должна поддерживать устойчивый полет ЛА на заданной постоянной высоте над ОП при действии указанных возмущающих факторов. В работе решается задача формирования единой СУ движением ЛА в продольном канале как при движении ЛА, заправленного ПТС, в точку начала слива, так и на этапе слива ПТС при различных вариантах расположения выливного сопла на корпусе ЛА.

Д.В. Малеев
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ТЕСТИРОВАНИЯ IP-АУДИОКОДЕКА IP LINK ONE

Ключевые слова: автоматизированное тестирование,
выявление аппаратных неисправностей, кодирование аудио.
В статье описана методика автоматизированного
тестирования IP-аудиокодека нового поколения IP Link One и её

E.D. Ermolenko, N.V. German,
D.I. Novikov, V.V. Andreev, N.P. Tarasova
RESEARCH OF THE PASSIVE METHOD OF
INTENSIFICATION OF HEAT EXCHANGE BY
INJECTING GAS INTO A COOLANT FLOW

Keywords: intensification of heat transfer, gas injection,
reducing the thickness of the boundary layer, ejector,
Bernoulli's law

The aim of this work is to analyze and study the effectiveness of the method for intensifying heat transfer by adding a gas phase to the coolant flow. The paper presents the results of thermophysical studies carried out at the experimental stand, in particular, the dependence of the heat transfer coefficient on the flow rate of the gas impurity.

D.A. Zapevalov, O.D. Suminov,
M.V. Frolov, A.A. Dobrov, Y.I. Anoshkin
INVESTIGATION OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS
OF A BUNDLE OF SMALL BENDING RADIUS COILS

Keywords: heat exchanger, coil bundles, porous materials,
hydraulics.

The paper presents the results of hydraulic studies in the model of a heat exchanger with a bundle of coils of small bending radius. The main goal is to obtain the dependence of the hydraulic resistance coefficient on the Reynolds number, and to compare the results of a full-scale and virtual experiment.

V.Ju. Konyshova, A.V. Sharonov
DETERMINATION OF THE MOMENTS OF CHANGE
IN THE PARAMETERS OF MATHEMATICAL MODELS
OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS

Keywords: wavelet analysis, nonlinear dynamical systems,
control points.

In paper, we propose a solution to the problem of determining the moments of occurrence of changes in the values of the object's parameters (the so-called moments of "disorder") in nonlinear dynamic systems.

V.A. Kurnikov
SYNTHESIS OF THE CONTROL SYSTEM OF
UNMANNED AIRCRAFT USED FOR FIRE
EXTINGUISHING AT THE STAGE OF CHANGE OF ITS
MASS AND INERTIA CHARACTERISTICS

Keywords: unmanned aerial vehicle, fire extinguishing, liquid
fire extinguishing composition, motion control system.

The paper discusses the use of unmanned aerial vehicles (AV) for operational extinguishing of fires at especially important low-length fire extinguishing objects (FEO) by draining a liquid fire extinguishing composition (FEC). When the FEC is drained, there is an intense change in the mass-inertial characteristics of the AV and an additional reactive force arises, created by the outflowing liquid. The control system (CS) of the aircraft must maintain a stable flight of the AV at a given constant altitude above the FEO under the action of the indicated disturbing factors. This work solves the problem of forming a unified CS by the movement of the AV in the longitudinal channel both during the movement of the AV, filled with the FEC, to the point of the beginning of the draining, and at the stage of draining the FEC with different variants of the location of the pouring nozzle on the AV body.

D.V. Maleev
SOFTWARE IMPLEMENTATION OF AUTOMATED
TESTING OF IP AUDIO CODEC "IP LINK ONE"
Keywords: automated testing, hardware troubleshooting, audio
encoding.

New generation IP audio codec "IP Link One" automated testing methods and their software implementation are

реализация в виде программных модулей. Разработанные тесты охватывают все компоненты устройства, выполняют функцию мониторинга напряжений питания и температур ключевых компонентов; позволяют в автоматическом режиме выявлять известные неисправности как на этапе контроля качества при производстве устройств, так и во время эксплуатации. Благодаря гибкой архитектуре можно использовать новые методы тестирования. Использование автоматизированного тестирования позволит повысить качество и снизить стоимость изготовления устройств, а также упростить поиск неисправностей при их эксплуатации.

Ю.Н. Матвеев, Л.В. Лобачева

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ ЭМИССИОННЫМИ ПОТОКАМИ ОБЪЕКТА ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: водный баланс, свалка твердых коммунальных отходов, эмиссионные потоки, фильтр, управление.

В работе рассмотрены основные факторы формирования водного баланса объекта захоронения отходов. На примере свалки твердых коммунальных отходов (ТКО) расположенной в поселке Солнечный Тверской области рассмотрены основные аспекты управления водными эмиссионными потоками с целью уменьшения нагрузки на экосистему.

Р.И. Нургалиев, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов, Т.В. Городжа, А.А. Василец, Р.М. Муратов, А.Ж. Сахбудинов, А.Ф. Аглиуллин, Э.Ф. Хазиев

АЛГОРИТМ ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХУЗКИХ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Ключевые слова: оптический векторный анализатор; сверхузкие резонансные структуры в оптическом волокне; резонанс Фано; контур усиления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна; асимметричное модуляционное преобразование оптической несущей; трехчастотный зондирующий сигнал.

В работе представлены результаты синтеза алгоритма зондирования сверхузких резонансных структур (СРС) в оптическом волокне (ОВ) с помощью асимметричного трехчастотного векторного анализатора сетей. На примере резонансных структур Фано (РСФ) показана, что реализация алгоритма позволяет осуществить характеризацию их амплитудно-частотных характеристик с разрешающей способностью в 8-10 фемтометров. Данная характеристика определяется модуляционным разнесом боковых частот зондирующего излучения на 10-12 МГц, что дополнительно позволяет проводить обработку информационных сигналов в области минимальных шумов фотоприемника с повышением чувствительности и отношения сигнал/шум измерений. Обсуждены вопросы формирования аналогичной схемы для характеризации контура усиления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) с разрешающей способностью в единицы аттометров.

Д.А. Сергеева, А.А. Тяжелова, Г.Х. Ашимова, Л.М. Сарварова, О.Н. Захарова, О.Ю. Веретенникова, А.Ф. Аглиуллин

ЛИДАР КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА В ВЫДЫХАЕМОМ ВОДИТЕЛЕМ ВОЗДУХЕ НА СМАРТФОНЕ

Ключевые слова: система контроля состояния водителя; концентрация этанола в выдыхаемом воздухе; лидар; метод накопления; смартфон

Системы контроля состояния водителя и стиля его вождения на базе смартфонов имеют ряд преимуществ по сравнению со встроенными системами: портативность, низкую стоимость и возможность работы с открытыми интерфейсами. Кроме того, поскольку смартфон — это персональное устройство, его легко настроить под хозяина-водителя, обучить и адаптировать. В работе представлена дополнительная настройка к смартфону — лидар контроля концентрации

described. Developed tests cover all components of the device, perform supply voltage and temperature monitoring of critical components, make possible to automatically detect known issues on quality control stage during manufacturing and operation. Flexible architecture of tests makes possible to implement new testing methods. Developed automated tests allow to improve quality and to decrease costs during devices manufacturing, and simplify fault detection during operation.

U.N. Matveev, L.V. Lobacheva

THE MAIN ASPECTS OF WATER EMISSION FLOWS MANAGEMENT OF A SOLID MUNICIPAL WASTE DISPOSAL FACILITY

Keywords: water balance, solid waste landfill, emission flows, leachate, management.

In this paper considers the main factors of formation of the water balance of a waste disposal facility. On the example of solid municipal waste landfill located in Solnechny settlement of Tver region the main aspects of water emission flows management to reduce the load on the ecosystem are considered.

R.I. Nurgaliev, R.A. Eshpai, O.G. Morozov, T.V. Gorodzha, A.A. Vasilets, R.M. Muratov, A. Zh. Sakhabutdinov, A.F. Agliullin, E.F. Khaziev

PROBING ALGORITHM FOR SUPERNARROW RESONANCE STRUCTURES IN OPTICAL FIBER

Keywords: optical vector analyzer; ultra-narrow resonant structures in optical fiber; Fano resonance; gain contour for stimulated scattering of Mandelstam-Brillouin; asymmetric modulation conversion of the optical carrier; three-frequency probing signal.

The paper presents the results of the probing algorithm synthesis for ultra-narrow resonant structures in an optical fiber using an asymmetric three-frequency vector network analyzer. Using the example of Fano resonant structures, it is shown that the implementation of the algorithm makes it possible to characterize their amplitude-frequency characteristics with a resolution of 8-10 femtometers. This characteristic is determined by the modulation spacing of the side frequencies of the probing radiation by 10-12 MHz, which additionally allows processing information signals in the region of minimum noise of the photodetector with an increase in the sensitivity and signal-to-noise ratio of measurements. The formation of a similar scheme for characterizing the stimulated Brillouin scattering gain contour with a resolution of units of attometers is discussed.

D.A. Sergeeva, A.A. Tyazhelova, G.Kh. Ashimova, L.M. Sarvarova, O.N. Zakharova, O.Yu. Veretenina, A.F. Agliullin

ETHANOL CONTROL LIDAR IN DRIVER'S BREATHED AIR ON A SMARTPHONE

Keywords: driver's condition monitoring system; the concentration of ethanol in the exhaled air; lidar; accumulation method; smartphone.

Smartphone-based driver and driving style monitoring systems have a number of advantages over embedded systems: portability, low cost, and the ability to work with open interfaces. In addition, since a smartphone is a personal device, it is easy to customize, train, and adapt for the owner-driver. The paper presents an additional add-on to a smartphone - a lidar for controlling ethanol in the air exhaled by the driver, which is built on a proportional relationship between the concentrations of ethanol in the blood of the

этанол в выдыхаемом водителем воздухе, который построен на пропорциональной зависимости между концентрациями этанола в крови альвеолярных капилляров и альвеолярном воздухе, т.к. молекулы этанола свободно диффундируют через клеточные мембраны. Обсуждены вопросы выбора источника излучения для лидара и его компоновки со смартфоном.

Д.А. Сергеева, А.А. Тяжелова, Г.Х. Ашимова,
Л.М. Сарварова, О.Н. Захарова, О.Ю. Веретенина,
А.Ф. Аглиуллин, А.Н. Пикулев

ОСНОВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАНОБИОСЕНСОРОВ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

Ключевые слова: нанобиосенсор рефрактометрического типа; чувствительность; разрешение; полоса пропускания нанобиосенсора на полувысоте; показатель качества нанобиосенсора

В данной статье рассматриваются основные информационные параметры, относящиеся к устройствам измерения объемного показателя преломления (ПП), например, при анализе ДНК, построенных на основе волоконно-оптических нанобиосенсоров. Три наиболее распространенных и важнейших параметра – это чувствительность и разрешение измерения ПП, а также полоса пропускания сенсора, например, нановолоконной брэгговской решетки (НВБР), используемой для анализа, на полувысоте. Для каждого из них дается определение и описание, а также пояснение физического смысла. При этом указанные параметры определены нами в ходе разработки модельного ряда рефрактометрических датчиков на основе параллельной схемы ОНРТ с компенсацией температуры.

Л.Б. Строгонова, Ю.А. Васин,
А.Е. Сорокин, А.М. Гун'кин, К.П. Сафронова
К ВОПРОСУ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ
ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ

Ключевые слова: микробиологический контроль, математические методы, микрогравитация.

Микробиологическая безопасность является особенно острой проблемой при планировании длительных и межпланетных космических полетов. К сожалению, проблема имеет ряд особенностей, затрудняющих ее решение. В статье рассматриваются методические пути совместного математического и инженерного решения поставленной проблемы. Предложенные методы реализованы в лабораторном эксперименте.

О.Д. Суминов, Д.А. Запевалов,
М.В. Фролов, А.А. Добров, Ю.И. Аношкин
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПУЧКА ЗМЕЕВИКОВ МАЛОГО РАДИУСА ГИБА

Ключевые слова: теплообменник, пучки змеевиков, пористые среды, теплообмен.

В работе представлены результаты теплофизических исследований в модели теплообменника с пучком змеевиков малого радиуса гiba. Основной целью является получение зависимости числа Нуссельта от числа Рейнольдса, сопоставление результатов натурного и виртуального эксперимента.

А.А. Тяжелова, Ф.И. Багаутдинов,
Д.А. Сергеева, Л.М. Сарварова, О.А. Степушенко,
А.Н. Пикулев, А.Ф. Аглиуллин
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ВИЗУАЛИЗАТОРА ВЕН
НА СМАРТФОНЕ

Ключевые слова: визуализация вен; спектральный хромопроцессинг; группы светодиодов с различной длиной волны; чрезвычайная ситуация; индивидуальные средства спасателя МЧС; смартфон.

alveolar capillaries and the alveolar air, ethanol molecules freely diffuse across cell membranes. The issues of choosing a radiation source for a lidar and its arrangement with a smartphone are discussed.

D.A. Sergeeva, A.A. Tyazhelova, G.Kh. Ashimova,
L.M. Sarvarova, O.N. Zakharova, O. Yu. Veretenina,
A.F. Agliullin, A.N. Pikulev

BASIC INFORMATION PARAMETERS OF REFRACTOMETRIC NANOBIOSENSORS

Keywords: refractometric nanobiosensor; sensitivity; resolution; the full width of the nanobiosensor at half maximum; nanobiosensor figure of merit.

This article discusses the main information parameters related to devices for measuring the volume refractive index (RI), for example, in the analysis of DNA, built on the basis of fiber-optic nanobiosensors. The three most common and most important parameters are the sensitivity and resolution of the RI measurement, as well as the bandwidth of a sensor, for example, a nanofiber Bragg grating (NFBG) used for analysis. For each of them, a definition and description is given, as well as an explanation of the physical meaning. At the same time, these parameters were determined by us in the course of developing a model range of refractometric nanobiosensors based on a parallel circuit with temperature compensation.

Л.Б. Строгонова, Ю.А. Васин,
А.Е. Сорокин, А.М. Гун'кин, К.П. Сафронова
О ВОПРОСЕ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ
ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ

Keywords: Microbiology control, mathematical methods, microgravity.

Microbiological safety is a particularly acute problem when planning long-term and interplanetary space flights. Unfortunately, the problem has a number of features that make it difficult to solve. The article discusses the methodological ways of joint mathematical and engineering solutions to the problem. The proposed methods are implemented in a laboratory experiment.

О.Д. Суминов, Д.А. Запевалов,
М.В. Фролов, А.А. Добров, Ю.И. Аношкин
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПУЧКА ЗМЕЕВИКОВ МАЛОГО РАДИУСА ГИБА

Keywords: heat exchanger, coil furnaces, porous media, heat transfer.

The paper presents the results of thermophysical studies in the model of a heat exchanger with a bundle of coils of small bending radius. The main goal is to obtain the dependence of the Nusselt number on the Reynolds number, and to compare the results of a full-scale and virtual experiment.

А.А. Тяжелова, Ф.И. Багаутдинов,
Д.А. Сергеева, Л.М. Сарварова, О.А. Степушенко,
А.Н. Пикулев, А.Ф. Аглиуллин
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ВИЗУАЛИЗАТОРА ВЕН
НА СМАРТФОНЕ

Keywords: visualization of veins; spectral chromo processing; groups of LEDs with different wavelengths; emergency; individual means of the Ministry of Emergencies rescuers; smartphone.

В работе представлены результаты разработки светодиодного визуализатора вен видимого диапазона, комплексированного со смартфоном для спасателей МЧС. На примере такого визуализатора показано, что реализация освещения зон предплечья может осуществляться путем выбора групп светодиодов с различными длинами волн, обеспечивая тем самым наиболее эффективную контрастность изображения вен на экране смартфона. Обсуждены вопросы спектрального хромопроцессинга, подбора цвета светодиодов и конструкции визуализатора вен на смартфоне.

М.В. Фролов, Д.А. Запечалов,
О.Д. Суминов, В.В. Андреев, Ю.И. Аношкин
РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО НЕЙТРОННО-
АКТИВАЦИОННОМУ АНАЛИЗУ ПРИ ПОМОЩИ
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: нейтронная физика, активационные детекторы, компьютерная модель, DOT-III.

В работе описана методика и представлены результаты экспериментов по определению потока тепловых нейтронов в рабочей области экспериментального стенда. Продемонстрирована возможность проведения данных экспериментов с помощью компьютерной модели стенда.

М.Ю. Шрейдер, А.Д. Тарасов, А.М. Осипова, О.В. Антонова
АДАПТАЦИЯ ВЕСОВ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ В
ГЕНЕТИЧЕСКОМ АЛГОРИТМЕ

Ключевые слова: адаптивный генетический алгоритм, многокритериальная оптимизация, взвешенная функция.

Использование генетических алгоритмов (ГА) с несколькими целевыми функциями дает возможность найти оптимальное решение задачи, но только при правильных настройках ГА. Получаемые решения зависят от корректности математической модели задачи, в том числе от целевых функций. Подбор весов для взвешенной функции неочевиден. Предлагается адаптивный ГА для автоматизации изменения весов целевой функции в процессе поиска решений.

С.С. Акимов, Б.К. Жумашева
МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ПОТЕРЬ НА
ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КАРТ ПОТОКА
СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ

Ключевые слова: карта потока создания ценности, математическая интерпретация, минимизация временных потерь.

В работе рассматривается пример производства нескольких видов продукции на одной универсальной технологической линии. Показано, что расчет временных затрат для второй и всех последующих производимых единиц продукции необходимо выполнять по иной схеме, нежели временные затраты на производство первой единицы продукции. Приведенные расчет является наглядным доказательством.

А.В. Атишев, А.Б. Мышонков
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОБЩЕСТВЕННОМ ЗДАНИИ ЗА
СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Ключевые слова: Arduino, освещение, система управления освещением (СУО), энергоэффективность.

В данной работе рассматривались возможности экономии электроэнергии путем использования различных систем автоматизированного освещения, для освещения учебных зданий. Сконструирована и смонтирована установка по подсчету количества рабочих часов. Произведен эксперимент, позволяющий узнать экономию, при использовании систем автоматического управления.

The paper presents the results of the development of visible range LED veins visualizer, integrated with a smartphone for the rescuers of the Ministry of Emergency Situations. Using such a visualizer as an example, it is shown that the implementation of illumination of the forearm zones can be carried out by selecting groups of LEDs with different wavelengths, thereby providing the most effective contrast of the vein image on a smartphone screen. The issues of spectral chromo processing, LED color selection and the design of a vein visualizer on a smartphone are discussed.

M.V. Frolov, D.A. Zapevalov,
O.D. Suminov, V.V. Andreev, Y.I. Anoshkin
CALCULATION AND EXPERIMENTAL JUSTIFICATION
OF THE POSSIBILITY OF CONDUCTING RESEARCH ON
NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS USING COMPUTER
MODELING

Keywords: neutron physics, activation detectors, computer model, DOT-III.

The paper describes the technique and presents the results of experiments to determine the flux of thermal neutrons in the working area of the experimental stand. The possibility of carrying out these experiments using a computer model of the stand is demonstrated.

M.Yu. Schrader, A.D. Tarasov, A.M. Osipova, O.V. Antonova
TARGET FUNCTIONS WEIGHTS ADAPTING IN
GENETIC ALGORITHM

Keywords: adaptive genetic algorithm, multicriteria optimization, weighted function.

Genetic algorithms (GA) using with several target functions makes it possible to find the optimal solution to the problem, but only with the correct GA settings. The solutions depend on problem mathematical model correctness, including the target functions. The selection of weights for the weighted function is not obvious. An adaptive GA is proposed for automating target functions weights changes in the process of finding solutions.

S.S. Akimov, B.K. Zhumasheva
MINIMIZATION OF TIME LOSSES IN PRODUCTION
WHEN BUILDING VALUE STREAM MAPS

Keywords: value stream map, mathematical interpretation, time loss minimization.

The paper considers an example of the production of several types of products on one universal technological line. It is shown that the calculation of time costs for the second and all subsequent units of production must be performed according to a different scheme than the time spent on the production of the first unit of production. The above calculation is visual evidence.

A.V. Atishev, A.B. Myshonkov
RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF ENERGY
SAVING IN A PUBLIC BUILDING BY AUTOMATING
LIGHTING CONTROL

Keywords: Arduino, lighting, lighting control system (LCS), energy efficiency.

In this paper, we considered the possibilities of saving electricity by using various automated lighting systems for lighting educational buildings. The installation for calculating the number of working hours was designed and installed. An experiment was made that allows you to find out the savings when using automatic control systems.

И.С. Горячев, В.С. Чернуха,
Д.Р. Комиссаров, А.Е. Прокофьев
РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ
КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: графический интерфейс, стабильность энергосистемы, устойчивость энергосистемы, коэффициент демпфирования.

Целью исследования является повышение эффективности контроля судовых энергосистем, которые по разной степени возмущений могут работать в неноминальных режимах. Для этого разработан графический интерфейс, который направлен на выявление нестабильной работы энергосистемы за счет контроля изменений частоты и угла поворота ротора. Для этого по всей энергосистеме предлагается использовать регуляторы угла поворота ротора.

И.С. Можаровский
ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ
МАССООБМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО ПРОДУКТА
ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Ключевые слова: прогнозирующая модель, непараметрические методы, алгоритм АСЕ, нелинейность, массообменный технологический процесс, ректификационная колонна.

В работе представлены результаты применения метода построения непараметрических прогнозирующих моделей оценки показателя качества выходного продукта промышленных ректификационных колонн, основанной на использовании алгоритма альтернативных условных чередующихся математических ожиданий. Приведен сравнительный анализ предложенного метода с существующими подходами на примере промышленной колонны K-1 производства метил-трет-бутилового эфира.

С.И. Назаренко, Д.Г. Алленов, О.В. Жедь, В.И. Кравченко
ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
ВЫГОДЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ В
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ключевые слова: Промышленные роботы, автоматизация производства, экономическая эффективность, робототехника, промышленность, машиностроение, автомобилестроение.

В статье была проанализирована выгода от автоматизации производства, экономическая рациональность роботизации на отечественных предприятиях. На основе этого анализа определено, как изменяются экономические показатели с внедрением робототехники, какие производства чаще всего используют роботизированную технику, и с какими проблемами сталкивается развитие роботизации производства в Российской Федерации.

С.И. Назаренко, Д.Г. Алленов, О.В. Жедь, В.И. Кравченко
АНАЛИЗ ВЫГОДЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
РОБОТОВ НА ПРОИЗВОДСТВО В МИРЕ

Ключевые слова: Промышленные роботы, автоматизация производства, экономическая эффективность, робототехника, промышленность, машиностроение, автомобилестроение.

В статье была проанализирована выгода от автоматизации производства, экономическая рациональность роботизации на мировых предприятиях. Основываясь на данных различных экономических и статистических источников, а также данных применения роботов в различных отраслях, сформулированы перспективы развития этой области в различных странах мира.

Т.А. Деменкова, К.И. Хохлюшкин
АЛГОРИТМ ТЕСТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ВВОДА-ВЫВОДА
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Ключевые слова: программы тестирования, цифровые блоки, вычислительные системы, устройство обмена, элементная база.

I.S. Goryachev, V.S. Chernukha,
D.R. Komissarov, A.E. Prokofiev
DEVELOPMENT OF A GRAPHIC INTERFACE FOR
POWER SYSTEM CONTROL IN THE "CODESYS"

Keywords: graphical interface, power system stability, power system stability, damping coefficient.

The aim of the study is to improve the efficiency of control of ship power systems, which, according to varying degrees of disturbance, can operate in non-nominal modes. For this, a graphical interface has been developed, which is aimed at identifying the unstable operation of the power system by monitoring changes in frequency and rotor rotation angle. To do this, it is proposed to use rotor angle controllers throughout the power system.

I.S. Mozharovskii
DESIGN PREDICTIVE MODELS OF MASS-TRANSFER
TECHNOLOGICAL PROCESS FOR ESTIMATION
QUALITY OF THE BOTTOM PRODUCT OF
DISTILLATION COLUMN

Keywords: predictive model, nonparametric methods, ACE algorithm, nonlinearity, mass transfer technological process, rectification column.

Results of applying the method for nonparametric predictive models design for estimating the quality indicator of the bottom product of distillation columns, based on the use of an algorithm of alternative conditional alternating mathematical expectations, are presented. A comparative analysis of the proposed method and known approaches is given on the example of an industrial column K-1 for the production of methyl tertiary butyl ether.

S.I. Nazarenko, D.G. Allenov, O.V. Zhed, V.I. Kravchenya
INDUSTRIAL ROBOTS AND THE ECONOMIC BENEFITS
OF THEIR INTRODUCTION IN PRODUCTION IN THE
RUSSIAN FEDERATION

Keywords: Industrial robots, production automation, economic efficiency, robotics, industry, mechanical engineering, automotive industry.

The article analyzes the benefits of automation of production, the economic rationality of robotization at domestic enterprises. Based on this analysis, it is determined how economic indicators change with the introduction of robotics, which industries most often use robotic technology, and what problems the development of robotization of production in the Russian Federation faces.

S.I. Nazarenko, D.G. Allenov, O.V. Zhed, V.I. Kravchenya
ANALYSIS OF THE BENEFITS OF INTRODUCING
INDUSTRIAL ROBOTS TO PRODUCTION IN THE
WORLD

Keywords: Industrial robots, production automation, economic efficiency, robotics, industry, mechanical engineering, automotive industry.

The article analyzes the benefits of automation of production, the economic rationality of robotics in the world's enterprises. Based on data from various economic and statistical sources, as well as data on the use of robots in various industries, the prospects for the development of this field in various countries of the world are formulated.

T.A. Demenkova K.I. Khokhlyushkin
TESTING ALGORITHM FOR I / O MODES OF
SPECIALIZED DIGITAL DEVICES

Keywords: testing programs, digital blocks, computing systems, exchange device, element base.

The paper deals with the actual problem of testing digital

В работе рассматривается актуальная задача по тестированию цифровых устройств в составе специализированных вычислительных систем. Предложен алгоритм проверки с использованием испытательного стенда на основе программируемых логических интегральных схем, включая тестирование режимов ввода-вывода для экспериментального устройства обмена информацией управляющего цифрового вычислительного комплекса. Описываются его состав и область применения, реализация алгоритмов обмена и проверка правильности работы изделия. Показана возможность использования полученных результатов для проведения испытательных мероприятий готовых устройств с возможностью перепрограммирования при обнаружении ошибки.

Н.М. Лащик

РАСПОЗНАВАНИЕ СЛОВА НА ЯЗЫКЕ ЖЕСТОВ ПО ФОТОГРАФИИ

Ключевые слова: машинное обучение, ситуационный анализ, нейронные сети, обработка фотографий.

Проведено исследование нейронных сетей и алгоритмов их обучения, реализовано программное приложение для распознавания языка жестов и визуальной информации.

В.А. Тутынин

ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД МЕТОДОМ ДЕЛЕНИЯ ДИЗЬЮНКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕДУЩИХ ЛИТЕРАЛОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: логический вывод, метод деления дизъюнктов, исчисление предикатов, распределённая система.

В статье представлены результаты исследования работы обычного и модифицированного методов деления дизъюнктов в распределённой системе. Анализируются время логического вывода, а также количество произведённых операций унификации литерала. Также демонстрируется процесс распределения правил базы между исполняющими устройствами системы в рамках работы модифицированного метода.

Н.В. Абдулкина, Р.И. Вахитова, Е.Б. Думлер, Д.А. Сарачева, Э.У. Лощакова, И.К. Киямов

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПЛАСТА

Ключевые слова: нагнетательная скважина, регулятор давления, система ППД.

Важной задачей при добыче нефти из скважин, находящихся на поздней стадии разработки, является обеспечение поддержания стабильного пластового давления для подъема требуемых объемов продукции пласта. Одним из основных требований в системе является возможность регулирования давления в нагнетательной линии. В статье предлагается регулятор давления для высокопроницаемых нагнетательных скважин.

Н.В. Абдулкина, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, Э.У. Лощакова, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Ключевые слова: регулирующее устройство, матричный преобразователь частоты, асинхронный двигатель.

Одним из наиболее современных путей повышения энергоэффективности рекуперативного электропривода переменного тока является обеспечение значения коэффициента мощности, стремящегося к единице, синусоидальности входных токов и возможности сброса в промышленную сеть электроэнергии в режиме рекуперативного торможения. В статье предложено техническое устройство для преобразования частоты и представлены результаты исследования модели матричного преобразователя в среде моделирования Matlab/Simulink.

devices as part of specialized computing systems. A verification algorithm using a test bench based on programmable logic integrated circuits is proposed, including testing input-output modes for an experimental information exchange device of a control digital computer complex. Its composition and scope, implementation of exchange algorithms and verification of the correct operation of the product are described. The possibility of using the results obtained for carrying out test activities of finished devices with the possibility of reprogramming when an error is detected is shown.

N.M. Lashchik

SIGN LANGUAGE RECOGNITION FROM A PHOTO

Keywords: machine learning, situational analysis, neural networks, photo processing.

A study of neural networks and algorithms for their training was carried out, a software application for recognizing sign language and visual information was implemented.

V.A. Tutynin

LOGICAL INFERENCE METHOD BY DISJUNCTS DIVISION WITH LEADING LITERALS IN DISTRIBUTED SYSTEMS

Keywords: logical inference, disjuncts division, distributed system.

This paper presents the results of an investigation on performance of normal and modified inference method by disjuncts division in distributed systems. The inference time and the number of literal unification operations are analyzed. Also, the process of distributing the base rules between the processing machines within the framework of the modified method is demonstrated.

H.V. Abdulkina, R.I. Vakhitova, E.B. Dumler, D.A. Saracheva, E.U. Loshakova, I.K. Kiyamov

INVESTIGATION OF THE PRESSURE REGULATOR IN THE RESERVOIR PRESSURE MAINTENANCE SYSTEM

Keywords: injection well, pressure regulator, PPD system

An important task in the production of oil from wells that are at a late stage of development is to ensure that a stable reservoir pressure is maintained to raise the required volumes of reservoir production. One of the main requirements in the system is the ability to control the pressure in the discharge line. The article proposes a pressure regulator for high-capacity injection wells.

N.V. Abdulkina, E.B. Dumler, R.I. Vakhitova, E.U. Loshakova, I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov

EXPERIMENTAL STUDYS OF MATRIX FREQUENCY CONVERTER MODEL

Keywords: control device, matrix frequency converter, asynchronous motor.

One of the most modern ways to improve the energy efficiency of a recuperative AC electric drive is to ensure the value of the power factor, tending to one, the sinusoidality of the input currents and the possibility of dumping electricity into the industrial network in the mode of recuperative braking. The article proposes a technical device for frequency conversion and presents the results of the study of the matrix converter model in the Matlab/Simulink simulation environment.

С.Д. Абросимов, С.В. Прытков
ПРИМЕНЕНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ
И ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ
АППРОКСИМАЦИИ СУММАРНОГО
СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНО
ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Ключевые слова: угловое распределение силы света, суммарное светораспределение, фотометрические данные, тригонометрическая интерполяция, дискретное преобразование Фурье, кусочно-линейная интерполяция, триангуляция Делоне, поворот системы координат, преобразование координат.

Для решения задачи вынесенной в название статьи предлагаются два метода. Первый представляет собой кусочно-линейную интерполяцию индикатрисы с использованием триангуляции Делоне. Второй метод связан с предварительной тригонометрической интерполяцией индикатрисы силы света каждого ИС, с помощью использования дискретного преобразования Фурье.

И.А. Барина, А.М. Грек, В.А. Коротин
АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК
СВЕТОДИОДНЫХ ФИЛАМЕНТНЫХ ЛАМП ОТ ТИПА
ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Ключевые слова: Филаментная лампа, источник питания, светодиоды, импульсный источник питания.

В статье подробно проанализирован и рассчитан КПД импульсного источника питания филаментной светодиодной лампы. Проведенная экспериментальная проверка выявила как достоинства, так и недостатки апробируемого светильника. Учитывая целый ряд преимуществ, таких как низкое энергопотребление и высокая светоотдача, применение светодиодных источников света представляется весьма перспективным.

А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Е.А. Ефремова, А.Л. Судуткина
НЕЙРОСЕТЕВАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ
НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: идентификация, нелинейная динамическая модель, статическая и динамическая нейронные сети, натриевая лампа высокого давления.

Поставлена задача и разработан алгоритм нейросетевой параметрической идентификации нелинейных динамических моделей с проведением вычислительного эксперимента, формированием на его основе обучающих выборок, и последующим обучением динамической и статической нейронных сетей, используемых в задаче идентификации. Предложена нейронная сеть, состоящая из комбинации динамической и статической нейронной сети, в которой синаптические коэффициенты динамической нейронной сети подаются на вход статической нейронной сети. Проведена апробация предложенного алгоритма для идентификации нелинейной модели натриевой лампы высокого давления.

О.В. Козлова, И.В. Зайченко, С.А. Гордин, К.П. Гаер
ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО
АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗА

Ключевые слова: корреляционный анализ, многофакторный анализ, газотранспортная система, планирование потребления газа, баланс газа.

Рассмотрены подходы к повышению точности прогнозирования потребления природного газа за счет применения метода многофакторного корреляционного анализа.

С.Ю. Лунева, А.А. Лунева
СИНТЕЗ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В ЗАДАЧЕ
СТАБИЛИЗАЦИИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИ
НАЛИЧИИ НЕПОЛНЫХ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ
ОБЪЕКТА

Ключевые слова: синтез нечеткого регулятора, нечеткая

S.D. Abrosimov, S.V. Prytkov
APPLICATION OF LINEAR LINEAR AND
TRIGONOMETRIC INTERPOLATION FOR
APPROXIMATION OF THE TOTAL LIGHT
DISTRIBUTION OF ANY ORIENTED LIGHT SOURCES

Keywords: angular distribution of luminous intensity, total light distribution, photometric data, trigonometric interpolation, discrete Fourier transform, piecewise linear interpolation, Delaunay triangulation, rotation of the coordinate system, transformation of coordinates.

Two methods are presented to solve the problem. The first is piecewise linear interpolation of the indicatrix using Delaunay triangulation. The second method involves preliminary trigonometric interpolation of the luminous intensity indicatrix of each IC using a discrete Fourier transform.

I.A. Barinova, A.M. Grek, V.A. Korotin
ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE
CHARACTERISTICS OF LED FILAMENT LAMPS ON
THE TYPE OF SWITCHING POWER SUPPLIES

Keywords: Filament lamp, power supply, LEDs, switching power supply.

The article analyzes in detail and calculates the efficiency of a switching power supply of a filament LED lamp. The carried out experimental verification revealed both the advantages and disadvantages of the tested lamp. Considering a number of advantages, such as low power consumption and high luminous efficiency, the use of LED light sources seems to be very promising.

A.V. Volkov, S.N. Ivliev, E.A. Efremova, A.L. Sudutkina
NEURAL NETWORK PARAMETRIC CHARACTERISTICS
OF NONLINEAR DYNAMIC MODELS

Keywords: Identification, nonlinear dynamic model, static and dynamic neural networks, high pressure sodium lamp.

We have developed with a computational experiment an algorithm for neural network parametric identification of nonlinear dynamic models. We have formed training samples on its basis. We used subsequent training of dynamic and static neural networks in the identification problem. A neural network is proposed, consisting of a combination of a dynamic and a static neural network, in which the synaptic coefficients of a dynamic neural network are fed to the input of a static neural network. The proposed algorithm was tested for identifying a nonlinear model of a high-pressure sodium lamp.

O.V. Kozlova, I.V. Zaychenko, S.A. Gordin, K.P. Gaer
APPLICATION OF MULTI-FACTOR CORRELATION
ANALYSIS TO FORECAST GAS CONSUMPTION

Keywords: correlation analysis, multivariate analysis, gas transmission system, gas consumption planning, gas balance. Approaches to improving the forecasting accuracy of natural gas consumption by using the method of multivariate correlation analysis are considered.

S.Yu. Luneva, A.A. Luneva
FUZZY CONTROLLER SYNTHESIS IN UNDERWATER
VEHICLE STABILIZATION PROBLEM WITH
INCOMPLETE STATE INFORMATION

Keywords: fuzzy controller synthesis, fuzzy logic, linguistic variables, membership function, fuzzy rules, rule generation

логика, лингвистические переменные, функция принадлежности, правило вывода, алгоритм генерации правил, конфликт правил. В работе предложен метод решения задачи стабилизации подводного аппарата на основе синтеза нечеткого регулятора путем генерации лингвистических правил вывода в условиях неполной информации о характерных параметрах движения.

И.Р. Мавлеев, И.И. Салахов, В.В. Румянцев,
В.Б. Хлюпин, Р.Р. Басыров, С.В. Дмитриев
МЕТОД ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЭНЕРГОСИЛОВОЙ
УСТАНОВКОЙ

Ключевые слова: топливная экономичность, тягово-динамический расчёт, силовая установка, расход топлива, тяговый баланс.

В статье изложены результаты расчетов тягово-скоростных и динамических характеристик транспортных средств с энергосиловым агрегатом на компримированном природном газе. Определены топливно-экономических показателей транспортного средства с энергосиловым агрегатом на компримированном природном газе.

Д.И. Нуретдинов, Р.М. Галиев, А.Ю. Барыкин,
Р.К. Галиев, Р.Ф. Илдарханов, И.Ф. Шайхутдинов
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА АВТОПОЕЗДА ДЛЯ
МЕЖДУГОРОДНИХ ПЕРЕВОЗОВ

Ключевые слова: автопоезд, седельный тягач, полуприцеп, осевая нагрузка, грузоподъемность.

Данная статья посвящена исследованию технических параметров тягача и полуприцепа и разработке математической модели формирования автопоезда. Приведены параметры седельных тягачей и полуприцепов, используемые при исследовании эффективности перевозки. Описан порядок выбора полуприцепа для конкретной модели седельного тягача. При этом большое внимание уделено определению грузоподъемности автопоезда.

Е.А. Петровичева, Э.М. Хасаншина, Н.П. Назарова
МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ В
МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРУБЧАТЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ
АППАРАТАХ

Ключевые слова: численные методы, гидродинамические процессы.

В статье приводится обзор информации о состоянии исследований турбулентных течений в малогабаритных трубчатых аппаратах (МТА)

С.В. Прытков, М.О. Лапшов
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА РАСЧЁТА
КОРРЕЛИРОВАННОЙ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРА ЭТАЛОННОГО ИСТОЧНИКА
СВЕТА ПРИ ОЦЕНКЕ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ

Ключевые слова: спектр излучения, коррелированная цветовая температура, цветопередача, МКО ТМ-30, координаты цветности, погрешность метода.

В работе предлагается алгоритм для исследования погрешности методов расчёта КЦТ, основанный на способе построения линий постоянной КЦТ заданной длины. Соответствующие данным линиям температуры принимаются за истинные, а лежащие на них цветности используются в качестве входных данных для исследуемого метода. В работе предлагается подход, когда сначала определяется распределение погрешности во всей области определения КЦТ с последующей билинейной интерполяцией для нужных цветностей.

algorithm, conflicting rules.

The paper contains the results of applying fuzzy logic in controller synthesis problem with incomplete information about the state vector of underwater vehicle.

I.R. Mavleev, I.I. Salakhov, V.V. Rummyantsev,
V.B. Khlyupin, R.R. Basyrov, S.V. Dmitriev
METHOD OF TRACTION-DYNAMIC CALCULATION OF
VEHICLES WITH POWER PLANT

Keywords: fuel efficiency, traction-dynamic calculation, power plant, fuel consumption, traction balance.

The article presents the results of calculations of traction-speed and dynamic characteristics of vehicles with an energy-power unit on compressed natural gas. The fuel and economic indicators of a vehicle with an energy-power unit running on compressed natural gas are determined.

D.I. Nuretdinov, R.M. Galiev, A.Yu. Barykin,
R.K. Galiev, R.F. Ildarkhanov, I.F. Shajhutdinov
MATHEMATICAL MODEL OF ROAD TRAIN SELECTION
FOR INTERCITY TRANSPORTATION

Keywords: road train, truck tractor, semi-trailer, axle load, carrying capacity.

This article is devoted to the study of the technical parameters of the tractor and semitrailer and the development of a mathematical model for the formation of a road train. The parameters of truck tractors and semitrailers used in the study of transportation efficiency are given. The procedure for choosing a semitrailer for a specific model of a semitrailer tractor is described. At the same time, much attention is paid to determining the carrying capacity of the road train.

E.A. Petrovicheva, E.M. Khasanshina, N.P. Nazarova
METHODS OF NUMERICAL SOLUTION OF
HYDRODYNAMIC PROBLEMS IN THE STUDY OF
PROCESSES IN SMALL-SIZED TUBULAR TURBULENT
APPARATUSES

Keywords: numerical methods, hydrodynamic processes.

Many problems of hydrodynamics can not be solved by the analytical method and the possibility of solving them is numerical methods. To date, a large number of numerical methods for solving problems for partial differential equations, such as the equations of hydrodynamics, have been developed. With the help of the computational methods and tools created to date, it is possible to determine all the main properties of such devices with a sufficiently high degree of confidence.

S.V. Prytkov M.O. Lapshov
CHOOSING THE OPTIMAL CALCULATION METHOD
CORRELATED COLOR TEMPERATURE FOR
DETERMINING THE SPECTRUM OF A REFERENCE
LIGHT SOURCE WHEN EVALUATING COLOR
RENDITION

Keywords: light emission spectrum, correlated color temperature, color rendering, IES TM-30-15, chromaticity coordinates, method error.

In this paper, we propose an algorithm for investigating the error of the methods for calculating the correlated color temperature, based on the method of constructing lines of a constant CCT of a given length. The temperatures corresponding to these lines are assumed to be true, and the underlying chromaticities are used as input data for the method under study. In this paper, we propose an approach where the error distribution is first determined over the entire SCT detection area, followed by bilinear interpolation for the desired chromaticities.

С.В. Прытков, Н.М. Посулихин
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЁТА
КОРРЕЛИРОВАННОЙ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ НЕБА

Ключевые слова: коррелированная цветовая температура, линия чёрного тела, линия постоянной коррелированной цветовой температуры, погрешность метода расчёта, координаты цветности, метод Мак Ками, метод Хавзера Эрнандеса, метод Робертсона, метод Йоши Оно.

В работе предлагается алгоритм для исследования погрешности методов расчёта коррелированной цветовой температуры (КЦТ), основанный на способе построения линий постоянной КЦТ заданной длины. Для выяснения применимости методов для расчёта КЦТ неба был выполнен расчёт распределения относительной погрешности до 100000 К. Эти данные необходимы для уточнения модели неба, чтобы минимизировать погрешность при моделировании естественного освещения.

К.Э. Рыскин, С.А. Федосин, Н.П. Плотникова, Ю.С. Вечканова
ПОСТРОЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОГО КЛАССИФИКАТОРА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНСАМБЛЕЙ

Ключевые слова: машинное обучение, градиентный бустинг, иерархическая классификация, классы, объекты, CatBoost, ансамбли.

В статье рассматривается подход построения иерархического классификатора с использованием дополнительных бинарных классификаторов в каждом узле для проверки гипотезы основного. Авторами рассматривается два метода верификации результата: проверка по предсказанному классу и проверка по всем классам. В статье приводятся сравнительные результаты описанных выше подходов.

Л.С. Сабитов, Л.Ш. Ахтямова,
Б.М. Языев, С.Б. Языев, И.К. Киямов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАШНИ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ВИДЕ
УСЕЧЕННОЙ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Ключевые слова: оптимизация, коническая оболочка, переменная толщина, метод конечных элементов.

Предложена методика оптимизации конструкции башен ветроэнергетических установок (ВЭУ) в виде усеченных конических оболочек со ступенчатым изменением толщины стенки. В качестве критериев оптимизации выбраны потенциальная энергия деформации, максимальное перемещение конструкции и первая частота собственных колебаний. Решение выполняется с использованием методов нелинейной оптимизации в сочетании с методом конечных элементов в среде Matlab.

К.М. Соин, А.Н. Федосова
РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФАСАДЫ ВЫСОТНОГО
ЗДАНИЯ

Ключевые слова: архитектурно-строительная аэродинамика, численное моделирование ветровых нагрузок, высотные и уникальные здания, аэродинамические коэффициенты.

В работе представлены результаты численного моделирования ветровой воздействия для задачи обтекания исследуемого объекта. Для построения валидной математической модели использовались параметры модели и характеристики потока, сформированные в результате эксперимента. Эксперимент проводился на базе УНПЛ ААИСК в большой градиентной аэродинамической трубе (БИГАТ).

S.V. Prytkov N.M. Posulihin
INVESTIGATION OF THE ERROR OF CALCULATION
METHODS CORRELATED COLOR TEMPERATURE ON
THE SKY COLOR DISTRIBUTION

Keywords: correlated color temperature, black body line, constant correlated color temperature line, calculation method error, chromaticity coordinates, Mckami method, Javier Hernandez method, Robertson method, Yoshi Ono method.

The paper proposes an algorithm for investigating the error of the methods for calculating the correlated color temperature (CCT), based on the method of constructing lines of constant CCT of a given length. To determine the applicability of the methods for calculating the sky CS, the distribution of the relative error up to 100,000 K was calculated. This data is necessary to refine the sky model to minimize the error in modeling natural light.

K.E. Ryskin, S.A. Fedosin, N.P. Plotnikova, Yu.S. Vechkanova
CONSTRUCTING A HIERARCHICAL CLASSIFIER USING
ENSEMBLES

Keywords: machine learning, gradient boosting, hierarchical classification, classes, objects, CatBoost, ensembles.

The article proposes an approach for constructing a hierarchical classifier using additional binary classifiers at each node to test the hypothesis of the main one. The authors consider two methods for verifying the result: checking against the predicted class and checking for all classes. The article provides comparative results of the approaches described above.

L.S. Sabitov, L.Sh. Akhtyamova,
B.M. Yaziev, S.B. Yaziev, I.K. Kyamov
MATHEMATICAL MODELING OF THE TOWER OF A
WIND POWER PLANT IN THE FORM OF A TRUNCATED
CONICAL SHELL

Keywords: optimization, conical shell, variable thickness, finite element method.

A technique is proposed for the optimization of supports in the form of truncated conical shells with a stepwise change in the wall thickness. The potential energy of deformation, the maximum displacement of the structure and the first frequency of natural vibrations were selected as optimization criteria. The solution is performed using nonlinear optimization methods in combination with the finite element method in the Matlab environment.

K.M. Soin, A.N. Fedosova
NUMERICAL AND EXPERIMENTAL MODELING OF
WIND IMPACT ON THE FACADES OF AN UNIQUE
BUILDING

Keywords: architectural and construction aerodynamics, numerical simulation of wind loads, high-rise and unique buildings, aerodynamics coefficients.

The paper presents the results of numerical simulation of the wind action for the problem of flow around the object under study. To build a valid mathematical model, the model parameters and flow characteristics formed as a result of the experiment were used. The experiment was carried out on the basis of UNPL AAISK in the big gradient wind tunnel (BIGWT).

О.В. Хвойнов, Д.И. Новиков, А.А. Березин, В.Н. Хохлов
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

Ключевые слова: численное моделирование, фактор накопления, метод Монте-Карло.

В работе представлены результаты создания программного кода для исследования основных характеристик гамма излучения. Основной целью является изучение применимости аналогового метода Монте-Карло к расчету стандартизированных баз данных. Были проанализированы первые расчеты фактора накопления для гомогенной среды.

O.V. Khvoinov, D.I. Novikov, A.A. Berezin, V.N. Khokhlov
DEVELOPMENT OF A PROGRAM CODE FOR
NUMERICAL SIMULATION OF GAMMA RADIATION
TRANSFER

Keywords: numerical modeling, accumulation factor, Monte Carlo method.

The paper presents the results of creating a program code for studying the main characteristics of gamma radiation. The main goal is to study the applicability of the analogue Monte Carlo method to the calculation of standardized databases. The first calculations of the accumulation factor for a homogeneous medium were analyzed.

П.С. Чуринов, М.А. Семенов
РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИ ПОДОБНОЙ
МОДЕЛИ ВЫСОТНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ЧИСЛЕННОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: ветровая нагрузка, математическое моделирование, эксперимент, динамически подобная модель, аэродинамика, аэродинамическая труба.

В работе представлены результаты расчета и разработки динамически подобной модели сооружения для проведения численного моделирования ветрового воздействия в специализированном программном комплексе, а также проведения верификационного экспериментального исследования в аэродинамической трубе. Сооружением является дымовая железобетонная труба высотой 144 м, расположенная на участке местности с равнинным рельефом и без окружающей застройки.

P.S. Churin, M.A. Semenov
DEVELOPMENT AND CREATION OF A DYNAMICALLY
SIMILAR MODEL OF A HIGH-RISE STRUCTURE FOR A
NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF WIND
IMPACT

Keywords: wind load, mathematical modeling, experiment, dynamically similar model, aerodynamics, wind tunnel.

The paper presents the results of the calculation and development of a dynamically similar model of a structure for numerical simulation of wind action in a specialized software package, as well as for conducting a verification experimental study in a wind tunnel. The structure is a 144 m high reinforced concrete chimney located on a flat terrain without surrounding buildings.

Е.В. Мещерина, О.А. Пихтилькова,
А.Н. Благовисная, Л.Б. Усова, Д.У. Шакирова
О ГЕНЕРАТОРАХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ МАТРИЦ
НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ

Ключевые слова: псевдослучайные последовательности, генераторы последовательностей, криптография.

В работе рассмотрены варианты построения последовательностей матриц, элементами которых являются элементы простых конечных полей. Алгоритмы получения последовательностей основаны на идеях линейных конгруэнтных генераторов и мультипликативных генераторов Фибоначчи с запаздыванием. Представлены результаты изучения построенных генераторов на предмет получения последовательностей с большим периодом, что является одной из ключевых характеристик псевдослучайных генераторов, применяемых в математических моделях защиты информации.

E.V. Meshcherina, O.A. Pikhtilkova,
A.N. Blagovisnaya, L.B. Usova, D.U. Shakirova
ON GENERATORS OF SEQUENCES OF MATRICES
OVER A FINITE FIELD

Keywords: pseudorandom sequences, sequence generators, cryptography.

In this paper, we consider options for constructing sequences of matrices whose elements are elements of simple finite fields. The algorithms for generating sequences are based on the ideas of linear congruent generators and delayed multiplicative Fibonacci generators. The results of studying the constructed generators for obtaining sequences with a long period, which is one of the key characteristics of pseudo-random generators used in mathematical models of information security, are presented.

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**

№6 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.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 29.06.2021 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 29.06.2021

14,7 усл.печ.л. 16,9 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3490.

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»